

A Dios por brindarme la sabiduría y la tenacidad para alcanzar todas las metas que me he propuesto hasta hoy y no fallecer en el intento..

A mis Padres a quienes adoro con el alma, por todo el amor que me han brindado, por su formación, esfuerzo, regaños y apoyo incondicional para la consecución de todas mis metas propuestas y por hacer de mí la gran mujer que hoy soy. Los mejores padres, los mejores amigos, los amo.

A mi familia por apoyarme siempre y por el gran amor que han brindado....

A mis amiguitas por sus locuras, regaños, fiestas, risas, llantos, travesuras y sobre todo por su gran apoyo en este largo proceso.....Las quiero mucho.

A todos mil gracias por apoyarme y brindarme las fuerzas para seguir adelante en todos los momentos de mi vida.....

MELISSA CARDOZO GUAZO

*A Dios por ser mi guía, mi luz y amigo incondicional.
A mi madre por su amor, esfuerzo, sacrificio y apoyo sin límites.
A mis hermanos por ser mis compañeros eternos de lucha.
A mi familia por auxiliarme en los momentos difíciles.
A mis amigos por cada momento, los buenos y los malos, porque de cada uno tengo
una enseñanza.*

HEIDY CASTELLON MARRUGO

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por regalarnos tanta sabiduría, paciencia, tenacidad y por guiarnos con su gran amor a conseguir esta meta tan anhelada.

Un gran agradecimiento a todas aquellas personas que durante todo este tiempo estuvieron involucradas, colaborando y apoyando para que se llevara a cabo este proyecto.

A nuestro querido asesor **Juan Carlos Vergara**, por darnos la oportunidad en este proyecto, por su gran paciencia para con nosotras, por guiarnos de la mejor manera en todo este largo proceso y por colaborarnos con todas las dificultades que se nos presentaron en el camino.

Cartagena de Indias D.T. y C., Abril 28 de 2008

Señores:

COMITÉ DE GRADUACIÓN

Programa de Administración Industrial

Facultad de Ciencias Económicas

Universidad de Cartagena

Ciudad

Estimados señores,

A continuación presentamos a su consideración el proyecto de grado titulado “DISEÑO DE CASOS REFERENTES A LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN RESUELTOS MEDIANTE DINAMICA DE REDES APLICANDO EL SOFTWARE VENSIM” como requisito para obtener el título profesional otorgado por la Universidad de Cartagena de Administración Industrial.

Agradecemos a ustedes la atención prestada a este trabajo.

Atentamente,

MELISSA CARDOZO GUAZO

Cód. 49200120075

HEIDY CASTELLÓN MARRUGO

Cód. 49200120050

Cartagena de Indias D.T. y C., Abril 28 de 2008

Señores:

COMITÉ DE GRADUACIÓN

Programa de Administración Industrial

Facultad de Ciencias Económicas

Universidad de Cartagena

Ciudad

Cordial saludo,

En mi calidad de asesor, presento a ustedes el siguiente proyecto de grado titulado “DISEÑO DE CASOS REFERENTES A LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN RESUELTOS MEDIANTE DINAMICA DE REDES APLICANDO EL SOFTWARE VENSIM” elaborado por las estudiantes Melissa Cardozo Guazo y Heidy Castellón Marrugo pertenecientes al programa de Administración Industrial.

Manifiesto mi participación en la orientación y mi conformidad con el resultado obtenido.

Atentamente,

Juan Carlos Vergara Schmalbach

Asesor Encargado

**DISEÑO DE CASOS REFERENTES A LA PLANEACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN RESUELTOS MEDIANTE DINAMICA DE REDES
APLICANDO EL SOFTWARE VENSIM**

**MELISSA CARDOZO GUAZO
HEIDY CASTELLÓN MARRUGO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.
2008**

**DISEÑO DE CASOS REFERENTES A LA PLANEACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN RESUELTOS MEDIANTE DINAMICA DE REDES
APLICANDO EL SOFTWARE VENSIM**

**MELISSA CARDOZO GUAZO
HEIDY CASTELLÓN MARRUGO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
“Administrador Industrial”**

**ASESOR
ING. JUAN CARLOS VERGARA SMALLBACH**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2008

Tabla de Contenido

| | |
|--|----|
| INTRODUCCION | 17 |
| ANTEPROYECTO | 20 |
| 0.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 20 |
| 0.1.1 Descripción del Problema | 20 |
| 0.1.2 Formulación del Problema | 21 |
| 0.1.3 Justificación..... | 21 |
| 0.2 OBJETIVOS | 23 |
| 0.2.1 Objetivo General | 23 |
| 0.2.2 Objetivos Específicos | 23 |
| 0.3 MARCO REFERENCIAL | 24 |
| 0.3.1 Antecedentes del Problema | 24 |
| 0.3.2 Marco Teórico | 24 |
| 0.3.3 Marco Conceptual | 33 |
| 0.4 DISEÑO METODOLOGÍCO | 35 |
| 0.4.1 Tipo de Investigación | 35 |
| 0.4.2 Delimitación del Problema | 35 |
| 0.4.3 Metodología | 36 |
| 0.4.4 Fuentes de Información | 38 |
| 0.4.5 Operacionalización de las Variables | 39 |
| 0.5. RECURSOS | 40 |
| 0.5.1 Presupuesto | 40 |
| 0.5.2 Recurso Humano | 40 |
| 1 GENERALIDADES Y FUNDAMENTOS DEL PROYECTO | 41 |
| 1.1 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN..... | 41 |
| 1.1.1 Clasificación de sistemas productivos..... | 42 |
| 1.2 DINAMICA DE SISTEMAS..... | 43 |
| 1.3 PLANEACIÓN AGREGADA | 53 |
| 1.4 MRP | 55 |
| 1.5 LÍNEAS DE ENSAMBLAJE | 58 |
| 2. MODELOS DE PLANEACIÓN ESTRATÉGICA | 60 |
| 2.1 CONCEPTUALIZACIÓN E IDENTIFICACION DE VARIABLES DEL MODELO | 60 |
| 2.1.1 Conceptualización del modelo | 60 |
| 2.2 CASO DE ESTUDIO | 62 |
| 2.2.1 Modelo para la estrategia 1 | 64 |
| 2.2.2 Modelo para la estrategia 2 | 85 |

| | |
|--|-----|
| 3. MODELO LÍNEAS DE ENSAMBLAJE | 108 |
| 3.1 CONCEPTUALIZACIÓN E IDENTIFICACION DE VARIABLES DEL MODELO | 108 |
| 3.1.1 Conceptualización del modelo | 108 |
| 3.2 CASO DE ESTUDIO | 109 |
| 4. MODELO MRP | 141 |
| 4.1 CONCEPTUALIZACIÓN E IDENTIFICACION DE VARIABLES DEL MODELO | 141 |
| 4.1.1 Conceptualización del modelo | 141 |
| 4.1.2 Caso de estudio | 142 |
| 4.1.3 Definición de las variables del modelo | 144 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Estructura de un sistema | 27 |
| Figura 2. Pasos para realizar una simulación | 29 |
| Figura 3. Relación A-b..... | 45 |
| Figura 4. Relación "A influencia positivamente a B" | 46 |
| Figura 5. Relación "A influencia negativamente a b" | 46 |
| Figura 6. Bucles de realimentación positiva | 47 |
| Figura 7. Bucles de reralimentación negativa | 47 |
| Figura 8. Retraso de material de primer orden..... | 49 |
| Figura 9. Retraso en la transmisión de información | 50 |
| Figura 10. Organización de las variables de Nivel y flujo en un diagrama | 51 |
| Figura 11. Diagrama de influencias del modelo para la estrategia 1 de P.A..... | 68 |
| Figura 12. Diagrama de Forrester del modelo para la estrategia 1 de P.A..... | 69 |
| Figura 13. Ingreso del horizonte de tiempo del modelo | 71 |
| Figura 14. Datos para el horizonte de tiempo del modelo | 71 |
| Figura 15. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 1)..... | 72 |
| Figura 16. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 2)..... | 72 |
| Figura 17. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 3)..... | 73 |
| Figura 18. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 4)..... | 73 |
| Figura 19. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 5)..... | 74 |
| Figura 20. Correr el modelo en Vensim..... | 74 |
| Figura 21. Análisis del modelo..... | 75 |
| Figura 22. Resultados Inv. Final de productos terminados (estrategia 1) | 76 |
| Figura 23. Gráfico de resultados Inv. Final de productos terminados (estrategia 1).. | 76 |
| Figura 24. Resultados Costo acumulado estrategia..... | 77 |
| Figura 25. Gráfico de resultados Costo acumulado estrategia | 77 |
| Figura 26. Resultados Producción estrategia 1 de P.A..... | 78 |
| Figura 27. Gráfico de resultados Producción estrategia 1 de P.A. | 78 |
| Figura 28. Resultados Costo total de la estrategia 1..... | 78 |
| Figura 29. Gráfico de resultados Costo total de la estrategia 1. | 79 |
| Figura 30. Resultados sensibilización Inv. Final de productos terminados estrategia | 180 |

| | |
|---|------------|
| Figura 31. Gráfico Resultados sensibilización Inv. Final de productos terminados estrategia 1..... | 81 |
| Figura 32. Resultados sensibilización Costo acumulado de la estrategia..... | 81 |
| Figura 33. Gráfico Resultados sensibilización Costo acumulado de la estrategia | 81 |
| Figura 34. Resultados sensibilización Producción estrategia 1 | 82 |
| Figura 35. Gráfico Resultados sensibilización Producción estrategia 1 | 82 |
| Figura 36. Resultados sensibilización Producción Costo total de la estrategia 1 | 83 |
| Figura 37. Gráfico Resultados sensibilización Producción Costo total de la estrategia 1 | 83 |
| Figura 38. Diagrama de influencias del modelo para la estrategia 2 de P.A..... | 88 |
| Figura 39. Diagrama de Forrester del modelo para la estrategia 2 de P.A..... | 89 |
| Figura 40. Horizonte de tiempo para la estrategia 2 de P.A..... | 91 |
| Figura 41. Resultados Inv. Final de productos terminados (estrategia 2). | 92 |
| Figura 42. Gráfico de resultados Inv. Final de productos terminados (estrategia 2).. | 93 |
| Figura 43. Resultados Trabajadores actuales | 93 |
| Figura 44. Gráfico resultados Trabajadores actuales | 94 |
| Figura 45. Resultados Costo acumulado de la estrategia 2..... | 94 |
| Figura 46. Gráfico Resultados Costo acumulado de la estrategia 2..... | 95 |
| Figura 47. Resultados Producción estrategia 2 | 95 |
| Figura 48. Gráfico Resultados Producción estrategia 2 | 95 |
| Figura 49. Resultados Trabajadores contratados/despuestos..... | 96 |
| Figura 50. Gráfico Resultados Trabajadores contratados/despuestos | 96 |
| Figura 51. Resultados Costo Total de la estrategia 2..... | 97 |
| Figura 52. Gráfico Resultados Costo Total de la estrategia 2 | 97 |
| Figura 53. Resultados sensibilización Inv. Final de productos terminados estrategia 299 | 299 |
| Figura 54. Resultados sensibilización Inv. Final de productos terminados estrategia 299 | 299 |
| Figura 55. Resultados sensibilización Trabajadores actuales | 100 |
| Figura 56. Gráfico resultados sensibilización Trabajadores actuales | 100 |
| Figura 57. Resultados sensibilización Costo acumulado de la estrategia 2..... | 100 |
| Figura 58. Gráfico Resultados sensibilización Costo acumulado de la estrategia 2. 101 | 101 |
| Figura 59. Resultados sensibilización Producción (estrategia 2) | 101 |
| Figura 60. Gráfico Resultados sensibilización Producción (estrategia 2) | 101 |
| Figura 61. Resultados sensibilización Trabajadores contratados/despuestos | 102 |
| Figura 62. Gráfico Resultados sensibilización Trabajadores contratados/despuestos | 102 |

| | |
|--|-----|
| Figura 63. Resultados sensibilización Costo total de la estrategia 2 | 103 |
| Figura 64. Gráfico Resultados sensibilización Costo total de la estrategia 2 | 103 |
| Figura 65. Diagrama de influencias del modelo de líneas de ensamblaje | 108 |
| Figura 66. Diagrama de Forrester del modelo de líneas de ensamblaje | 109 |
| Figura 67. Resultados Inv. de productos en proceso 1 | 111 |
| Figura 68. Gráfico Resultados Inv. de productos en proceso 1 | 112 |
| Figura 69. Resultados Inv. de productos en proceso 2 | 112 |
| Figura 70. Gráfico Resultados Inv. de productos en proceso 2 | 113 |
| Figura 71. Resultados Inv. de productos en proceso 3 | 113 |
| Figura 72. Gráfico Resultados Inv. de productos en proceso 3 | 114 |
| Figura 73. Resultados Inv. Productos terminados | 114 |
| Figura 74. Gráfico Resultados Inv. Productos terminados | 115 |
| Figura 75. Resultados Trabajador 1 | 115 |
| Figura 76. Gráfico Resultados Trabajador 1 | 116 |
| Figura 77. Resultados Trabajador 2 | 116 |
| Figura 78. Gráfico Resultados Trabajador 2 | 117 |
| Figura 79. Resultados Trabajador 3 | 117 |
| Figura 80. Gráfico Resultados Trabajador 3 | 118 |
| Figura 81. Resultados Trabajador 4 | 118 |
| Figura 82. Gráfico Resultados Trabajador 4 | 119 |
| Figura 83. Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 1 | 120 |
| Figura 84. Gráfico Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 1 | 121 |
| Figura 85. Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 2 | 121 |
| Figura 86. Gráfico Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 2 | 122 |
| Figura 87. Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 3 | 122 |
| Figura 88. Gráfico Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 3 | 119 |
| Figura 89. Resultados sensibilización Inv. Productos terminados | 123 |
| Figura 90. Gráfico Resultados sensibilización Inv. Productos terminados | 124 |
| Figura 91. Resultados sensibilización Trabajador 1 | 124 |
| Figura 92. Gráfico Resultados sensibilización Trabajador 1 | 125 |
| Figura 93. Resultados sensibilización Trabajador 2 | 125 |
| Figura 94. Gráfico Resultados sensibilización Trabajador 2 | 126 |
| Figura 95. Resultados sensibilización Trabajador 3 | 126 |
| Figura 96. Gráfico Resultados sensibilización Trabajador 3 | 127 |

| | |
|--|-----|
| Figura 97. Resultados sensibilizaciónTrabajador 4..... | 127 |
| Figura 98. Gráfico Resultados sensibilizaciónTrabajador 4..... | 128 |
| Figura 99. Resultados sensibilizaciónTrabajador adicional..... | 128 |
| Figura 100. Gráfico Resultados sensibilizaciónTrabajador adicional..... | 129 |
| Figura 101. Diagrama de influencias del modelo MRP..... | 136 |
| Figura 102. Diagrama de Forrester del modelo MRP..... | 137 |
| Figura 103. Resultados Inventario materia prima 1..... | 140 |
| Figura 104. Gráfico Resultados Inventario materia prima 1..... | 140 |
| Figura 105. Resultados Inventario materia prima 2..... | 140 |
| Figura 106. Gráfico Resultados Inventario materia prima 2..... | 141 |
| Figura 107. Resultados Inventario materia prima 3..... | 141 |
| Figura 108. Gráfico Resultados Inventario materia prima 3..... | 141 |
| Figura 109. Resultados Producción modelo MRP..... | 142 |
| Figura 110. Gráfico Resultados Producción modelo MRP..... | 142 |
| Figura 111. Resultados Requisición materia prima 1..... | 143 |
| Figura 112. Gráfico Resultados Requisición materia prima 1..... | 143 |
| Figura 113. Resultados Requisición materia prima 2..... | 143 |
| Figura 114. Gráfico Resultados Requisición materia prima 2..... | 144 |
| Figura 115. Resultados Requisición materia prima 3..... | 144 |
| Figura 116. Gráfico Resultados Requisición materia prima 3..... | 144 |
| Figura 117. Resultado Costo total materia prima 1..... | 145 |
| Figura 118. Gráfico Costo total materia prima 1..... | 145 |
| Figura 119. Resultado Costo total materia prima 2..... | 145 |
| Figura 120. Gráfico Resultado Costo total materia prima 2..... | 146 |
| Figura 121. Resultado Costo total materia prima 3..... | 146 |
| Figura 122. Gráfico Resultado Costo total materia prima 3..... | 146 |
| Figura 123. Resultado Costo total..... | 147 |
| Figura 124. Gráfico Resultado Costo total..... | 147 |
| Figura 125. Resultados sensibilización Inventario materia prima 1..... | 150 |
| Figura 126. Gráfico Resultados sensibilización Inventario materia prima 1..... | 150 |
| Figura 127. Resultados sensibilización Inventario materia prima 2..... | 151 |
| Figura 128. Gráfico Resultados sensibilización Inventario materia prima 2..... | 151 |
| Figura 129. Resultados sensibilización Inventario materia prima 3..... | 152 |
| Figura 130. Gráfico Resultados sensibilización Inventario materia prima 3..... | 152 |

| | |
|---|------------|
| Figura 131. Resultado sensibilización Producción modelo MRP..... | 153 |
| Figura 132. Gráfico Resultado sensibilización Producción modelo MRP..... | 153 |
| Figura 133. Resultados sensibilización Requisición materia prima1 | 154 |
| Figura 134. Gráfico Resultados sensibilización Requisición materia prima1 | 154 |
| Figura 135. Resultados sensibilización Requisición materia prima 2 | 154 |
| Figura 136. Gráfico Resultados sensibilización Requisición materia prima 2 | 155 |
| Figura 137. Resultados sensibilización Requisición materia prima 3 | 155 |
| Figura 138. Gráfico Resultados sensibilización Requisición materia prima 3 | 155 |
| Figura 139. Resultado sensibilización costo total materia prima 1 | 156 |
| Figura 140. Gráfico Resultado sensibilización costo total materia prima 1..... | 156 |
| Figura 141. Resultado sensibilización costo total materia prima 2 | 157 |
| Figura 142. Gráfico Resultado sensibilización costo total materia prima 2..... | 157 |
| Figura 143. Resultado sensibilización costo total materia prima 3 | 157 |
| Figura 144. Gráfico Resultado sensibilización costo materia prima 3..... | 158 |
| Figura 145. Resultado sensibilización costo total..... | 158 |
| Figura 146. Gráfico Resultado sensibilización costo total..... | 158 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|------------|
| Tabla 1. Operacionalidad de las variables..... | 33 |
| Tabla 2. Presupuesto del proyecto | 37 |
| Tabla 3. Simbología para la construcción de diagramas de Forrester | 48 |
| Tabla 4. Demanda histórica de agua procesada por la empresa | 58 |
| Tabla 5. Unidades procesadas por trabajador diariamente | 102 |
| Tabla 6. Lista de materiales..... | 127 |
| Tabla 7. Plan maestro de producción..... | 127 |
| Tabla 8. Plan maestro de producción modificado | 152 |

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1- ECUACIONES DEL MODELO CREADAS POR EL SOFTWARE
VENSIM

INTRODUCCION

No es sorpresa para nadie y menos para quienes poseen algún tipo de relación con el mundo industrial la importancia que tiene la correcta toma de decisiones relacionada con la producción de una empresa dentro de su gestión, para de esta manera incrementar su productividad al menor costo posible y lograr sostenerse y crecer dentro de este mundo tan fluctuante al tiempo que logra la satisfacción de los clientes.

Sin duda alguna la tecnología contribuye en gran parte al logro de una correcta toma de decisiones dentro de las empresas, especialmente al momento de decidir cuánto producir para satisfacer la demanda del mercado durante ciertos períodos de tiempo; qué cantidades de materia prima, insumos, mano de obra, entre otros. Serán necesarios para el normal funcionamiento del proceso productivo, así como para encontrar soluciones a problemas o encontrar mejoras dentro del mismo proceso.

Y es precisamente en el aspecto tecnológico que se encuentra una herramienta muy valiosa que permite representar la realidad y analizar, si se así se requiere, los niveles de sensibilidad de un modelo productivo para tomar decisiones con base en dichas representaciones en lugar de hacerlo una vez se estén cometiendo o se hayan cometido errores en la realidad, los cuales pueden llegar a ser muy costosos para la empresa. Se trata software de simulación, los cuales, por lo anteriormente explicado constituyen una herramienta tecnológica muy importante dentro del medio industrial.

Los estudiantes de Administración Industrial de la Universidad de Cartagena no son ajenos a esta necesidad de tomar las decisiones correctas para lograr el incremento de la productividad y la disminución de los costos.

En este trabajo de grado se exponen casos de estudio muy sencillos referentes a la planeación de la producción y más exactamente a temas como la Planeación Agregada, MRP, y líneas de ensamblaje, los cuales se resolverán utilizando el software de simulación Vensim. Se realizará un análisis del comportamiento de los modelos y de la sensibilidad de dichos modelos a cambios para finalmente tomar las mejores decisiones para el área productiva de las empresas señaladas en cada uno de los casos.

En el capítulo cero de este proyecto se muestra el Planteamiento del problema a resolver, las razones por las cuales se lleva a cabo este proyecto (Justificación), la finalidad (objetivos) de realizar el proyecto, así como los antecedentes, los recursos a utilizar para el desarrollo del mismo, entre otros.

En el capítulo número uno se muestra aspectos generales de temas importantes para el desarrollo del proyecto como lo son Sistemas de producción, Dinámica de sistemas, Planeación agregada, MRP y líneas de ensamblaje.

A partir del capítulo dos se inicia el análisis de los tres temas en los cuales se fundamenta el diseño de los casos de estudio que serán resueltos mediante el software simulación Vensim.

El capítulo dos presenta la conceptualización del modelo de los modelos de planeación agregada, la formulación del modelo, análisis del modelo mediante el caso de estudio, y un análisis de sensibilización del modelo a cambios.

En el capítulo tres se tratan los mismos puntos del capítulo dos pero en esta ocasión para Líneas de ensamblaje.

En el capítulo cuatro se desarrollan los mismos puntos de los dos capítulos anteriores pero para el caso de MRP.

En el capítulo cinco se exponen las conclusiones del proyecto y en el capítulo seis las recomendaciones del mismo.

Finalmente, se muestran la bibliografía y los anexos del proyecto.

ANTEPROYECTO

0.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

0.1.1 Descripción del Problema

Hoy en día se ha vuelto necesario que los estudiantes adquieran conocimientos teóricos y prácticos para llegar a tener una educación integral y de esta manera ser competitivos en el Mercado laboral.

Los estudiantes de administración Industrial de la Universidad de Cartagena, deberían contar con herramientas que actualmente no poseen que les permitan poner en práctica todos esos conocimientos adquiridos en las aulas de clase y ser más competitivos.

Se debe tener en cuenta que todos podemos colocar un grano de arena para la consecución de estos objetivos, es decir; podemos aportar al programa nuevas ideas, manuales, guías, todo el material que pueda ser útil para el resto de los estudiantes.

La creación de una guía o manual de casos específicos que les permita poner en práctica conocimientos de operaciones, simulación, MRP, planeación agregada entre otros desarrollados mediante dinámica de redes aplicando el software Vensim, les facilitará, y hará un poco más dinámico, menos monótono, y más productivo su aprendizaje, ya que de esta forma ellos podrán ver en la realidad simulada todo lo que pueden desarrollar con todo lo adquirido en clases.

0.1.2 Formulación del Problema

¿Cómo diseñar casos referentes a la planeación de la producción resueltos mediante dinámica de redes aplicando el software Vensim de manera clara y dinámica que sirvan como herramienta a los estudiantes para poner en práctica todos los conocimientos adquiridos previamente en teoría en temas como; Estadística, Simulación, Producción e Investigación de Operaciones?

0.1.3 Justificación

Hoy en día es muy importante que los estudiantes de cualquier carrera adquieran todos los conocimientos teóricos necesarios en su proceso de aprendizaje, pero no deja de ser importante ponerlos en práctica con el fin de lograr el equilibrio necesario teoría-práctica que contribuya a asimilar mejor los conocimientos y a destacarse desde el inicio de su vida laboral.

Es por ello que en esta ocasión queremos brindarle a los estudiantes de Administración Industrial de la Universidad de Cartagena la opción de poner en práctica todos sus conocimientos en materia de Estadística, Simulación, Producción e Investigación de Operaciones con material diseñado por integrantes del mismo Programa, mediante el planteamiento de una serie de casos de aplicación de los temas MRP, Planeación agregada y Líneas de ensamblaje donde tan solo con leer el planteamiento de casos sencillos e introducir los datos en el software de simulación utilizado puedan dar soluciones y además, hacer análisis de sensibilidad de las variables utilizadas.

La necesidad de que los estudiantes del programa de Administración Industrial U. de C. cuenten con herramientas tecnológicas que les ayuden a poner en práctica las instrucciones recibidas en la aulas tales como los software de aplicación especializados Vensim, entre otros durante su proceso de formación académica les permitirá adquirir ventajas competitivas en el campo laboral, especialmente tratándose del complejo y fluctuante mundo industrial en el cual es indispensable tomar las mejores decisiones en el menor tiempo posible para incrementar la productividad en lugar de incrementar los costos, y la mejor manera de no cometer errores fatales en este campo es indiscutiblemente mediante la representación de la realidad en modelos de simulación que son más simples y entendibles y menos costosos que los errores cometidos en la realidad. Por todo lo anterior es fundamental que los estudiantes de Administración Industrial de la U. de C. se entrenen por medio de la aplicación de casos de producción en software de simulación.

Por otro lado la creación de la Materia electiva Simulación de Procesos en el programa Administración Industrial y el plan de desarrollo encaminado al fortalecimiento de la investigación y publicaciones por parte de los estudiantes y docentes que hacen parte del mismo programa nos motiva a aportar herramientas prácticas como un manual de casos de aplicación de MRP, Planeación agregada y Líneas de ensamblaje que además representa material procedente del Programa Administración Industrial que contribuiría al proceso de formación de los futuros egresados.

0.2 OBJETIVOS

0.2.1 Objetivo General

Diseñar casos en el área de planeación de la producción donde se empleen las herramientas de planeación agregada, MRP, y estudio de líneas de ensamblaje mediante modelos de simulación de redes dinámicas.

0.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una fundamentación teórica en el área de planeación de la producción correspondiente a las herramientas de planeación agregada, MRP, y estudio de líneas de ensamblaje.
- Diseñar casos donde se empleen las herramientas MRP, Líneas de ensamblaje y planeación agregada.
- Diseñar modelos de simulación para el desarrollo y solución de los casos propuestos, donde se expliquen las variables de entrada, proceso y salida.
- Aplicar el software Vensim para cada modelo de simulación, analizando el comportamiento de las variables.
- Documentar paso a paso, el desarrollo y solución de los casos de simulación, con la aplicación del software VENSIM.

- Realizar análisis de sensibilidad en las variables utilizadas en cada uno de los casos.

0.3 MARCO REFERENCIAL

0.3.1 Antecedentes del Problema

- BARRIOS Martínez Alejandro. Modelo teórico de simulación y emulación de decisiones.
- BERRÍO LARA, Cesar Augusto. Diseño de guías de laboratorio y material de apoyo para simulación en el software MAX ERP en el programa de Administración Industrial.

0.3.2 Marco Teórico

- **Producción:** La producción es cualquier proceso que con participación de mano de obra y/o maquinaria permite la transformación de un insumo ya sea natural o con algún grado de elaboración, en un bien final, apto para el consumo o para servir de entrada a otro proceso productivo.

En un proceso productivo se pueden encontrar tres elementos; el primero de ellos es la fuerza humana como actividad encaminada a alcanzar un fin determinado. El segundo es el objeto de trabajo o aquello hacia lo cual va dirigido el esfuerzo humano con un propósito determinado y, por último los medios de trabajo o todos aquellos elementos que el hombre utiliza como ayuda para modificar el objeto de trabajo.

La historia conoce cinco modos de producción: el de la comunidad primitiva, el esclavista, el feudal, el capitalista, el comunista. El tránsito de un modo de producción a otro se halla determinado por una ley económica objetiva: la ley de la correspondencia entre las relaciones de producción y el carácter de las fuerzas productivas (ver). El cambio del modo de producción hace que se modifiquen el régimen social, las ideas sociales, las instituciones políticas, jurídicas y de otros tipos. ¹

Las empresas son aquellos agentes económicos encargados de transformar los factores de producción en bienes o servicios de consumo final o para ser utilizados como materia prima de otros procesos productivos. El principal objetivo de una empresa es producir a un nivel óptimo, es decir, incrementar su producción de bienes o servicios al menor costo posible y de esa manera obtener un mayor número de ganancias.

- **Simulación:** La simulación es una representación física de una situación real, que se representa mediante modelos que son abstracciones de la realidad; el conocimiento adquirido en la simulación se aplica en el mundo real. Cuanto mayor sea el grado de aproximación de la simulación a la realidad mayor será su utilidad².

Es importante tener claro que es un sistema y como funciona, un sistema es; un conjunto de elementos que interactúan con el fin de lograr un objetivo común³, tomemos el típico ejemplo de la caja negra a la manera de Alex

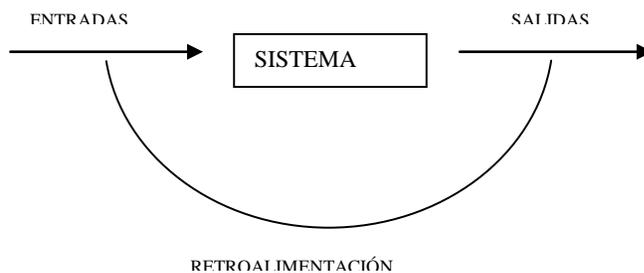
1 Fuente: [Borísov, Zhamin y Makárova](http://www.eumed.net/cursecon/dic/bzm/p/produccion.htm)
<http://www.eumed.net/cursecon/dic/bzm/p/produccion.htm>. Consultado el: 08/05/2007

2 Fuente: BLANCO RIVERO, Luís Ernesto. Simulación con promodel: Casos de producción y logística. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería segunda edición Colombia año 2003

3 Ibit

Rogo⁴ en la que entran materiales y salen productos terminados, todo esto teniendo en cuenta que en este sistema se encuentran interrelacionados muchas variables como los recursos que este sistema requiere para su funcionamiento y los parámetros que lo regulan.

Figura 1. Estructura de un sistema



ELIYAHU GOLDRATT Y JEFF COX. La meta un proceso de mejora continua, 7ª ed., Monterrey México, Ediciones castillo 1998, p45

Dada la complejidad de los sistemas reales la simulación es una herramienta practica y eficaz para de manera simplificada construir un modelo de cualquier sistema real, teniendo en cuenta parámetros y variables propias de dicho sistema , todo esto con el objetivo de probar las diferentes alternativas de solución del problema y así elegir la que sea mas viable para el sistema simulado , dando la oportunidad así de cambiar variables y condiciones del modelo las veces que sea necesario para de esta manera conocer mas del sistema real y tomar la mejor decisión.

4 Fuente: ELIYAHU GOLDRATT Y JEFF COX. La meta un proceso de mejora continua, 7ª ed., Monterrey México, Ediciones castillo 1998, p45

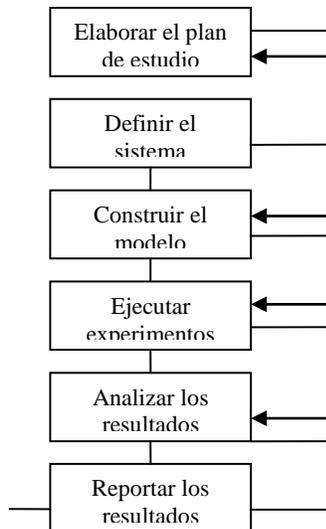
La simulación es una herramienta de análisis de sistemas complejos que utilizada de manera adecuada puede reducir costos, ayudar a la mejor planeación y control de los sistemas y sobre todo a la toma de decisiones.

La simulación sirve básicamente para ahorrar costos y determinar que cambios se necesitan hacer en los sistemas reales para mejorar la eficiencia y reducir los costos sin necesidad de ensayar alternativas una y otra vez en dichos sistemas ya que resultaría sumamente costoso, en cambio en la simulación de estos sistemas si podemos hacer las modificaciones pertinentes hasta lograr los resultados esperados sin necesidad de que salga muy costoso y teniendo la posibilidad de cambiar determinadas condiciones experimentales hasta lograr que el sistema se comporte como se espera, localizando así; cuellos de botellas , tiempos ociosos de algunas actividades que puedan estar generando altos costos, mala programación, control, en fin un sin número de problemas que se puedan estar presentando en este sistema y que por cuestión de costos no pueden ser ensayadas y localizadas en el sistema real.

Pasos para realizar una simulación

Para realizar una simulación se debe empezar por identificar el producto o servicio que se va a simular:

Figura 2-Pasos para realizar una simulación



Fuente: ProModel Corporativo. User's Guide 1996 p. 36

- **Elaborar un plan de estudio**

Para elaborar un plan de estudio se deben tener claras las siguientes tareas que hay que realizar:

- a. Definición de Objetivos: Claridad en los objetivos, siempre se debe tener presente el objetivo de la simulación y hasta donde se quiere llegar. Para ello se deben responder las Preguntas:

¿Qué y como se desea medir el desempeño de la simulación?

¿Quién utilizara el modelo?

¿A quién se le presentará la información obtenida en el modelo?

¿Qué información espera obtenerse del modelo?

¿Qué tan importante es la información que se espera tomar a partir del modelo?⁵

b. Identificar limitaciones y restricciones: Es muy importante tener en cuenta las limitaciones que se presenten en la simulación ya que estas se convierten en restricciones del sistema, las limitaciones pueden ser: Económicas, de tiempo y de información. Las económicas están relacionadas con el presupuesto con el que se cuenta, los recursos tecnológicos (computadoras, software), las de tiempo; el tiempo que debe durar la simulación y las de información; si se cuenta con el acceso a toda la información requerida.

c. Conocer las especificaciones: Es muy importante el conocer las especificaciones de proyecto, tales como; Alcance: determinar hasta donde se quiere llegar con el modelo, Nivel de detalle: tener un nivel de detalle óptimo que no sea muy extenso, pero que tan poco excluya variables críticas ya que esto ocasionaría que el modelo no sea lo suficientemente realista y, grado de exactitud: Esta determinada por la confiabilidad de la información y de este depende la precisión de los resultados.

d. Desarrollar planeación y definir resultados: La planeación de la realización del modelo debe basarse en el tiempo real requerido.

5 Fuente: BLANCO RIVERO, Luis Ernesto. Simulación con promodel: Casos de producción y logística. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería segunda edición Colombia año 2003

- **Definir el sistema**

El primer paso para definir el sistema es determinar la información requerida, en este sentido, se debe establecer en dónde se obtendrá la información y quién la suministrará, esto se puede lograr respondiendo las siguientes preguntas:

- ¿Cómo está distribuida la planta y cuáles son sus dimensiones?
- ¿Cuántos centros de trabajo tiene el proceso?
- ¿Cuáles son los tiempos de proceso de cada centro de trabajo?
- ¿Cuántos productos o subproductos se quieren incluir en el modelo?
- ¿Quién requiere un recurso y cuándo y dónde lo necesita?
- ¿Qué se desea medir?
- ¿Cuáles serán los indicadores que se deberán tener en cuenta?
- ¿Cuánto tiempo se simulará el proceso?
- ¿Qué tan variable es el proceso? ¿Se podría estandarizar?
- ¿Quién es la persona que utilizará el programa de simulación?⁶

La información se puede obtener mediante diversas fuentes, como planos de la planta, estudio de métodos y tiempos, pronósticos de mercado, diagramas de procesos, datos históricos, entre otros. Se debe tener mucho cuidado con la obtención y el manejo de la información, esta debe estar actualizada para el modelo, debe ser veraz ya que de esto depende la veracidad del modelo.

6 Ibit

- **Construir el modelo**

El paso a seguir una vez se tenga la información requerida es determinar el alcance que se pretende lograr con la simulación, si se trata de un modelo grande se puede dividir en etapas claramente definidas, las cuales se pueden trabajar simultáneamente o en diferentes épocas. Cada etapa debe constar de condiciones iniciales y condiciones finales como el nombre de las variables, atributos, entre otros para evitar inconvenientes al momento de ensamblar el modelo.

- **Ejecutar experimentos**

Ejecutar el modelo varias veces modificándole las condiciones sirve para percatarse de que el modelo representa la realidad y contempla la variabilidad del proceso, es decir que a través de ese modelo se podrán representar muchas posibles situaciones y no solo una de ellas.

Antes de ejecutar varios experimentos es necesario definir cuántos de estos se realizarán y el tiempo de duración de la simulación, además de tener claros el objetivo y la precisión de los resultados de la simulación.

- **Analizar los resultados**

Una vez ejecutado el modelo se procede a analizar la información arrojada por el mismo de la manera más minuciosa y crítica posible, para lograr de esta forma detectar inconvenientes del proceso, como pueden ser los cuellos de botella.

- **Reportar los resultados**

Esta es la última etapa de la simulación del proceso, se trata de presentar un informe de los resultados de la simulación de la manera más sencilla, concisa y de fácil comprensión para poder tomar las mejores decisiones basados en ellos. En el reporte de resultados se debe además, colocar recomendaciones acerca del sistema

- **Vensim:** Es un programa para construir y simular modelos dinámicos de manera sencilla.

A través de este software se pueden construir diagramas en dos versiones: la versión texto o en diagramas causales, además, permite utilizar opciones avanzadas como la optimización de funciones, valoración de decisiones, análisis de sensibilidad, entre otras.

Vensim permite construir aplicaciones DSS (Decision Support System), elaborar informes EIS (Executive Information System), importar y exportar datos de hojas de cálculo o formato ASCII. Además permite identificar los diferentes elementos del modelo con nombres de hasta 250 caracteres, incluyendo tantos espacios en blanco, de decir, divisiones de palabras como se desee. Permite introducir datos directamente o en forma de tablas e interpola los datos conocidos cuando se omiten los valores de alguna(s) observación (es)⁷.

7 Fuente: LOPÉZ, DÍAZ, DELGADO. Iniciación a la simulación dinámica. Ed. Ariel Economía, 2000.

Una de las ventajas de este programa de simulación es que se utiliza sobre el soporte del sistema operativo de Windows por lo cual, quienes lo utilicen estarán familiarizados con la utilización de sus principios básicos.

0.3.3 Marco Conceptual

- **Simulación:** Es una representación ficticia de una situación real, que se experimenta mediante modelos que son abstracciones de la realidad.⁸

Herramienta de análisis de sistemas complejos, que bien utilizada puede generar desde ahorros considerables de dinero hasta el mejoramiento de la planeación y control de los sistemas productivos, pasando por el descubrimiento de muchas de las restricciones reales del sistema.⁹

Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo.¹⁰

- **Sistema:** Conjunto de elementos que interactúan con el fin de lograr un objetivo común.¹¹
- **Modelo:** Es una representación de un objeto, sistema o idea de forma diferente a la de identidad misma.

8 Fuente: BLANCO RIVERO, Luis Ernesto. Simulación con promodel: Casos de producción y logística. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería segunda edición Colombia año 2003

9 Ibit

10 Fuente: COSS BU, Raúl. Simulación un enfoque práctico. LIMUSA Noriega Editores. México, año 2003

11 Fuente: BLANCO RIVERO, Luis Ernesto. Simulación con promodel: Casos de producción y logística. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería segunda edición Colombia año 2003

Un modelo es la representación formal de un sistema, entendiéndose como formal la representación de la forma¹²

- **MRP:** Planeación de los recursos de Manufactura comprende una amplia variedad de funciones integradas que se encargan de planear y controlar todos los recursos de las empresas manufactureras. Es un sistema extendido por toda la empresa, por lo tanto incorpora una capacidad de simulación que permite a la empresa formular preguntas como “qué pasaría si”¹³.
- **Planeación Agregada:** aquella que permite a la empresa conocer la manera en que debe proveer capacidad para satisfacer la demanda a mediano plazo.¹⁴
- **Redes dinámicas:** Dinámica de Sistemas es un nombre propio que designa un determinado método de construcción de modelos de sistemas sociales susceptibles de ser simulados por ordenador¹⁵
- **Vensim:** Es un programa versátil, intuitivo y sencillo para construir y simular modelos dinámicos. Permite construir modelos a través de diagramas causales o en versión texto y en cualquiera de las dos modalidades permite comparar fácilmente los resultados de los distintos

12 Fuente: LOPÉZ, DÍAZ, DELGADO. Iniciación a la simulación dinámica. Ed. Ariel Economía, 2000.

13 Fuente: RADFORD, NOORI. Administración de operaciones y producción: Calidad total y respuesta sensible rápida. Ed. Mc Graw Hill Interamericana. Año 1997

14 Fuente: RADFORD, NOORI. Administración de operaciones y producción: Calidad total y respuesta sensible rápida. Ed. Mc Graw Hill Interamericana. Año 1997

15 Fuente: Torrealdea, Javier. Dinámica de sistemas
http://www.robinsoncofre.googlepages.com/DSistemas_Elementos.pdf. Consultado el: 08/05/2007

experimentos, superponer gráficos de distintas variables, cambiar escalas, períodos de estudio, entre otros.¹⁶

0.4 DISEÑO METODOLÓGICO

0.4.1 Tipo de Investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva ya que se realizará un estudio detallado de cada uno de los temas involucrados en el planteamiento de los casos (MRPII, Planeación agregada, y Líneas de ensamblaje), se describirán variables que comprenden cada uno de estos temas desde el planteamiento del problema hasta obtención de los resultados así como también se analizarán cada uno de los casos.

0.4.2 Delimitación del Problema

- **Delimitación Espacial**

Este proyecto se realizará en el Departamento de Bolívar en la ciudad de Cartagena de Indias Universidad de Cartagena Facultad de ciencias Económicas Programa administración industrial.

- **Delimitación Temporal**

El diseño de casos referentes a la planeación de la producción resueltos mediante dinámica de redes aplicando el software Vensim, se desarrollará en un tiempo que transcurrirá entre Febrero del 2007 y Agosto del 2007.

16

Fuente: LOPÉZ, DÍAZ, DELGADO. Iniciación a la simulación dinámica. de. Ariel Economía, 2000.

- **Delimitación Conceptual**

Para el diseño de casos referentes a la planeación de la producción resueltos mediante dinámica de redes aplicando el software Vensim, inicialmente se realizará una completa documentación teórica de todo lo referente a los temas en los cuales estarán basados los casos diseñados. Así como también sobre modelos de simulación, Simulación en la producción y dinámica de redes.

Posteriormente se procederá a diseñar un caso por cada eje estudiado, y a desarrollarlo mediante un modelo de simulación.

Finalmente, los datos de cada uno de los casos diseñados por tema serán introducidos en el software y resueltos.

0.4.3 Metodología

El proyecto consiste en el diseño de casos para la aplicación de simulación en producción en términos de MRP, PLANEACIÓN AGREGADA Y LINEAS DE ENSAMBLAJE utilizando el software VENSIM.

Este proyecto inicia con una completa documentación teórica de todo lo referente a los temas en los cuales estarán basados los casos diseñados.

El MRP (Material Requirement Planning) o planificador de las necesidades de material, es el sistema de planificación de materiales y gestión de stocks que responde a las preguntas de, cuánto y cuándo provisionarse de materiales. Este sistema da por órdenes las compras dentro de la empresa, resultantes del proceso de planificación de necesidades de materiales.

Ámbito: Mediante este sistema se garantiza la prevención y solución de errores en el aprovisionamiento de materias primas, el control de la producción y la gestión de stocks.

La utilización de los sistemas MRP conlleva una forma de planificar la producción caracterizada por la anticipación, tratándose de establecer qué se quiere hacer en el futuro y con qué materiales se cuenta, o en su caso, se necesitaran para poder realizar todas las tareas de producción.

Es un sistema que puede determinar de forma sistemática el tiempo de respuesta (aprovisionamiento y fabricación) de una empresa para cada producto. 17

La Planeación Agregada se refiere a la relación entre la oferta y la demanda de producción a mediano plazo, hasta aproximadamente 12 meses hacia el futuro. El objetivo de la planeación agregada es establecer niveles de producción generales a corto y a mediano plazo al enfrentarse a una demanda fluctuante o poco segura.¹⁸, en este sentido, diseñaremos un caso cuyo resultado obtenido utilizando cualquier software de los mencionados anteriormente será la planeación y programación de la producción para un período de tiempo no mayor a un año, teniendo en cuenta, entre otros factores la demanda. La planeación agregada sirve como eslabón entre las decisiones sobre las instalaciones y la programación. La decisión de la planeación agregada establece niveles de producción generales a mediano plazo, es por ello que se hace necesario que en la empresa se implemente dichos procesos, tomando decisiones y políticas que se relacionen con el

17 Fuente: Zornosa, Luís, Sistemas MRP, www.gestiopolis.com/canales2/gerencia/1/mrp.htm. Consultado el: 12/02/07
18 Fuente: /robertomiolan.blogspot.com/2006/06/la-planeacion-agregada.html. Consultado el: 12/02/07

tiempo extra, contrataciones, despidos, subcontrataciones y niveles de inventario.¹⁹

Una línea de ensamble junta las partes fabricadas en una serie de estaciones de trabajo. Las líneas de ensamble tienden a ser sincronizadas por tareas de trabajo asignadas a individuos o a estaciones de trabajo.²⁰ En este eje también diseñaremos un caso, lo desarrollaremos por medio de un modelo de simulación y lo aplicaremos utilizando el software Vensim.

Además de una completa documentación sobre modelos de simulación y Simulación en la producción.

Finalmente, los datos de cada uno de los casos diseñados por tema serán introducidos en el software y resueltos.

0.4.4 Fuentes de Información

- **Fuentes Primarias**

Entrevistas o consultas a expertos en el tema de producción.

- **Fuentes Secundarias**

Libros de Administración de operaciones que contienen temas relacionados con el proyecto como lo son: MRP, Planeación Agregada, Producción, Líneas de Ensamblaje, dinámica de sistemas, Internet, revistas especializadas, tesis anteriores sobre simulación, base de datos EBSCO-HOST.

¹⁹ Fuente: Ferreira Diolinda, Planeación Agregada, <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/planagreg.htm>, Consultado el: 15/04/07

²⁰ Fuente: EL Prisma , Balanceo de Línea http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/balanceodelinea/, Consultado el: 15/04/07

0.4.5 Operacionalización de las Variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables

| Dimensión | Nombre de la variable | Tipo | Descripción | Indicador |
|----------------|---|---------------|---|--------------|
| PRODUCCIÓN | Unidades producidas | Independiente | Unidades producidas durante un periodo de tiempo | Cuantitativo |
| | Tiempo promedio de requerido por unidad | Dependiente | | Cuantitativa |
| RECURSO HUMANO | Número de trabajadores requeridos | Dependiente | Número de trabajadores requeridos en un periodo de tiempo | Cuantitativo |
| INVENTARIO | | | | |
| | | | | |

0.5. RECURSOS

0.5.1 Presupuesto

Tabla 2. Presupuesto del proyecto

| | |
|-------------|-------------|
| PAPELERIA | \$325.200 |
| LIBROS | \$230.000 |
| INTERNET | \$75.000 |
| TINTA | \$180.000 |
| TRANSPORTES | \$250.000 |
| TOTAL | \$1.060.200 |

0.5.2 Recurso Humano

Investigadores:

Melissa Cardozo Guazo

Heidy Castellón Marrugo

Asesor:

Juan Carlos Vergara Ibarguen

Y todo el cuerpo docente involucrado en el proyecto.

1 GENERALIDADES Y FUNDAMENTOS DEL PROYECTO

A continuación se hace una breve explicación sobre temas relevantes dentro del desarrollo de este proyecto de grado, tales como Los sistemas de producción, la Dinámica de sistemas, Planeación Agregada, MRP y líneas de ensamblaje.

1.1 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Se considera un Sistema de Producción a un conjunto de componentes (máquinas, personas, entre otros.) cuya función es convertir insumos (materia prima, productos terminados de otros procesos, entre otros.) en un producto deseado, mediante un proceso de transformación ya sea físico (como en la manufactura), de ubicación (como en el transporte), de intercambio (como en la venta al menudeo), entre otros.²¹

En muchas empresas, más exactamente en aquellas de tipo industrial, el área de la producción es el motor que logra que la empresa funcione y alcance su cometido o la razón de ser.

La estructura de los sistemas de producción de las empresas pertenecientes al sector industrial es en términos generales la misma: se representa el proceso de conversión y/o transformación de unas entradas (materia prima, materiales, Recursos humanos, financieros, energía, entre otros) en salidas (productos terminados) todo esto con el fin de satisfacer

21 Fuente: CHASE, AQUILANO. Dirección y administración de la producción y de las operaciones. Mc Graw Hill. Sexta edición. 1995

las necesidades y expectativas de los clientes de la forma más productiva y competente posible.

1.1.1 Clasificación de sistemas productivos

Existen tres clases de sistemas de producción, a continuación se explica brevemente en qué consiste cada uno de ellos.

A. Sistema de producción por encargo: La empresa que lo utiliza sólo produce después de haber recibido el contrato o encargo de un determinado producto o servicio, aquí se llevan a cabo tres actividades:

Plan de producción: Relación de materia prima, mano de obra y proceso de producción.

Arreglo físico: Se concentra en el producto.

Previsibilidad de la producción: Cada producto exige un plan de producción específico.

B. Sistema de producción por lotes: Lo utilizan las empresas que producen una cantidad limitada de un tipo de producto o servicio por vez. También se llevan a cabo las tres actividades que el sistema anterior:

Plan de producción: Se realiza anticipadamente en relación a las ventas.

Arreglo físico: se caracterizan por máquinas agrupadas en baterías del mismo tipo.

Previsibilidad de la producción: Debe ser constantemente replanteado y actualizado.

C. Sistema de producción continua: Lo utilizan las empresas que producen un determinado producto sin modificaciones por un largo período, el ritmo de producción es rápido y las operaciones se ejecutan sin interrupciones. Dentro de este sistema se realizan los tres pasos:

Plan de producción: Se elabora generalmente para períodos de un año, con subdivisiones mensuales. Este sistema lo utilizan fabricantes de papel, celulosa, de automóviles, electrodomésticos.

Arreglo físico: Se caracteriza por máquinas y herramientas altamente especializadas, dispuestas en formación lineal y secuencial.

Previsibilidad de la producción: El éxito de este sistema depende totalmente del plan detallado de producción, el que debe realizarse antes que se inicie la producción de un nuevo producto.²²

1.2 DINAMICA DE SISTEMAS

Dinámica de Sistemas es un nombre propio que designa un determinado método de construcción de modelos de sistemas sociales susceptibles de ser simulados por ordenador.²³

La principal ventaja de la creación de modelos mediante la Dinámica de Sistemas es que se generan acciones que pueden ser simuladas a un costo

²² Fuente: Quijano, Andrés. Los elementos y subsistemas del sistema de producción, sus interrogantes, tendencias y desafíos del futuro. <http://espanol.geocities.com/aquijanop17/>. Consultado el: 15/08/2007

²³ Fuente: Torrealdea, Javier. Dinámica de sistemas http://www.robinsoncofre.googlepages.com/DSistemas_Elementos.pdf. Consultado el: 08/05/2007

más bajo, posibilitando valorar sus resultados sin necesidad de ponerlas en práctica en la realidad, lo cual generaría un costo más alto.

Un aspecto notable del método es su enorme capacidad descriptiva. Los modelos se representan mediante unos diagramas conocidos como diagramas de flujo.²⁴

Los campos de aplicación de la dinámica de sistemas son muy variados. Por ejemplo, para construir modelos de simulación informática, sistemas sociológicos, ecológicos y medioambientales.²⁵

La estructura de un modelo de sistemas es la siguiente:

Diagrama causal o de Influencias

Representa las relaciones de influencia que se dan entre los elementos de un sistema, la relación entre una variable A y otra B del sistema se representará mediante una flecha.

Figura 3. Relación A-B



Fuente: ARACIL, Javier. DINAMICA DE SISTEMAS. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Cuarta Edición. Graficas Marbe. Madrid, España. 2006.

Leyéndose “A influencia a B”

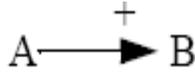
Sobre la flecha se indicará con un signo + o – el tipo de relación, como se ilustra a continuación:

24 Ibit

25 Aracil Javier. Dinámica de Sistemas

[http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/0/6878CA75CB854180C12570F90036EDC2?OpenDocu](http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/0/6878CA75CB854180C12570F90036EDC2?OpenDocument)
[ment](#). 08/05/2007

Figura 4. Relación “A influencia positivamente a B”



Fuente: ARACIL, Javier. DINAMICA DE SISTEMAS. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Cuarta Edición. Graficas Marbe. Madrid, España. 2006.

Siendo positiva la relación cuando las variaciones de A y B son en el mismo sentido.

Figura 5. Relación “A influencia negativamente a B”



Fuente: ARACIL, Javier. DINAMICA DE SISTEMAS. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Cuarta Edición. Graficas Marbe. Madrid, España. 2006.

Y siendo negativa cuando las variaciones de A y B se dan en sentido contrario.

Bucles o lazos de realimentación

Un bucle de realimentación es una cadena cerrada de causas y efectos en un diagrama causal. A cada bucle cerrado se le asigna un signo + o - calculando el producto algebraico de todos los signos (+1 o -1) que incluye:

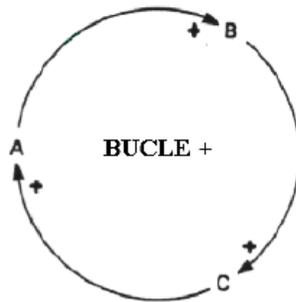
- Un ciclo es positivo (+ entre paréntesis) si todas las relaciones tienen signo + o existe un número par de relaciones -.
- Un ciclo es negativo (- entre paréntesis) si existe un número impar de relaciones -.

- **Tipos de Bucles de Realimentación**

Los bucles de realimentación pueden ser de dos tipos:

1. Bucles de Realimentación positiva: Son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que refuerza la variación inicial.

Figura 6. Bucles de realimentación positiva

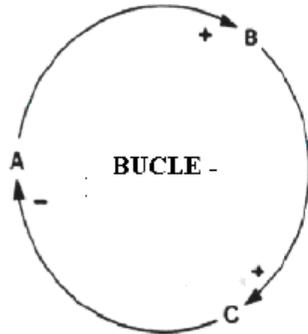


Fuente: ARACIL, Javier. DINAMICA DE SISTEMAS. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Cuarta Edición. Graficas Marbe. Madrid, España. 2006.

2. Bucles de realimentación negativa: Son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que contrarreste la la variación inicial. TIENDE A CREAR EQUILIBRIO.²⁶

²⁶ Fuente: ARACIL, Javier. DINAMICA DE SISTEMAS. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Cuarta Edición. Graficas Marbe. Madrid, España. 2006.

Figura 7. Bucles de realimentación negativa



Fuente: ARACIL, Javier. DINAMICA DE SISTEMAS. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Cuarta Edición. Graficas Marbe. Madrid, España. 2006.

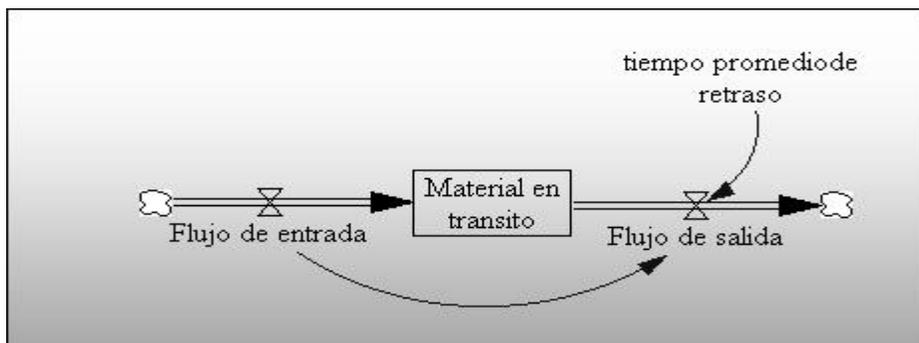
- **Retrasos en los sistemas**

Un aspecto importante que se debe considerar en el estudio de sistemas dinámicos es el retraso que se produce en la transmisión de información o de materiales a lo largo de estos. Al construir el diagrama causal de un sistema se debe considerar que la relación causal que liga a dos variables puede implicar la transmisión de información o material para la cual se requiere el transcurso de cierto tiempo; es entonces cuando se está en presencia de un retraso. Un retraso es conocido también por retardo o demora. Para formarse una idea sobre la situación de cierto problema es necesario que trascorra cierto tiempo antes de tomar una decisión, y una vez tomada está, debe transcurrir algún tiempo hasta que se observen los efectos en la misma.

Retrasos en la transmisión de material: Los retrasos de materiales se producen cuando existen elementos en el sistema que almacenan el material que fluye por el mismo. En la figura 5, se muestra un retraso de material de primer orden. El orden viene dado por el número de niveles

necesarios para la simulación del mismo. El retraso²⁷ es producido a través de la acción combinada del nivel y el flujo como se observa en el recuadro de la figura 8

Figura 8. Retraso de Material de primer orden



Fuente- John D. Sterman: Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. pág. 416. 2000.

Retrasos en la transmisión de información: Este tipo de retrasos resulta de la necesidad de conservar y almacenar información del sistema antes de tomar una decisión.

Los retrasos en la transmisión de información actúan como filtros que son capaces de aislar los picos que presenta la evolución de una variable, tomando un valor promedio de la misma. Al promediarse ponderarán los datos disponibles de manera que los más recientes influyan significativamente en los más antiguos.

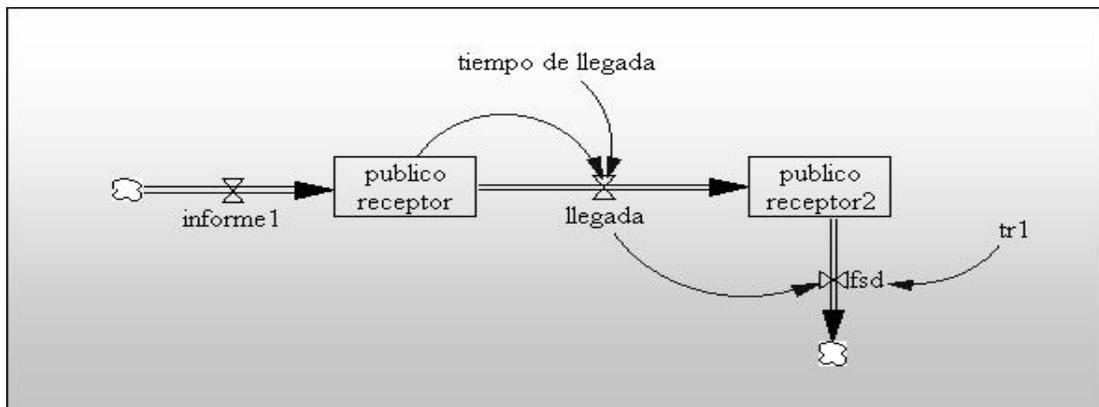
Normalmente la información empleada para tomar decisiones con lleva a irregularidades debido a errores, comportamientos individuales o de grupo,

²⁷ Fuente: John D. Sterman: Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. pág. 416. 2000.

periodos no uniformes, intermitencias, entre otros. Estas irregularidades se deben filtrar para determinar las variaciones significativas subyacentes. El proceso para lograr esto es llamado proceso de promedio o aislado. Este proceso elimina el ruido de alta frecuencia e introduce retrasos en la transmisión de la información. En cualquier proceso aislado se debe establecer un compromiso entre realizar un aislado intenso para reducir el ruido significativo, a costa de un retraso importante o de un aislado menor que arrastrara a un cierto ruido, pero con un tiempo de retraso mucho menor.

La figura 9 muestra el diagrama de Forrester en donde se consideran dos niveles y tres flujos.

Figura 9. Retraso en la transmisión de información



Fuente- John D. Sterman: Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. pág. 416. 2000.

Variables

Se distinguen tres tipos de variables en función de su propio cometido en el modelo. Variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares.

Los **niveles** suponen la acumulación en el tiempo de una cierta magnitud. Son las variables de estado del sistema, en cuanto que los valores que toman determinan la situación en la que se encuentra el mismo.

Los **flujos** expresan de manera explícita la variación por unidad de tiempo de los niveles. No es siempre inmediato decidir cuál de los tres tipos será el apropiado para representar a un elemento determinado del sistema real en estudio. Pensar en un cierto nivel de agua y en un grifo que lo abastece es una buena metáfora para mejor comprender los significados respectivos de estos dos tipos de variable.

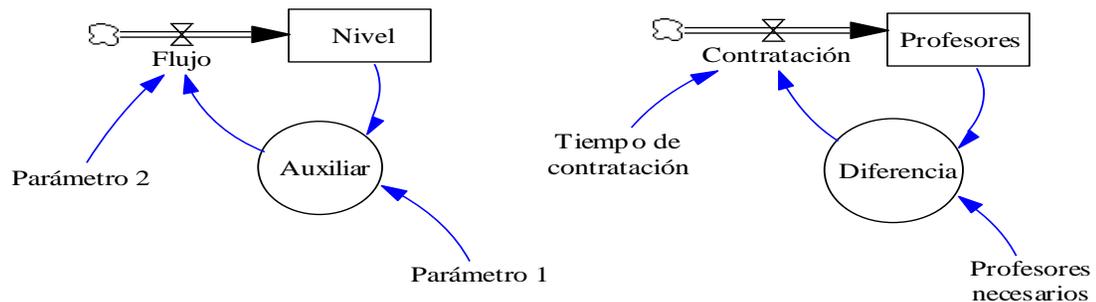
Las variables auxiliares son, como su nombre indica, variables de ayuda en el modelo. Su papel auxiliar consiste en colaborar en la definición de las variables de flujo y en documentar el modelo haciéndolo más comprensible.

Además de las variables reseñadas, en todo modelo habrá también parámetros, o sea, variables que se mantienen constantes durante todo el horizonte temporal de ejecución del modelo.

Toda variable de nivel está unida a una o más variables de flujo las cuales son responsables de la variación de la primera. De hecho, un nivel sólo cambia en cuanto se llena o vacía por los flujos que le afectan.²⁸

²⁸ Fuente: John D. Sterman: Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. pág. 416. 2000.

Figura 10. Organización de las variables de Nivel y Flujo en un diagrama



Fuente- John D. Sterman: Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. pág. 416. 2000.

Diagrama de Forrester

El diagrama de Forrester es una representación simbólica de las variables de nivel, flujo y auxiliares de un diagrama causal una vez identificadas y constituye un paso intermedio entre el diagrama causal y el sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden que le corresponde.²⁹

Los símbolos que aparecen en el diagrama vienen dados en la siguiente tabla.

²⁹ Fuente: Modelado en dinámica de sistemas.
[www.isa.uma.es/C17/Presentaciones%20de%20Clase%20\(ppt\)/Document%20Library/SEMINARIO_dinamica_sistemas.pdf](http://www.isa.uma.es/C17/Presentaciones%20de%20Clase%20(ppt)/Document%20Library/SEMINARIO_dinamica_sistemas.pdf). Consultado el: 18/08/2007

Tabla 3. Simbología para construcción de Diagramas de Forrester

| | |
|---|---|
|  | Nube: representa una fuente o un pozo; puede interpretarse como un estado que no tiene interés y es prácticamente inagotable. |
|  | Estado: representa una acumulación de un flujo. |
|  | Flujo: Variación de un estado; representa un cambio en el estado del sistema. |
|  | Canal de material: canal de transmisión de una magnitud física que se conserva. |
|  | Canal de información: Canal de transmisión de una cierta información, que no es necesario que se conserve. |
|  | Variable auxiliar: una cantidad con un cierto significado físico en el mundo real y con un tiempo de respuesta instantáneo. |
|  | Constante: un elemento del modelo que no cambia de valor. |
|  | Retraso: un elemento que simula retrasos en la transmisión de información o de material. |
|  | Variable exógena: variable cuya evolución es independiente de las del resto del sistema. Representa una acción del medio sobre el sistema. |

Fuente:

[www.isa.uma.es/C17/Presentaciones%20de%20Clase%20\(ppt\)/Document%20Library/SEMI/NARIO_dinamica_sistemas.pdf](http://www.isa.uma.es/C17/Presentaciones%20de%20Clase%20(ppt)/Document%20Library/SEMI/NARIO_dinamica_sistemas.pdf). 18/08/2007

Formulación de ecuaciones en un modelo

Todas las relaciones entre las variables deben ser explícitamente cuantificadas. La forma más frecuente de establecer la relación entre dos variables es mediante una expresión analítica que proporciona la función que relaciona ambas variables.

Las ecuaciones de variables auxiliares pueden adoptar cualquier forma analítica si bien, por su propia naturaleza de variables añadidas para simplificar la descripción, no tienen porque ser expresiones complicadas. Muchas veces no conoceremos la relación algebraica precisa pero podremos tener un conocimiento expresable mediante una gráfica. Esta gráfica se traducirá en una tabla en el momento de su implementación.

Esta forma de establecer dependencias es muy útil cuando nuestro conocimiento de la relación entre dos variables auxiliares tiene un carácter experimental y, también, cuando desconociendo la naturaleza exacta de la relación deseamos introducir hipótesis plausibles para la misma.

Las ecuaciones más problemáticas de decidir siempre son las correspondientes a algunos flujos. En particular a aquellos que definen las políticas del sistema. Téngase en cuenta que los cambios en el estado del sistema corresponden a los flujos. Por ello, los flujos son los puntos del modelo donde se plasman las decisiones importantes. Cual va a ser la política de contratación, cuál la de incremento de la inversión, de que dependen los contagios, son ejemplos de flujos típicos. Una buena parte del esfuerzo de construcción del modelo deberá dedicarse a la determinación de estos flujos.

Las ecuaciones correspondientes a los niveles son siempre iguales. Un nivel es siempre y por definición la integración de todos los flujos que le afectan.³⁰

1.3 PLANEACIÓN AGREGADA

La planeación agregada se refiere a la relación existente entre la oferta y la demanda de producción a mediano plazo.

Es una herramienta para llevar control y programación dentro de la empresa para lograr que esta cumpla con las expectativas esperadas, para esto hay

³⁰ Fuente: TORREALDEA, Javier. Ciencias de la Computación e Inteligencia artificial; Cap. Dinámica de Sistemas. Madrid, España. 2004.

que tomar en cuenta diferentes factores tales como; los niveles de oferta y demanda, y los recursos que se van a utilizar, también es de suma importancia tener en cuenta que la planeación agregada le asegura a la empresa eficiencia competitiva.

Básicamente la planeación agregada se utiliza para buscar un equilibrio entre productos y la capacidad en los distintos niveles de la empresa para competir de manera adecuada ya que esta se centra en el volumen y en tiempo de producción de los productos y la capacidad de operaciones utilizada.

Objetivos principales de la Planeación agregada: El Principal objetivo de la planeación agregada es establecer un plan de producción que permita a la empresa enfrentarse a la demanda cambiante, es decir; definir niveles generales de producción a corto y mediano plazo considerando una demanda fluctuante o poco segura, otros objetivos de la planeación agregada son:

Análisis de la Economía en general.

Determinación de los pasos a seguir en el sistema de planeación de la empresa.

Proponer y establecer un programa general que determine las ordenes de compra o pedidos de materias primas, materiales necesarios para la producción.

Establecer actividades periódicamente que permitan ejercer un control sobre la producción.

Este sistema tiene un alcance predeterminado, tanto en límite de tiempo como en productividad el tiempo no debe superar el año y cabe anotar que solo se puede hacer para una sola medida de producción.

Como resultado de la planeación agregada se deben tomar decisiones en cuanto a tiempo extra, contrataciones, despidos, subcontratistas, y niveles de inventario. La planeación agregada determinan tanto los niveles de producción que se planean como la mezcla apropiada de los recursos a utilizar.

La planeación agregada puede buscar influir tanto en la demanda como en la oferta de varias maneras. Para influir en la demanda lo puede hacer a través de: precios, publicidad y promociones, desarrollos de productos complementarios. Para influir en la oferta se puede hacer por medio de: contratación y despidos de empleados, uso de tiempo extra y semanas cortas. Uso de mano de obra temporales eventuales, uso de inventarios y subcontratistas³¹.

1.4 MRP

El MRP en la actualidad es uno de los sistemas de planeación de compras más utilizado. El concepto detrás del MRP es su gran aportación: Separar la demanda dependiente de la independiente, es decir, planear la producción de la demanda dependiente sólo en la medida en que ésta se ligue con la satisfacción de la demanda independiente. Dentro de este juego de palabras el MRP reconoce que existe demanda independiente (se origina

³¹ Fuente: SCHROEDER, Roger, Administración de operaciones, toma de decisiones en la función de operaciones, ED. MC graw hill , tercera edición, año 1992

fuera del sistema y no se puede controlar su variabilidad) y dependiente (demanda de los componentes que ensamblan los productos finales) y, sobre todo, enfatiza en la relación entre ambas para tratar de reducir los inventarios propios de sistemas como el punto de reorden. Así, el MRP es un sistema denominado push, ya que su mecánica básica define programas de producción (o compras) que deben ser empujados en la línea de producción (o al proveedor) en base a la demanda de productos terminados³².

El MRP es una herramienta que se considera de lógica simple y que su complejidad radica principalmente en la cantidad de artículos a administrar y la explosión de materiales con la que se cuenta.

El MRP trabaja en base a dos parámetros básicos del control de producción: tiempos y cantidades.

Además, al hacer esto debe considerar cuándo deben iniciar los procesos para cada artículo con el fin de entregar la cantidad completa en la fecha comprometida. Para obtener programas de producción y compras en términos de tiempos y cantidades, el MRP realiza cinco funciones básicas³³:

1. Cálculo de requerimientos netos: Requerimientos brutos obtenidos en el plan Maestro de producción

2. Definición de tamaño de lote: Los requerimientos netos deben agruparse en lotes

32, Fuente: ESCALONA, Iván,
http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/mrpnociones/Consultado el:16/08/2007,

33 Ibit

3. Desfase en el tiempo: Consiste en desfasar los requerimientos partiendo de su fecha de entrega, utilizando *leadtimes* fijos para determinar su fecha de inicio., este es uno de los problemas de fondo del MRP y que pone en duda la universalidad profesada por sus precursores³⁴

4. Explosión de materiales: Son todos aquellos requerimientos en materiales que se generan para la elaboración de producto terminado y que se hace por medio de lista en orden lógico.

5. Iteración: Consiste en repetir los cuatro primeros pasos para cada nivel de la lista de materiales hasta obtener los requerimientos de cada artículo y componente. Al ejecutar el algoritmo, es decir, las cinco funcionalidades descritas, el MRP genera tres tipos de documentos de salida u *outputs*:

Órdenes planeadas: Son las órdenes de trabajo o de compras obtenidas a partir de los cálculos del MRP. Normalmente, una orden incluirá componentes de varios pedidos o requerimientos, correspondientes a varios clientes.

Noticias de cambio: Indican cambios en las especificaciones de trabajos existentes, ya sea en cantidad o tiempo.

Noticias de excepción: Indican cuándo hay requerimientos que no se pueden cumplir, pues necesitaban haberse iniciado a procesar en el pasado. El planeador de producción debe tomar decisiones sobre estos requerimientos con el objetivo de expeditarlos o negociar las fechas compromiso con el cliente. Lo descrito en esta sección es un breve resumen de lo que sí hace el MRP. Aunque puede haber funcionalidades

³⁴ Ibit

adicionales, el concepto básico y la lógica del sistema se basan en estas cinco funcionalidades y los tres *outputs* descritos³⁵.

1.5 LÍNEAS DE ENSAMBLAJE

El clásico caso de operaciones de flujo lineal es una línea de ensamblaje en movimiento, esta forma de producción genera una gran eficiencia, aunque también genera efectos secundarios en términos de aburrimiento con el trabajo, ausentismo y rotación del personal.

Se conoce como una Línea de ensamblaje a un conjunto de máquinas, enlazadas por un mecanismo de transporte y una especificación detallada de cómo fluye, de una máquina a otra, el ensamblaje del producto.³⁶

Una Línea de ensamblaje no construye nada, simplemente se encarga de juntar las partes ya fabricadas de un objeto, en una serie de estaciones de trabajo.

Generalmente en una Línea de ensamblaje el producto pasa por las estaciones de trabajo requeridas sobre un medio automatizado, por ejemplo, una banda transportadora, hasta completarse. Normalmente una estación de trabajo es ocupada por un solo trabajador, aunque podría tener mas de un trabajador asignado a ella e incluso un solo trabajador podría manejar varias estaciones de trabajo, a cada estación se le asigna un tiempo máximo, en el cual el producto puede permanecer en dicha estación, una vez transcurrido ese tiempo el producto debe pasar a la siguiente

³⁵ Ibit

³⁶ Fuente: Marval, Salazar, Centeno. Heurístico para balancear una línea de ensamblaje simple <http://www.emis.de/journals/DM/v12-1/art2.pdf> . Consultado el: 08/05/2007

estación, este periodo de tiempo es conocido como periodo de ciclo. A cada estación de trabajo se puede asignar varias operaciones a realizar en el producto sin embargo; cada operación se asigna a una y solamente una estación de trabajo³⁷.

Las tareas necesarias para completar el producto final en una línea de ensamblaje se dividen y asignan a las estaciones de trabajo definidas, de tal manera que cada estación de trabajo ejecuta la misma tarea en cada producto.

³⁷ Fuente: SCHROEDER. Roger , Administración de operaciones, toma de decisiones en la función de operaciones, ED. MC graw hill , tercera edición, año 1992

2. MODELOS DE PLANEACIÓN ESTRATÉGICA

A continuación se muestra el proceso de formación de los modelos de Planeación Estratégica. El primer paso consiste en la conceptualización del modelo, en esta parte se exponen los seis pasos para la Planeación Estratégica, posteriormente se plantea el caso de estudio para este tema y la explicación de los dos modelos de acuerdo a dicho caso de estudio, realizando en cada modelo la definición de las variables, la identificación de las variables y parámetros, el diagrama de influencias del modelo, la formulación del modelo, la definición de las ecuaciones del modelo y la explicación de cómo se desarrolló el modelo, el análisis de los resultados y por último un análisis de sensibilidad del modelo ante ciertos cambios.

2.1 CONCEPTUALIZACIÓN E IDENTIFICACION DE VARIABLES DEL MODELO

A continuación se expone la conceptualización del modelo, en la cual se muestran los pasos fundamentales para llevar a cabo la planeación estratégica dentro de una empresa y además, se identifican las variables que integran de cada modelo de planeación estratégica.

2.1.1 Conceptualización del modelo

Los pasos fundamentales de la Planeación Estratégica son los siguientes:

El primero de ellos consiste en definir un alcance de la planeación, es decir, un período de tiempo para el cual se hará la planeación (Horizonte de planeación), y dividirlo en una serie de subperiodos, esto es conocido como intervalo temporal y, si la empresa cuenta con una serie de productos o

servicios debe crear grupos de producto agregado, conformado por bienes o servicios que tienen requerimientos comunes de recursos y procesamiento.

Generalmente la empresa define su horizonte de planeación entre 12 y 18 meses y este horizonte se divide entre 10 y 20 intervalos temporales. La duración de un intervalo es de 1 semana a un mes.

El segundo paso el proceso de planeación agregada consiste en elaborar un pronóstico de demanda estimada para cada grupo de producto agregado en cada uno de los períodos del horizonte de planeación.³⁸

El tercer paso consiste en utilizar técnicas como ofrecer descuentos en los precios de los productos, aumentar la promoción de los productos entre otras para alterar la demanda en caso de presentarse una variación muy grande entre los pronósticos de demanda de un período y otro.

Cuarto paso: Comparar la capacidad real con los requerimientos de producto durante cada período de planeación. Si la capacidad requerida no coincide con la capacidad disponible deben buscarse alternativas para ajustar la capacidad y estimar el costo de cada alternativa³⁹

Algunas alternativas para tratar de ajustar la capacidad requerida con la disponible son: Trabajar en horas extras; ajustar la duración del trabajo diario es decir, que los trabajadores trabajen más en temporada de alta

38 Fuente: RADFORD, NOORI. Administración de operaciones y producción: Calidad total y respuesta sensible rápida. ED. Mc Graw Hill Interamericana. Año 1997

39 Ibit

demanda a cambio de trabajar menos en épocas de poca demanda; subcontratar con competidores locales; entre otros.

El quinto paso consiste en seleccionar una estrategia de Planeación Agregada, es decir, decidir si se ajustará la tasa de producción a lo demandado en cada período o se mantendrá el mismo nivel de producción para todos los niveles o combinar ambas estrategias.

Finalmente, se desarrolla el plan agregado con el menor costo posible pero muy competitivo para la empresa.

2.2 CASO DE ESTUDIO

Una empresa encargada de procesar y vender agua embotellada está construyendo un plan agregado para el próximo año, utilizando Litros de agua como medida para la capacidad agregada.

Se considera una demanda Histórica como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4. Demanda Histórica de agua procesada por la empresa

| Mes | Litros de agua (miles) |
|------------|-------------------------------|
| Enero | 200 |
| Febrero | 200 |
| Marzo | 250 |
| Abril | 300 |
| Mayo | 350 |
| Junio | 600 |
| Julio | 750 |
| Agosto | 550 |
| Septiembre | 400 |
| Octubre | 350 |
| Noviembre | 350 |
| Diciembre | 250 |

Además cuenta con la siguiente información:

El costo de cada trabajador en tiempo normal (8 horas diarias) es de 250 pesos, es decir, el costo por hora laboral es de 31.25 pesos. El tiempo extra se paga a un 10% del tiempo normal.

Sólo se puede utilizar máximo el 15% del tiempo extra en cualquiera de los tres meses con demanda pronosticada más alta. En los demás meses no se puede utilizar tiempo extra.

El costo de contratar a un trabajador es de 500 pesos y el costo de despedirlo es de 1500 pesos.

Cada trabajador procesa 9500 Litros de agua al mes dentro del tiempo normal de trabajo. Para el tiempo extra se supone la misma velocidad de producción.

La Fuerza de trabajo inicial de la empresa es de 37 trabajadores.

El inventario inicial de productos terminados es de 45000. El inventario final deseado es del mismo valor.

El costo de mantener un litro de agua almacenada equivale al 2% de su costo de producción, el cual es igual a 3 pesos. Es decir, el costo de almacenamiento de un litro de agua equivale a 6 centavos.

El costo por unidad subcontratada es de 1 peso.

El número de días laborados al mes equivale a 22.

Se debe cubrir toda la demanda pronosticada de cada mes.

Se desean considerar tres planes agregados:

1. **Fuerza de trabajo nivelada:** Se utilizará la misma fuerza de trabajo para todos los meses, incluyendo aquellos con pronóstico de demanda alta.

Se utilizarán inventarios para cubrir la demanda en los meses que sí se requiera y se subcontratará las unidades faltantes.

2. **Estrategia de adaptación:** Contratar y despedir fuerza de trabajo de acuerdo a lo necesario para cubrir la demanda de cada mes.

2.2.1 Modelo para la estrategia 1

El modelo para la estrategia número 1 del caso de estudio descrito anteriormente consta de las variables expuestas a continuación.

Definición de las variables del modelo

Días laborados al mes: Número total de días que se trabaja en un mes.

Demanda pronosticada: Es la cantidad del producto que se prevé será requerida por el mercado durante cierto período de tiempo.

Costo de almacenamiento por unidad: Es el costo de mantener una unidad de producto terminado en inventario durante cierto tiempo.

Costo total de almacenamiento: Es el costo total de mantener cierta cantidad de producto terminado en inventario durante cierto periodo de tiempo.

Inventario de productos terminados: Es el número de bienes procesados que la empresa almacena en algún lugar y durante un periodo de tiempo.

Número de trabajadores: Es el total de trabajadores requeridos para el proceso productivo de la empresa. (Para el caso de la estrategia nº 1 este valor es constante para todos los meses)

Horas laboradas día: Equivale al número de horas establecidas como laborales normales (según la legislación colombiana corresponde a 8 horas diarias).

Total horas laboradas: Equivale al número total de horas laboradas en la empresa durante un mes.

Costo hora laboral: Es el valor de cada hora de trabajo dentro de la empresa.

Costo mano de obra: Es aquel costo equivalente al costo de cada hora Laboral por el total de horas laboradas.

Unidades producidas por hora: Es el total de unidades de producto terminado que resultan de cada hora laboral.

Costo unidad subcontratada: Es el costo en el cual incurre la empresa por cada unidad adicional producida o fabricada por subcontratación.

Costo total subcontrato: Es igual al costo de unidad subcontratada por el total de unidades subcontratadas.

Unidades a subcontratar: Equivale la cantidad de unidades obtenidas bajo la modalidad de subcontratación.

Producción: Es el número de unidades que la empresa logra procesar en un período de tiempo definido, buscando satisfacer la demanda.

Costo total de la estrategia: Equivale al valor total en el cual incurriría la empresa en caso de aplicar la estrategia en mención.

Costo acumulado de la estrategia: Corresponde al monto acumulado a lo largo de los meses por la implementación de la estrategia.

Identificación de variables y parámetros

Las variables pertenecientes al modelo de la estrategia 1 de planeación agregado se clasifican de la siguiente manera:

Variables de nivel

Inventario final de productos terminados
Costo acumulado de la estrategia

Variables de flujo

Producción

Variables auxiliares

Demanda pronosticada
Costo total de almacenamiento
Unidades a subcontratar
Costo total subcontrato
Costo mano de obra
Costo total de la estrategia 1

Unidades producidas por hora

Constantes o parámetros

Costo de almacenamiento por unidad

Costo unidad subcontractada

Costo hora laboral

Total horas laboradas

Días laborados al mes

Horas laboradas al día

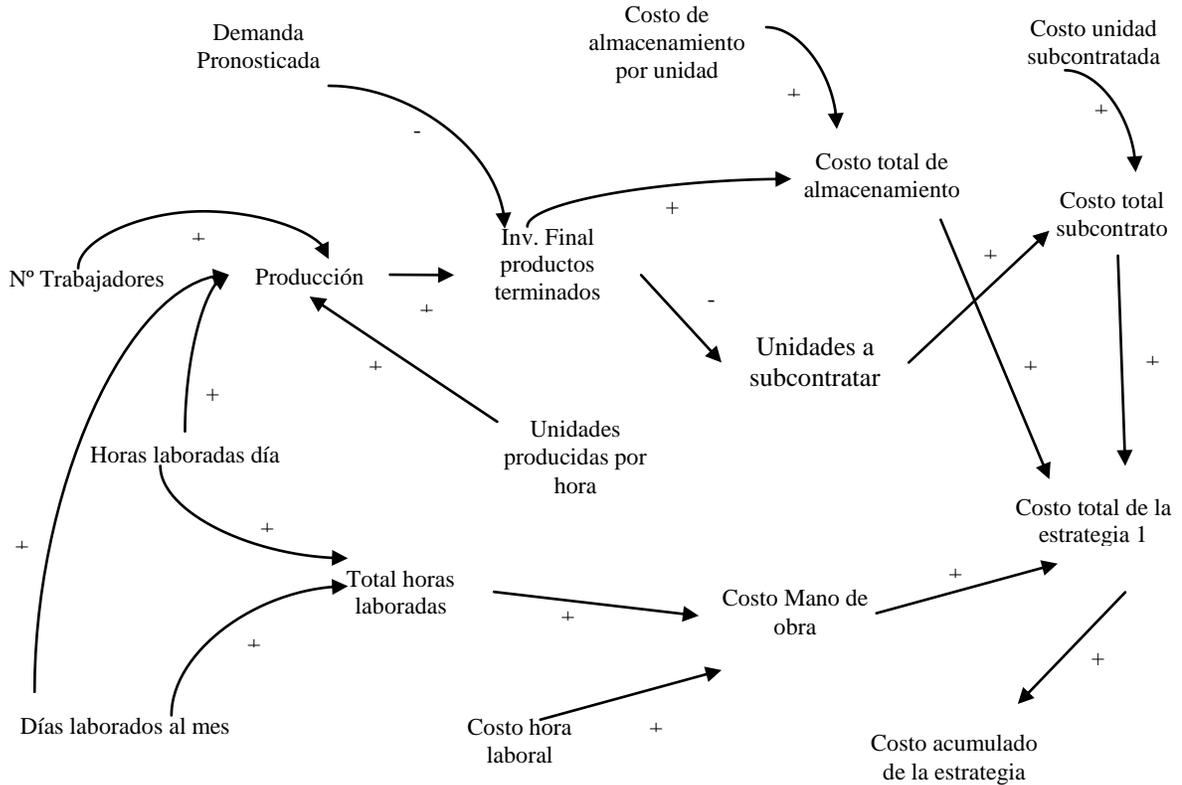
Número de trabajadores

Número de clientes

Diagrama de influencias del modelo

En el diagrama de influencias que se muestra a continuación podemos observar la relación que tienen las variables entre sí. De qué manera (Positiva o negativamente) una variable influye en otra, se utiliza signo positivo (+) cuando una variable afecta a otra de manera proporcional y signo negativo (-) cuando una variable afecta a otra de manera inversamente proporcional.

Figura 11. Diagrama de Influencias del modelo para la estrategia 1 de P.A.



Formulación del modelo

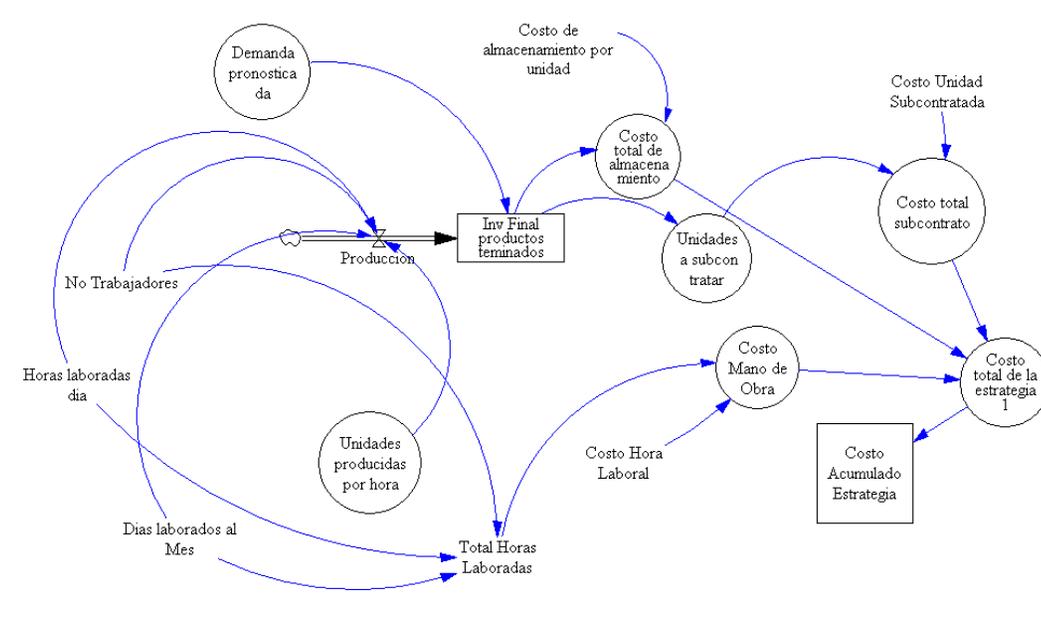
En la formulación del modelo se describen el diagrama de Forrester del modelo, la construcción de las ecuaciones necesarias para la simulación del modelo.

Diagrama de Forrester del modelo

En el diagrama de Forrester expuesto a continuación se muestra el modelo tal cual se encuentra representado en el software Vensim, mostrando cuales son las variables de nivel, las de flujo, las auxiliares y las constantes o parámetro. A diferencia del diagrama de Influencias, el diagrama de

Forrester no expone qué tipo de influencia puede tener una variable sobre la otra.

Figura 12. Diagrama de Forrester del modelo para la estrategia 1 de P.A.



Ecuaciones del modelo

A continuación se detallan las ecuaciones que intervienen en el modelo de la estrategia 1. Las ecuaciones arrojadas por el software VENSIM se ilustran en el anexo 1.

Variables de nivel

Inventario final de productos terminados: Producción - Demanda pronosticada

Costo acumulado de la estrategia:

Costo total de la estrategia 1

Variables de flujo

Producción: Días laborados Mes*Horas laboradas día*No
Trabajadores*Unidades producidas horas

Variables auxiliares

Costo total de almacenamiento: Costo de almacenamiento por
unidad*número de unidades almacenadas.

Unidades a subcontratar: Demanda pronostica- producción- inventario de
productos terminados

Costo total subcontrato: Costo Unidad Subcontratada*Unidades a
subcontratar

Costo mano de obra: Costo Hora Laboral*Total Horas Laboradas

Costo total de la estrategia 1: Costo total de almacenamiento +Costo
Mano de Obra + Costo total subcontrato

Horizonte de tiempo del modelo

Para ingresar el horizonte de tiempo del modelo el primer paso consiste en hacer click en icono MODEL ubicado en la barra de menú del programa VENSIM y escoger la opción SETTING. Tal como se muestra en la siguiente figura:

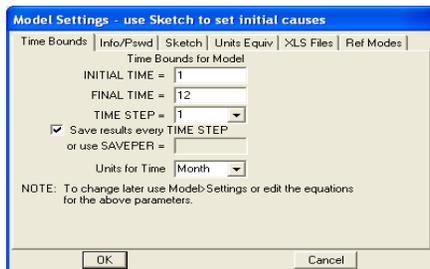
Figura 13. Ingreso del Horizonte de tiempo del modelo



Al optar por la opción SETTING aparecerá un cuadro en el cual se deben insertar los datos para el horizonte de tiempo del modelo.

Lo anterior se ilustra en la siguiente figura:

Figura 14. Datos para el horizonte de tiempo del modelo



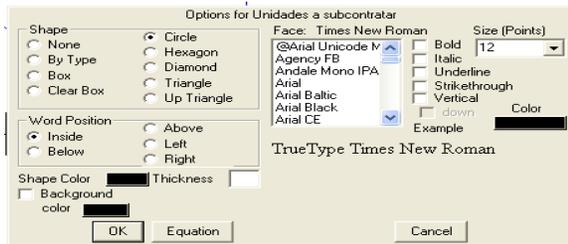
Para el modelo de la estrategia 1 de Planeación estratégica se ha escogido un horizonte de tiempo de 1 año (12 meses) tal como lo indica el caso de estudio, con corridas de un mes, iniciando a partir del período 1.

Ingreso de las ecuaciones al modelo

Para el ingreso de las ecuaciones que condicionan el comportamiento del modelo al software VENSIM se deben seguir los siguientes pasos:

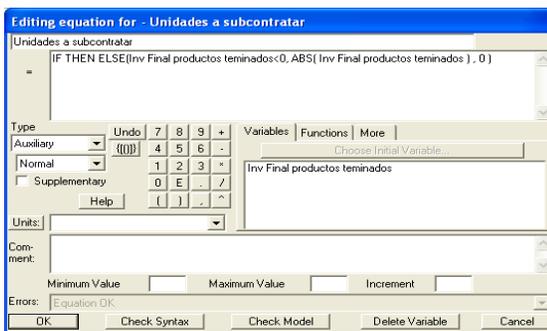
Click derecho sobre la variable, en ese momento se abre un cuadro con opciones para dicha variable.

Figura 15. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 1)



Escoger el cuadro de comando EQUATION, acto seguido se abre una ventana llamada EDITING EQUATION FOR “nombre de la variable”

Figura 16. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 2)



En este editor de ecuaciones se ingresan los datos correspondientes a la variable, tales como su respectiva ecuación (estos datos se ingresan con ayuda del pad numérico), qué tipo de variable es (TYPE), Unidad de medida (units).

En esta ventana se encuentra además, la pestaña VARIABLES dentro de la cual se pueden escoger las variables para armar la ecuación del modelo. En el caso de variables de nivel se debe ingresar un valor inicial (INITIAL VALUE)

Figura 17. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 3)



Para el ingreso de ecuaciones de variables aleatorias como las Unidades Producidas por hora se debe abrir la pestaña FUNCTIONS ubicada al lado de VARIABLE y escoger la opción RANDOM NORMAL para la ecuación. Dentro del RANDOM NORMAL se deben incluir valores como media (mean), desviación estándar (stdev), valor mínimo (min), valor máximo (max).

Figura 18. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 4)



En caso que la ecuación de la variable requiera el uso de condicionales, se utiliza función IF THEN ELSE, en la cual se coloca la condición (cond), la acción a seguir en caso que sea verdadera (ontrue) y la acción a seguir en caso que sea falsa (onfalse).

Figura 19. Ingreso de las ecuaciones al modelo (Paso 5)



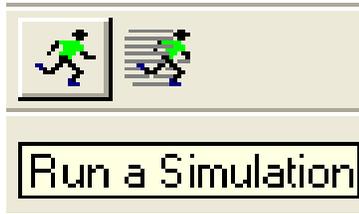
Verificación de ecuaciones y estructura del modelo

El siguiente paso consiste en verificar el correcto estado de las ecuaciones del modelo, antes de ponerlo a correr. Esto se hace mediante la opción MODEL ubicada en la barra de menú, escogiendo la opción CHECK MODEL.

Resultados del modelo

Ponga a correr el modelo mediante la opción RUN A SIMULATION ubicada en la barra de herramientas tan como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 20. Correr el modelo en Vensim



Si el modelo presenta algún error, la simulación no correrá y aparecerá la variable en la cual se encuentra el error con una descripción del mismo. Si por el contrario el modelo no presenta ningún error la simulación correrá inmediatamente.

Análisis del modelo

Para realizar el análisis del modelo se escoge la variable que se desea analizar y posteriormente se escoge alguno de los botones de análisis, ubicados en la parte izquierda de la pantalla.

Por cada variable se pueden observar los resultados obtenidos con el horizonte de tiempo definido al inicio de la creación del modelo.

Figura 21. Análisis del modelo

The image shows a screenshot of the Vensim software interface. The title bar reads "Vensim:PA-ESTRAT1.mdl Var:Demanda pronosticada". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Insert", "Model", "Options", "Windows", and "Help". The toolbar contains various icons for file operations and simulation control. A window titled "Table Time Down" is open, displaying a table of simulation results. The table has three columns: "Time (Month)", "Demanda pronosticada", and "Demanda pronosticada". The data is as follows:

| Time (Month) | Demanda pronosticada | Demanda pronosticada |
|--------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 208450 | 208450 |
| 2 | 564050 | 564050 |
| 3 | 505650 | 505650 |
| 4 | 367550 | 367550 |
| 5 | 445400 | 445400 |
| 6 | 569700 | 569700 |
| 7 | 249150 | 249150 |
| 8 | 633400 | 633400 |
| 9 | 402550 | 402550 |
| 10 | 469100 | 469100 |
| 11 | 420900 | 420900 |
| 12 | 502150 | 502150 |

Resultado caso de estudio

A continuación se exponen los resultados de cada variable relacionada en caso de estudio anterior.

Resultados variables de nivel

Inventario final de productos terminados

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario final de productos terminados en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 22. Resultados Inv. Final de productos terminados (estrategia 1)

| Time (Month) | "Inv Final productos terminados" | Inv Final productos terminados |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | | 45000 |
| 2 | | 292390 |
| 3 | Runs: | 171156 |
| 4 | Current | 62738 |
| 5 | | 98932 |
| 6 | | 141932 |
| 7 | | -37048 |
| 8 | | 150106 |
| 9 | | -86062 |
| 10 | | -39284 |
| 11 | | -65568 |
| 12 | | 27980 |

Figura 23. Gráfico de resultados Inv. Final de productos terminados (estrategia 1)



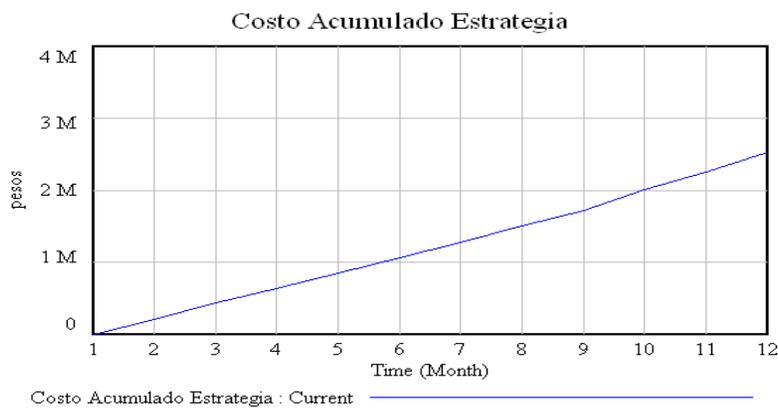
Costo acumulado de la estrategia

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo acumulado de la estrategia en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 24. Resultados Costo acumulado estrategia

| Time (Month) | "Costo Acumulado Estrategia" | Costo Acumulado Estrategia |
|--------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 206200 | 206200 |
| 3 | 427243 | 427243 |
| 4 | 641013 | 641013 |
| 5 | 848277 | 848277 |
| 6 | 1.05771e+006 | 1.05771e+006 |
| 7 | 1.26973e+006 | 1.26973e+006 |
| 8 | 1.51028e+006 | 1.51028e+006 |
| 9 | 1.72278e+006 | 1.72278e+006 |
| 10 | 2.01235e+006 | 2.01235e+006 |
| 11 | 2.25513e+006 | 2.25513e+006 |
| 12 | 2.5242e+006 | 2.5242e+006 |

Figura 25. Gráfico de resultados Costo acumulado estrategia



Resultados variables de flujo

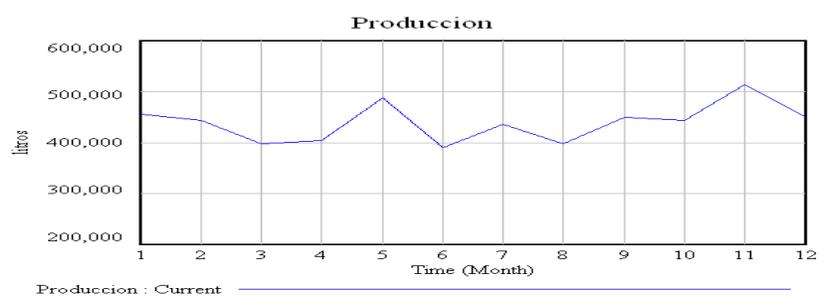
Producción

A continuación se muestra el resultado de la variable Producción en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 26. Resultados Producción estrategia 1 de P.A.

| Time (Month) | "Produccion" | Produccion |
|--------------|--------------|------------|
| 1 | Runs: | 455840 |
| 2 | Current | 442816 |
| 3 | | 397232 |
| 4 | | 403744 |
| 5 | | 488400 |
| 6 | | 390720 |
| 7 | | 436304 |
| 8 | | 397232 |
| 9 | | 449328 |
| 10 | | 442816 |
| 11 | | 514448 |
| 12 | | 449328 |

Figura 27. Gráfico de resultados Producción estrategia 1 de P.A.



Resultados variables auxiliares

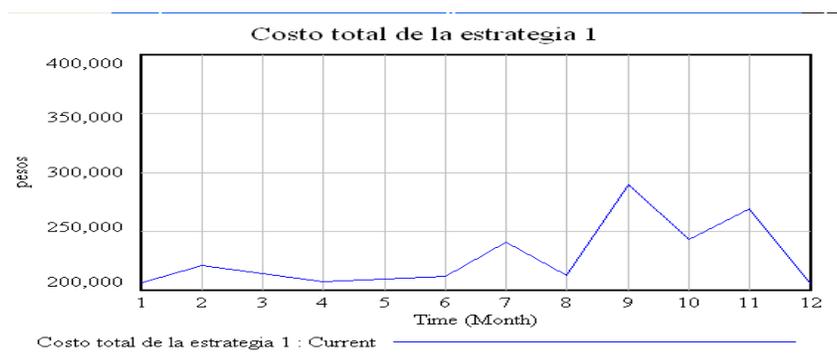
Costo total de la estrategia 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total de la estrategia 1 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 28. Resultados Costo total de la estrategia 1

| Time (Month) | "Costo total de la estrategia 1" | Costo total de la estrategia 1 |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | | 206200 |
| 2 | | 221043 |
| 3 | Runs: | 213769 |
| 4 | Current | 207264 |
| 5 | | 209436 |
| 6 | | 212016 |
| 7 | | 240548 |
| 8 | | 212506 |
| 9 | | 289562 |
| 10 | | 242784 |
| 11 | | 269068 |
| 12 | | 205179 |

Figura 29. Gráfico de resultados Costo total de la estrategia 1



Comentarios resultados primera estrategia

En la simulación de la estrategia 1 se puede observar comportamiento fluctuante del inventario final de productos terminados con tendencia a la disminución, presentando incluso valores negativos en los meses 7, 9, 10 y 11, meses en los cuales es necesario subcontratar estas cantidades.

La producción logra cubrir la demanda pronosticada durante los meses 1, 4, 5, 7, 9 y 11, meses en los cuales no es necesario utilizar el inventario final de productos terminados para satisfacer dicha demanda.

El costo total de la estrategia presenta un comportamiento fluctuante con puntos más altos durante los meses 7, 9, 10 y 11, esto debido al incremento del costo total subcontrato en dichos meses.

Sensibilización del modelo

Para analizar la sensibilidad del modelo ante posibles cambios en el mismo para el caso de la estrategia 1, se efectuarán las siguientes modificaciones en los valores de algunas variables:

El nº de trabajadores pasará de 37 a 39 y los días laborados al mes pasará de 22 a 24, esto con el fin de analizar qué tanto varían los niveles de producción, los niveles de inventario de productos terminados y si es necesario subcontratar unidades para cubrir en su totalidad la demanda requerida

Resultados sensibilización

Los siguientes son los resultados de las variaciones aplicadas al modelo para la estrategia 1 de planeación agregada.

Variables de nivel

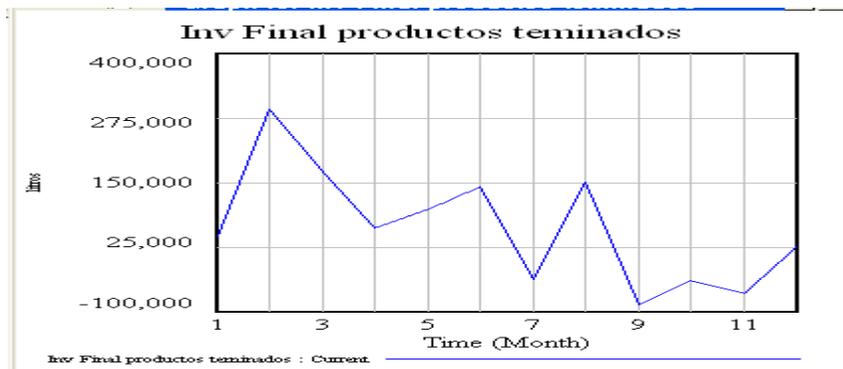
Inventario final de productos terminados

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario final de productos terminados en forma de tabla de datos y gráfica, una vez simulado el modelo con las variaciones descritas en la sensibilización del modelo.

Figura 30. Resultados sensibilización Inv. Final de productos terminados estrategia 1

| Time (Month) | "Inv Final productos terminados" | Inv Final productos terminados |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | productos | 45000 |
| 2 | terminados" | 292390 |
| 3 | Runs: | 171156 |
| 4 | Current | 62738 |
| 5 | | 98932 |
| 6 | | 141932 |
| 7 | | -37048 |
| 8 | | 150106 |
| 9 | | -86062 |
| 10 | | -39284 |
| 11 | | -65568 |
| 12 | | 27980 |

Figura 31. Gráfico resultados sensibilización Inv. Final de productos terminados estrategia 1



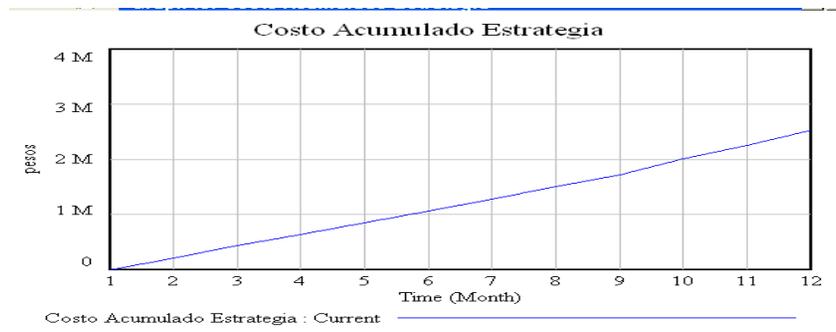
Costo acumulado de la estrategia

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo acumulado de la estrategia en forma de tabla de datos y gráfica, una vez simulado el modelo con las variaciones descritas en la sensibilización del modelo.

Figura 32. Resultados Sensibilización Costo acumulado de la estrategia

| Time (Month) | "Costo Acumulado Estrategia" | Costo Acumulado Estrategia |
|--------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 206200 | 206200 |
| 3 | 427243 | 427243 |
| 4 | 641013 | 641013 |
| 5 | 848277 | 848277 |
| 6 | 1.05771e+006 | 1.05771e+006 |
| 7 | 1.26973e+006 | 1.26973e+006 |
| 8 | 1.51028e+006 | 1.51028e+006 |
| 9 | 1.72278e+006 | 1.72278e+006 |
| 10 | 2.01235e+006 | 2.01235e+006 |
| 11 | 2.25513e+006 | 2.25513e+006 |
| 12 | 2.5242e+006 | 2.5242e+006 |

Figura 33. Gráfico resultados Sensibilización Costo acumulado de la estrategia



Variables de flujo

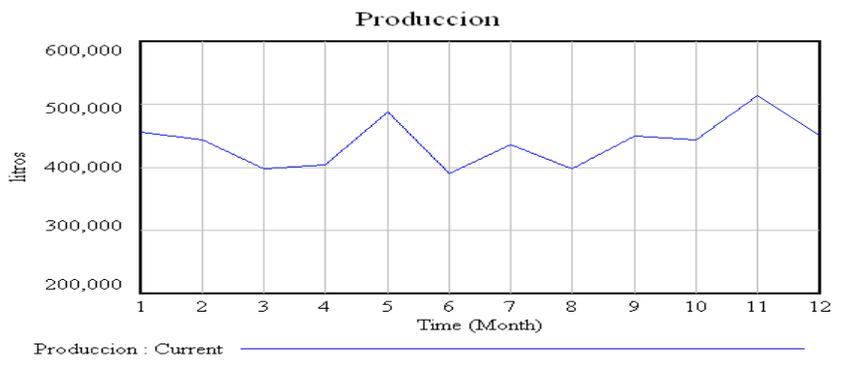
Producción

A continuación se muestra el resultado de la variable Producción en forma de tabla de datos y gráfica, una vez simulado el modelo con las variaciones descritas anteriormente.

Figura 34. Resultados sensibilización Producción estrategia 1

| Time (Month) | "Produccion" | Produccion |
|--------------|--------------|------------|
| 1 | Runs: | 455840 |
| 2 | Current | 442816 |
| 3 | | 397232 |
| 4 | | 403744 |
| 5 | | 488400 |
| 6 | | 390720 |
| 7 | | 436304 |
| 8 | | 397232 |
| 9 | | 449328 |
| 10 | | 442816 |
| 11 | | 514448 |
| 12 | | 449328 |

Figura 35. Gráfico resultados sensibilización Producción estrategia 1



Variables auxiliares

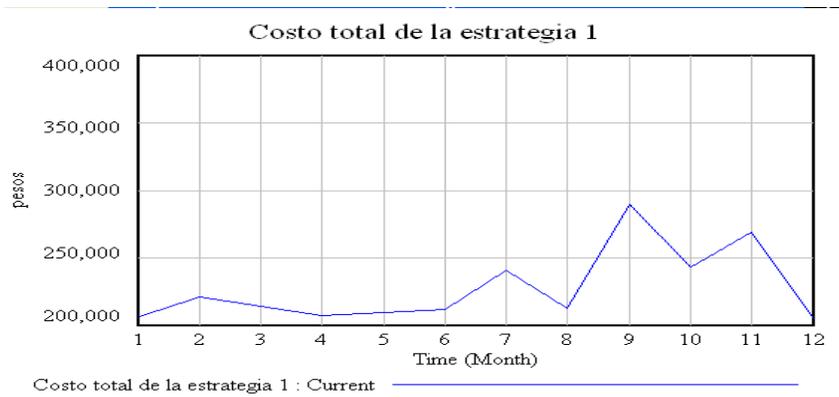
Costo total de la estrategia 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total de la estrategia en forma de tabla de datos y gráfica, una vez simulado el modelo con las variaciones descritas anteriormente.

Figura 36. Resultados sensibilización Costo total de la estrategia 1

| Time (Month) | "Costo total de la estrategia 1" | Costo total de la estrategia 1 |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | | 206200 |
| 2 | | 221043 |
| 3 | Runs: | 213769 |
| 4 | Current | 207264 |
| 5 | | 209436 |
| 6 | | 212016 |
| 7 | | 240548 |
| 8 | Table Time Down | 212506 |
| 9 | | 289562 |
| 10 | | 242784 |
| 11 | | 269068 |
| 12 | | 205179 |

Figura 37. Gráfico resultados sensibilización Costo total de la estrategia 1



Comentarios resultados sensibilización

Con los cambios efectuados en las variables N° de trabajadores y los días laborados al mes se logra cubrir la demanda esperada con las cantidades producidas y el inventario final de productos terminados, sin embargo, se observa un incremento en el costo total de la estrategia 1.

2.2.2 Modelo para la estrategia 2

A Continuación se desarrolla el modelo para la estrategia dos de Planeación Agregada.

Definición de las variables del modelo

Unidades producidas por trabajador al mes: Corresponde al número de unidades de producto terminado fabricadas por cada trabajador durante un mes.

Número de trabajadores: Es el total de trabajadores requeridos para el proceso productivo de la empresa. (para el caso de la estrategia n° 3 este valor varía mes a mes).

Costo de almacenamiento por unidad: Es el costo de mantener una unidad de producto terminado en inventario durante cierto tiempo.

Costo total de almacenamiento: Es el costo total de mantener cierta cantidad de producto terminado en inventario durante cierto periodo de tiempo.

Costo despido: Es el costo en el cual incurre la empresa por despedir un trabajador.

Costo total despido: Corresponde al costo en el cual incurre la empresa por el total de trabajadores que despida.

Costo contratación: Es el costo en el cual incurre la empresa por contratar un trabajador.

Costo total contratación: Corresponde al costo en el cual incurre la empresa por el total de trabajadores que contrate.

Trabajadores contratados/despuestos: Equivale al número de trabajadores requeridos en un período de tiempo determinado excluyendo los trabajadores actuales.

Trabajadores actuales: Corresponde al número de trabajadores que se encuentran laborando durante un mes en la empresa.

Producción: Es el número de unidades que la empresa logra procesar en un período de tiempo definido, buscando satisfacer la demanda.

Demanda pronosticada: Es la cantidad del producto que se prevé será requerida por el mercado durante cierto período de tiempo.

Inventario de productos terminados: Es el número de bienes procesados que la empresa almacena en algún lugar y durante un periodo de tiempo.

Horas laboradas día: Equivale al número de horas establecidas como laborales normales (según la legislación colombiana corresponde a 8 horas diarias).

Costo total de la estrategia: Equivale al valor total en el cual incurriría la empresa en caso de aplicar la estrategia en mención.

Costo acumulado de la estrategia: Corresponde al monto acumulado a lo largo de los meses por la implementación de la estrategia.

Total horas laboradas: Equivale al número total de horas laboradas en la empresa durante un mes.

Días laborados al mes: Número total de días que se trabaja en un mes.

Costo hora laboral: Es el valor de cada hora de trabajo dentro de la empresa.

Costo mano de obra: Es aquel costo equivalente al costo de cada hora Laboral por el total de horas laboradas.

Identificación de variables y parámetros

Este modelo consta de las siguientes variables:

Variables de nivel

Inventario de productos terminados

Trabajadores actuales

Costo acumulado de la estrategia 2

Variables de flujo

Producción

Variables auxiliares

Costo total despido

Trabajadores contratados/despídos

Costo total contratación

Demanda pronosticada

Costo total de la estrategia 2

Costo total de almacenamiento

Total horas laboradas Costo mano de obra
No trabajadores

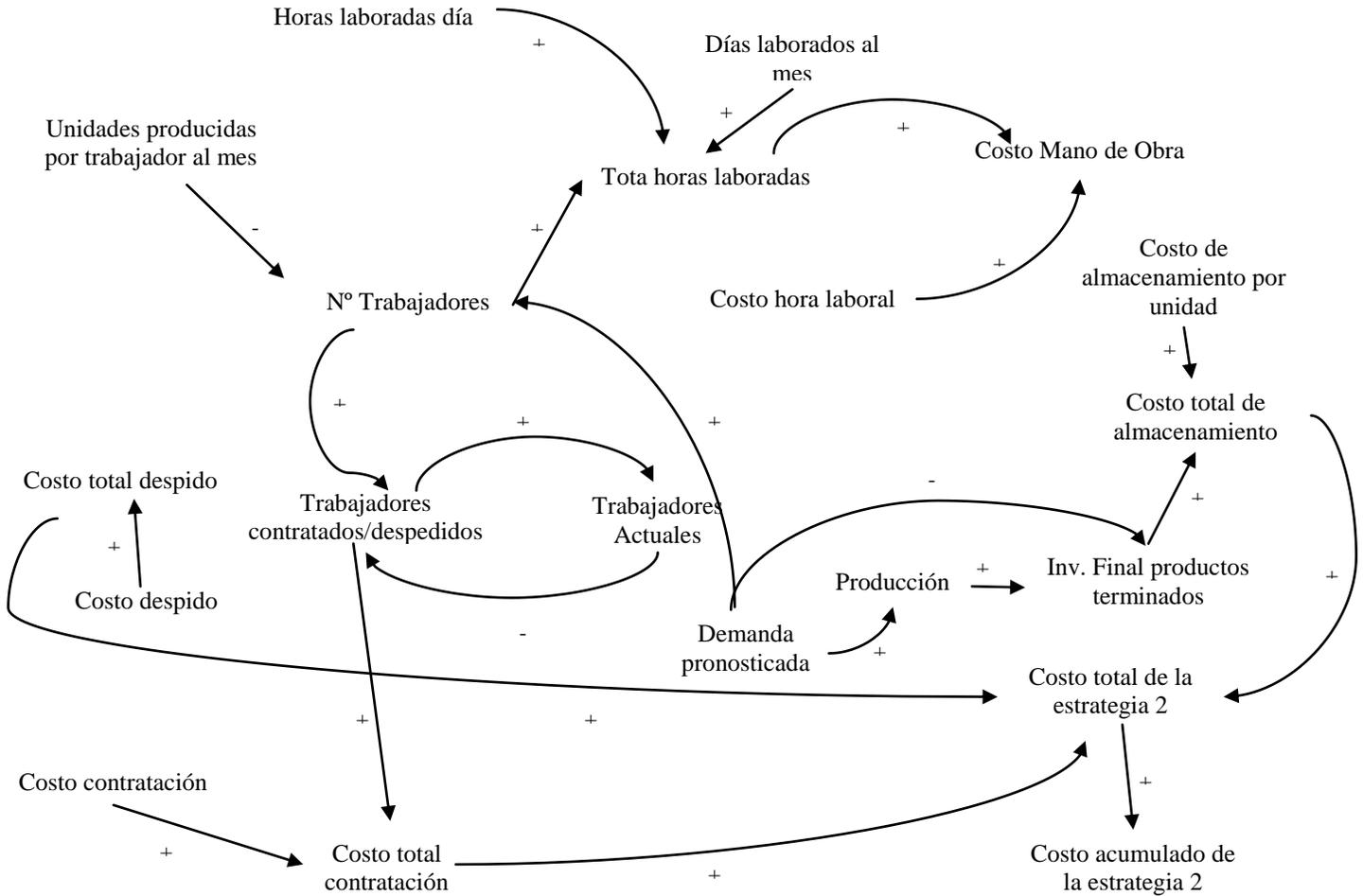
Constantes o parámetros

Horas laboradas día
Unidades producidas por trabajador al mes
Días laborados al mes
Costo de almacenamiento por unidad
Costo despido
Costo contratación
Costo hora laboral

Diagrama de influencias del modelo

En el diagrama de influencias que se muestra a continuación podemos observar la relación que tienen las variables entre si para el caso del modelo para la segunda estrategia. De qué manera (Positiva o negativamente) una variable influye en otra, se utiliza signo positivo (+) cuando una variable afecta a otra de manera proporcional y signo negativo (-) cuando una variable afecta a otra de manera inversamente proporcional

Figura 38. Diagrama de influencias del modelo para la estrategia 2 de P.A.



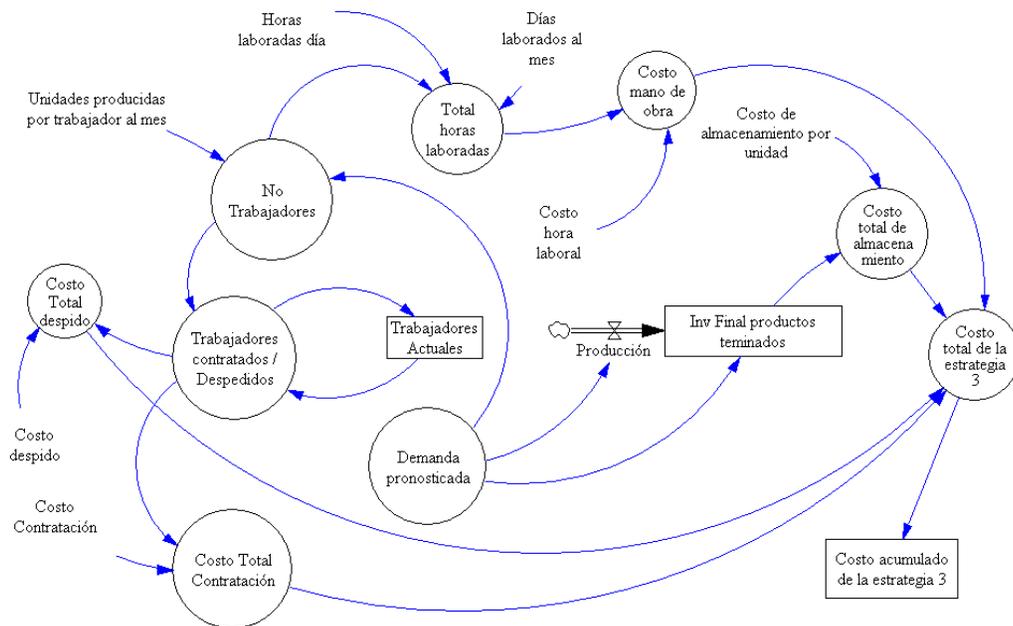
Formulación del modelo

En este punto se define el diagrama de Forrester del modelo y las ecuaciones del mismo.

Diagrama de Forrester del modelo

En el diagrama de Forrester expuesto a continuación se muestra el modelo tal cual se encuentra representado en el software Vensim, mostrando cuales son las variables de nivel, las de flujo, las auxiliares y las constantes o parámetro. A diferencia del diagrama de Influencias, el diagrama de Forrester no expone qué tipo de influencia puede tener una variable sobre la otra.

Figura 39. Diagrama de Forrester del modelo para la estrategia 2 de P.A



Ecuaciones del modelo

A continuación se detallan las ecuaciones que intervienen en el modelo de la estrategia 2 de Planeación agregada. Las ecuaciones arrojadas por el software VENSIM se ilustran en el anexo 1.

Variables de nivel

Inventario de productos terminados: Producción - Demanda pronosticada

Trabajadores actuales: Trabajadores contratados / Despedidos

Costo acumulado de la estrategia 2: Costo total de la estrategia 2

Variables de flujo

Producción: Demanda pronosticada

Variables auxiliares

Costo total despido: Costo despido* trabajadores despedidos

Trabajadores contratados/despuestos: No Trabajadores-Trabajadores
Actuales

Costo total contratación: Costo contratación* trabajadores despedidos

No trabajadores: Demanda pronosticada/Unidades producidas por
trabajador al mes

Costo total de almacenamiento: Costo de almacenamiento por unidad*número de unidades almacenadas.

Total horas laboradas: Días laborados al mes*Horas laboradas día*No Trabajadores

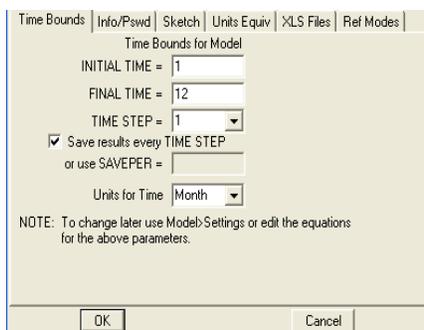
Costo total de la estrategia 2: Costo Total Contratación + Costo total de almacenamiento + Costo Total despido + Costo mano de obra

Costo mano de obra: Costo hora laboral*Total horas laboradas
Horizonte de tiempo del modelo

Para el modelo de la estrategia 2 de Planeación agregada se ha escogido el mismo horizonte de tiempo de la estrategia 1; este horizonte de tiempo es de 1 año (12 meses) con corridas de un mes, iniciando a partir del período n° 1.

El horizonte de tiempo para el modelo de la estrategia 2 se ilustra en la siguiente figura:

Figura 40. Horizonte de tiempo para la estrategia 2 de P.A.



Ingreso de las ecuaciones al modelo

Siguiendo los pasos explicados en el modelo para la estrategia 1 se ingresan las ecuaciones correspondientes a cada variable.

Verificación de ecuaciones y estructura del modelo

Mediante la opción MODEL- CHECK MODEL ubicada en la barra de menú.

Resultados del modelo

Mediante la opción RUN A SIMULATION

Análisis del modelo

A continuación se muestran los resultados de la simulación del modelo para la estrategia 2 en el software Vensim:

Resultado modelo para la estrategia 2:

A continuación se exponen los resultados del modelo para la estrategia 2 de Planeación Agregada.

Variables de nivel:

Inventario de productos terminados:

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario final de productos terminados en forma de tabla de datos y gráfica, para la estrategia 2.

Figura 41. Resultados Inv. Final de productos terminados (estrategia 2)

| Time (Month) | "Inv Final productos terminados" | Inv Final productos terminados |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | productos | 0 |
| 2 | terminados" | 0 |
| 3 | Runs: | 0 |
| 4 | Current | 0 |
| 5 | | 0 |
| 6 | | 0 |
| 7 | | 0 |
| 8 | | 0 |
| 9 | | 0 |
| 10 | | 0 |
| 11 | | 0 |
| 12 | | 0 |

Figura 42. Gráfico de resultados Inv. Final de productos terminados (estrategia 2)



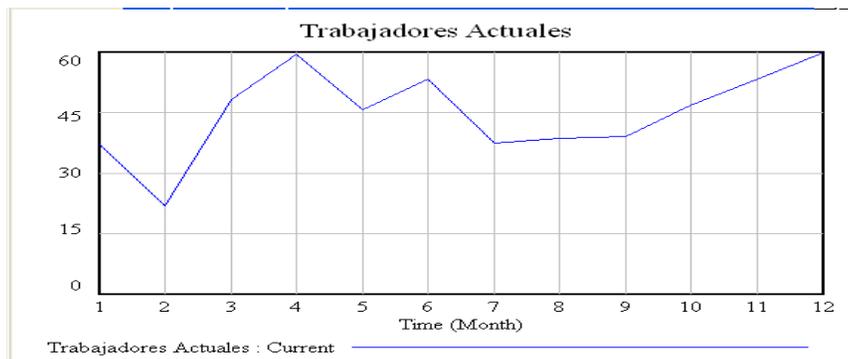
Trabajadores actuales

A continuación se muestra el resultado de la variable trabajadores actuales en forma de tabla de datos y gráfica, para la estrategia 2.

Figura 43. Resultados Trabajadores actuales

| Time (Month) | "Trabajadores Actuales" | Trabajadores Actuales |
|--------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | Actuals | 37 |
| 2 | Runs: | 21.9421 |
| 3 | Current | 48.1789 |
| 4 | | 59.3737 |
| 5 | | 45.7316 |
| 6 | | 53.2263 |
| 7 | | 37.3789 |
| 8 | Table Time Down | 38.6895 |
| 9 | | 38.9737 |
| 10 | | 46.8842 |
| 11 | | 53.1789 |
| 12 | | 59.9684 |

Figura 44. Gráfico resultados Trabajadores actuales



Costo acumulado de la estrategia 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo acumulado de la estrategia 2 en forma de tabla de datos y gráfica, para la estrategia 2.

Figura 45. Resultados Costo acumulado de la estrategia 2

| Time (Month) | "Costo acumulado de la estrategia 2" | Costo acumulado de la estrategia 2 |
|--------------|--|------------------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 98094.7 | 98094.7 |
| 3 | Runs: 376197 | 376197 |
| 4 | Current: 708350 | 708350 |
| 5 | | 939411 |
| 6 | | 1.2359e+006 |
| 7 | | 1.41772e+006 |
| 8 | Table Time Down | 1.63116e+006 |
| 9 | | 1.84566e+006 |
| 10 | | 2.10748e+006 |
| 11 | | 2.40311e+006 |
| 12 | | 2.73633e+006 |

Figura 46. Gráfico resultados Costo acumulado de la estrategia 2



Variables de flujo

Producción

A continuación se muestra el resultado de la variable Producción en forma de tabla de datos y gráfica, para la estrategia 2.

Figura 47. Resultados Producción estrategia 2

| Time (Month) | "Producción" | Producción |
|--------------|--------------|------------|
| 1 | Runs: | 208450 |
| 2 | Current | 457700 |
| 3 | | 564050 |
| 4 | | 434450 |
| 5 | | 505650 |
| 6 | | 355100 |
| 7 | | 367550 |
| 8 | | 370250 |
| 9 | | 445400 |
| 10 | | 505200 |
| 11 | | 569700 |
| 12 | | 349500 |

Figura 48. Gráfico resultados Producción estrategia 2



Variables auxiliares

Trabajadores contratados/despeditos

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajadores contratados/despeditos en forma de tabla de datos y gráfica, para la estrategia 2.

Figura 49. Resultados Trabajadores contratados/despedidos

| Time (Month) | "Trabajadores contratados / Despedidos" |
|--------------|---|
| 1 | -15.0579 |
| 2 | 26.2368 |
| 3 | 11.1947 |
| 4 | -13.6421 |
| 5 | 7.49474 |
| 6 | -15.8474 |
| 7 | 1.31052 |
| 8 | 0.28421 |
| 9 | 7.91053 |
| 10 | 6.29474 |
| 11 | 6.78947 |
| 12 | -23.1789 |

Nota: signo negativo significa Trabajadores despedido y signo positivo: trabajadores contratados.

Figura 50. Gráfico Resultados Trabajadores contratados/despedidos



Costo total de la estrategia 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total de la estrategia 2 en forma de tabla de datos y gráfica, para la estrategia 2.

Figura 51. Resultados Costo total de la estrategia 2

| Time (Month) | "Costo total de la estrategia 2" | Costo total de la estrategia 2 |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | | 98094.7 |
| 2 | | 278103 |
| 3 | Runs: | 332153 |
| 4 | Current | 231061 |
| 5 | | 296492 |
| 6 | | 181813 |
| 7 | | 213447 |
| 8 | | 214497 |
| 9 | | 261818 |
| 10 | | 295632 |
| 11 | | 333221 |
| 12 | | 167574 |

Figura 52. Gráfico de resultados Costo total de la estrategia 2



Comentarios resultados segunda estrategia

En el caso de la segunda estrategia el Inventario final de productos terminados da como resultado cero en todos los meses, debido a que en esta ocasión la empresa produciría exactamente la demanda pronosticada, por lo cual contrataría o despediría empleados de acuerdo a las necesidades del mercado. Debido a que el inventario final de productos

terminados es cero el costo total de almacenamiento también lo es en todos los períodos.

En los meses 3, 5, 10 y 11 se requiere mayor número de trabajadores debido a que la demanda que se pronostica para esos meses es la más alta del año.

De acuerdo a los resultados del modelo la empresa incurriría en mayores costos de despido (meses 1, 4, 6 y 12) que en costos de contratación (meses 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10 y 11).

Sensibilización del modelo

En el caso del modelo para la segunda estrategia se realizarán cambios en cuanto al horizonte de tiempo con el fin de analizar qué tan sensible es el modelo si en lugar de contratar o despedir empleados cada mes se haga en forma trimestral.

Debido a este cambio en el horizonte de tiempo del modelo, los valores de algunas variables expresados en forma mensual, ahora se expresarán en forma trimestral proporcionalmente. Este es el caso de las Unidades Producidas por trabajador, Días laborados y Costo de almacenamiento por unidad. El costo despido se incrementa debido a q no es igual despedir un trabajador luego de un mes de labores a despedirlo luego de 3 meses. Sin embargo, el costo contratación se mantiene.

Resultados sensibilización

A continuación se exponen los resultados del modelo para la estrategia 2 sujeto al proceso de sensibilización explicado anteriormente.

Variables de nivel

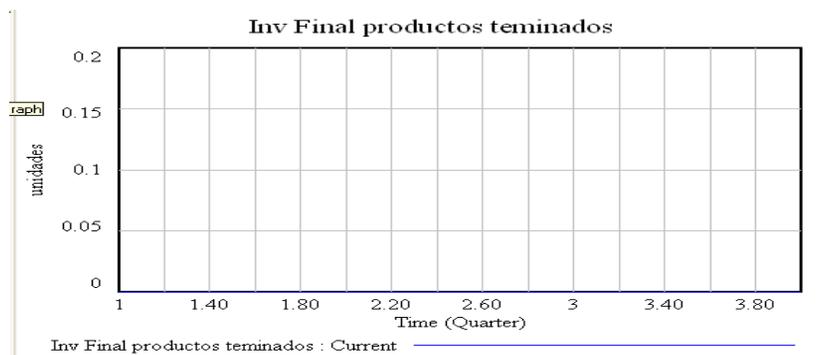
Inventario de productos terminados

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario final de productos terminados en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización de la estrategia 2.

Figura 53. Resultados sensibilización Inv. Final de productos terminados estrategia 2

| Time (Quarte | "Inv Final | Inv Final productos terminados |
|--------------|-------------|--------------------------------|
| 1 | productos | 0 |
| 2 | terminados" | 0 |
| 3 | Runs: | 0 |
| 4 | Current | 0 |

Figura 54. Resultados sensibilización Inv. Final de productos terminados estrategia 2



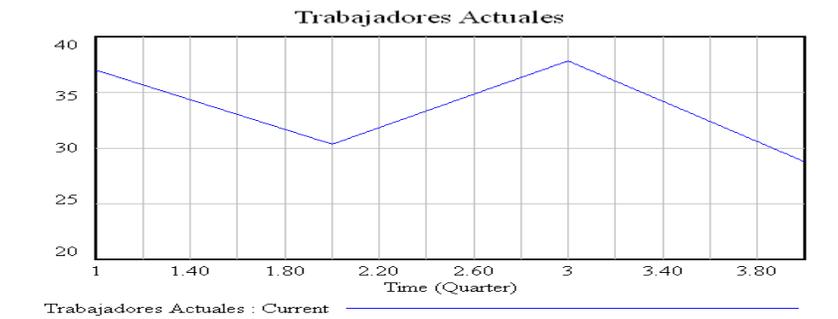
Trabajadores actuales

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajadores actuales en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización de la estrategia 2.

Figura 55. Resultados sensibilización Trabajadores actuales

| Time (Quarte | "Trabajadores | Trabajadores Actuales |
|--------------|---------------|-----------------------|
| 1 | Actuales" | 37 |
| 2 | Runs: | 30.3667 |
| 3 | Current | 37.8298 |
| 4 | | 28.7333 |

Figura 56. Gráfico resultados sensibilización trabajadores actuales



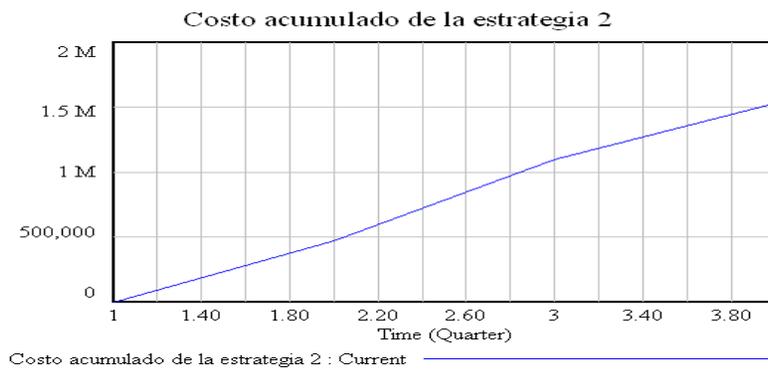
Costo acumulado de la estrategia 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo acumulado de la estrategia 2 en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización de la estrategia 2.

Figura 57. Resultados sensibilización Costo acumulado de la estrategia 2

| Time (Quarter) | "Costo acumulado de la estrategia 2" | Costo acumulado de la estrategia 2 |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 0 | |
| 2 | 471200 | |
| 3 | Runs: 1.09912e+006 | |
| 4 | Current 1.53229e+006 | |

Figura 58. Gráfico Resultados sensibilización Costo acumulado de la estrategia 2



Variables de flujo

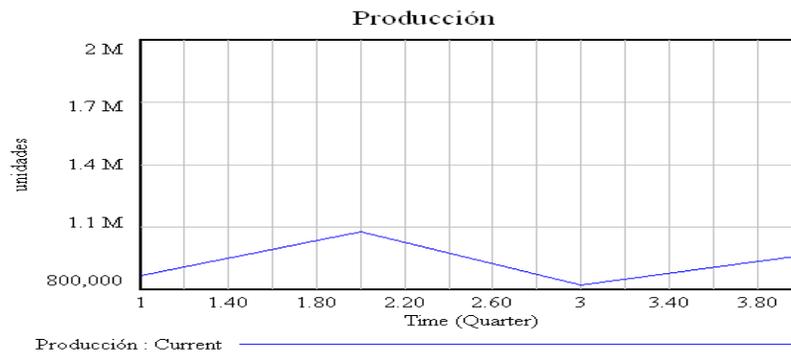
Producción

A continuación se muestra el resultado de la variable Producción en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización de la estrategia 2.

Figura 59. Resultados sensibilización producción (estrategia 2)

| Time (Quarte | "Producción" | Producción |
|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Runs: | 865450 |
| 2 | Current | 1.07815e+006 |
| 3 | | 818900 |
| 4 | | 961350 |

Figura 60. Gráfico Resultados sensibilización Producción (estrategia 2)



Variables auxiliares

Trabajadores contratados/despeditos

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajadores contratados/despeditos en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización de la estrategia 2.

Figura 61. Resultados sensibilización Trabajadores contratados/despedidos

| Time (Quarte | "Trabajadores | "Trabajadores contratados / Despedidos" |
|--------------|---------------|---|
| 1 | contratados / | -6.63333 |
| 2 | Despedidos" | 7.46316 |
| 3 | Runs: | -9.09649 |
| 4 | Current | 4.99825 |

Figura 62. Gráfico Resultados sensibilización Trabajadores contratados/despedidos



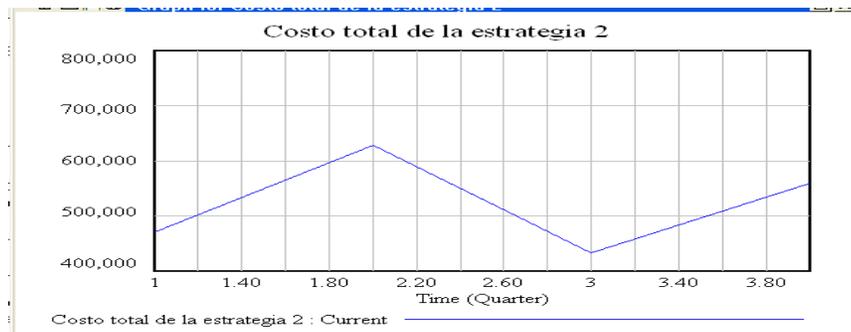
Costo total de la estrategia 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario final de productos terminados en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización de la estrategia 2.

Figura 63. Resultados sensibilización Costo total de la estrategia 2

| Time (Quarter) | "Costo total de la estrategia 2" | Costo total de la estrategia 2 |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | de la | 471200 |
| 2 | estrategia 2" | 627924 |
| 3 | Runs: | 433166 |
| 4 | Current | 559070 |

Figura 64. Gráfico Resultados sensibilización Costo total de la estrategia 2



Comentario resultados sensibilización

Al correr el modelo en forma trimestral se observa q el costo acumulado de la estrategia al finalizar el año (contratando y despidiendo personal cada tres meses) no sobrepasa el 1'600.000 mientras que contratando y despidiendo personal en forma mensual, este costo sobrepasa los 2'000000 de pesos. Esto debido a que mientras en el modelo original se incurre en costos por despido de personal en tres de los cuatro trimestres que conforman 1 año, en la sensibilización sólo se incurre en este costo en el primer y el tercer trimestre y además sumando estas cantidades al año el costo total de despido es mayor para el modelo original.

Además, el costo total de contratación también es menor puesto que se logra mantener un nivel promedio de empleados evitando despedir y contratar con más frecuencia.

El costo total de contratación en el modelo original es mucho más alto ya que se contrata durante casi todos los meses, mientras que en el modelo sensibilizado sólo se incurre en este costo durante el segundo y el cuarto trimestre. Además, los costos de mano de obra son menores, mientras que el costo de almacenamiento sigue siendo cero debido a que no existen unidades en inventario porque se produce lo estrictamente lo que muestra la demanda pronosticada.

3. MODELO LÍNEAS DE ENSAMBLAJE

A continuación se aplican los pasos de la dinámica de sistemas para la elaboración del modelo de líneas de ensamblaje.

3.1 CONCEPTUALIZACIÓN E IDENTIFICACION DE VARIABLES DEL MODELO

A continuación se expone la conceptualización del modelo, en la cual se muestran las condiciones para que una línea sea práctica y además, se identifican las variables que integran el modelo de líneas de ensamblaje.

3.1.1 Conceptualización del modelo

Las líneas de ensamblaje dan como resultado una gran eficiencia, al mismo tiempo la línea de ensamblaje parece tener graves efectos secundarios en términos de aburrimientos con el trabajo, ausentismo y rotación del personal. Por lo tanto el diseño de las líneas de ensamblaje y las alternativas para las líneas de ensamblaje tradicional deben ser estudiadas cuidadosamente. El problema clásico de las líneas de ensamblaje es la asignación de tareas (operaciones) a los trabajadores a lo largo de las líneas de ensamblaje para que el trabajo quede distribuido uniformemente⁴⁰

Condiciones para que una línea sea práctica:

1) Cantidad. El volumen o cantidad de producción debe ser suficiente para cubrir el costo de la preparación de la línea. Esto depende del ritmo de producción y de la duración que tendrá la tarea.

⁴⁰ Fuente: SCHROEDER. Roger , Administración de operaciones, toma de decisiones en la función de operaciones, ED. MC graw hill , tercera edición, año 1992

2) Equilibrio. Los tiempos necesarios para cada operación en línea deben ser aproximadamente iguales.

3) Continuidad. Deben tomarse precauciones para asegurar un aprovisionamiento continuo del material, piezas, subensambles, entre otros., y la prevención de fallas de equipo⁴¹.

3.2 CASO DE ESTUDIO

Una empresa dedicada al ensamble de sillas para comedor cuenta con cuatro estaciones de trabajo, cada una con un trabajador.

En la estación 1 se unen todas las partes para armar la silla (patas, espaldar, base de la silla).

En la estación 2 se pule la silla armada

En la estación 3 se pinta la silla

En la estación 4 se forra la base de la silla con tela

Cada trabajador logra procesar la siguiente cantidad de sillas

Tabla 5. Unidades procesadas por trabajador diariamente

| Unidades producidas por día | Trabajador 1 | Trabajador 2 | Trabajador 3 | Trabajador 4 |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 7 | 15 | 28 |
| 2 | 9 | 8 | 20 | 29 |
| 3 | 11 | 5 | 17 | 28 |
| 4 | 9 | 7 | 20 | 30 |

41 Fuente: ESCALONA, Iván. Planeación y Control de la producción: Balanceo de líneas de ensamble <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/peplinen.htm>, Consultado el: 26/08/07

| | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 5 | 11 | 7 | 22 | 26 |
| 6 | 11 | 5 | 25 | 27 |
| 7 | 14 | 10 | 24 | 26 |
| 8 | 12 | 7 | 20 | 26 |
| 9 | 11 | 6 | 15 | 30 |
| 10 | 11 | 7 | 16 | 30 |
| 11 | 9 | 5 | 20 | 29 |
| 12 | 11 | 7 | 21 | 27 |
| 13 | 15 | 7 | 20 | 28 |
| 14 | 11 | 9 | 17 | 26 |
| 15 | 13 | 9 | 16 | 30 |
| 16 | 11 | 8 | 24 | 29 |
| 17 | 9 | 7 | 18 | 30 |
| 18 | 13 | 8 | 19 | 29 |
| 19 | 11 | 7 | 19 | 30 |
| 20 | 11 | 9 | 18 | 32 |
| 21 | 12 | 5 | 20 | 33 |
| 22 | 11 | 7 | 19 | 30 |
| 23 | 11 | 9 | 15 | 32 |
| 24 | 9 | 8 | 24 | 34 |
| 25 | 11 | 7 | 24 | 35 |
| 26 | 11 | 6 | 23 | 35 |
| 27 | 11 | 5 | 20 | 35 |
| 28 | 9 | 6 | 21 | 34 |
| 29 | 11 | 5 | 23 | 32 |
| 30 | 10 | 7 | 25 | 30 |
| Media | 11 | 7 | 20 | 30 |
| Desviación | 1,41 | 1,36 | 3,02 | 2,7 |

Definición de las variables del modelo

Trabajador 1: Corresponde al trabajador de la estación número 1.

Trabajador 2: Corresponde al trabajador de la estación número 2.

Trabajador 3: Corresponde al trabajador de la estación número 3.

Trabajador 4: Corresponde al trabajador de la estación número 4.

Inventario de Productos en proceso 1: Corresponde a la cantidad de sillas que el trabajador 1 procesa menos las procesadas por el trabajador 2.

Inventario de Productos en proceso 2: Corresponde a la cantidad de sillas que el trabajador 2 procesa menos las procesadas por el trabajador 3.

Inventario de Productos en proceso 3: Corresponde a la cantidad de sillas que el trabajador 3 procesa menos las procesadas por el trabajador 4.

Inventario de productos terminados: Corresponde a la cantidad total de sillas producidas por el trabajador 4.

Identificación de variables y parámetros

Las variables que integran el modelo de líneas de ensamblaje se clasifican de la siguiente forma:

Variables de nivel

Inventario de Productos en proceso 1

Inventario de Productos en proceso 2

Inventario de Productos en proceso 3

Inventario de productos terminados

Variables de flujo

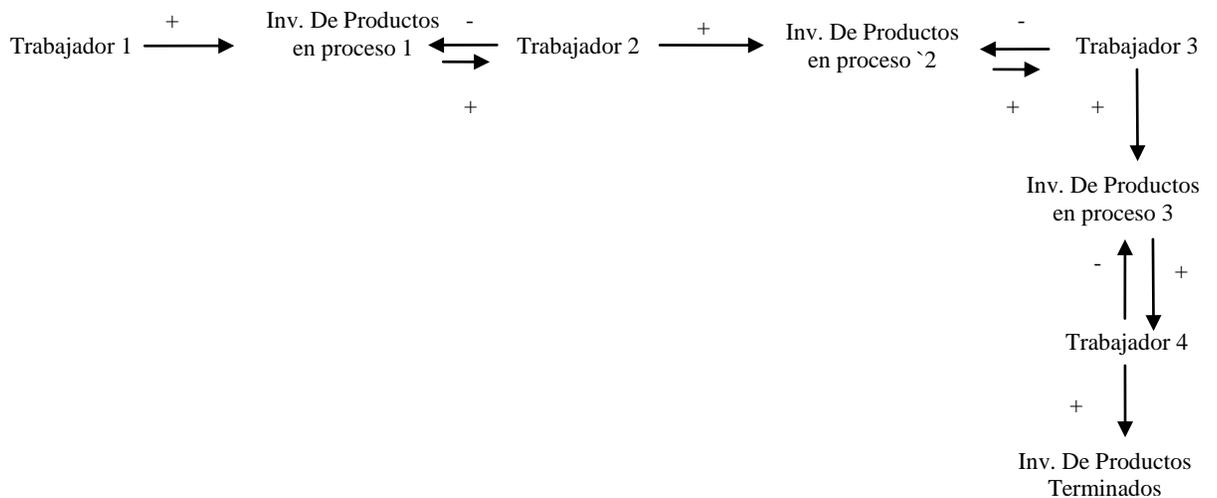
Trabajador 1

Trabajador 2
 Trabajador 3
 Trabajador 4

Diagrama de influencias del modelo

En el diagrama de influencias que se muestra a continuación podemos observar la relación que tienen las variables entre si. De qué manera (Positiva o negativamente) una variable influye en otra, se utiliza signo positivo (+) cuando una variable afecta a otra de manera proporcional y signo negativo (-) cuando una variable afecta a otra de manera inversamente proporcional.

Figura 65. Diagrama de influencias del modelo de líneas de ensamblaje



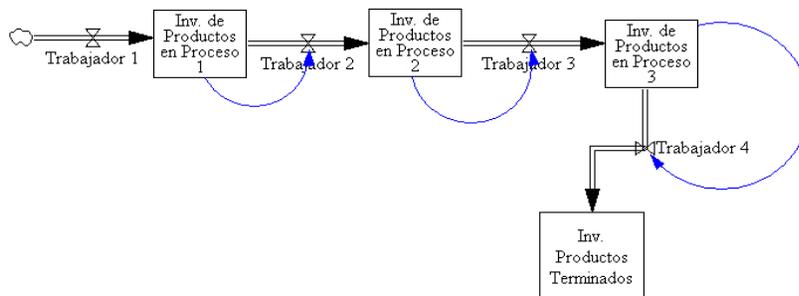
Formulación del modelo

En la formulación del modelo se describen el diagrama de Forrester del modelo, la construcción de las ecuaciones necesarias para la simulación del modelo.

Diagrama de Forrester del modelo

En el diagrama de Forrester expuesto a continuación se muestra el modelo tal cual se encuentra representado en el software Vensim, mostrando cuales son las variables de nivel, las de flujo, las auxiliares y las constantes o parámetro.

Figura 66. Diagrama de Forrester del modelo de líneas de ensamblaje



Ecuaciones del modelo

A continuación se detallan las ecuaciones que intervienen en el modelo de Líneas de ensamblaje. Las ecuaciones arrojadas por el software VENSIM se ilustran en el anexo 1.

Variables de nivel

Inventario de productos en proceso 1: Trabajador 1 – Trabajador 2

Inventario de productos en proceso 2: Trabajador 2 – Trabajador 3

Inventario de productos en proceso 3: Trabajador 3 – Trabajador 4

Inventario de productos terminados: Trabajador 4

Horizonte de tiempo del modelo

Para el modelo de líneas de ensamblaje se ha escogido un horizonte de tiempo de 1 mes, en corridas de treinta días, a partir del día 1.

Ingreso de variables al modelo

Siguiendo los pasos explicados en el modelo para la estrategia 1 se ingresan las ecuaciones correspondientes a cada variable.

Verificación de ecuaciones y estructura del modelo

Mediante la opción MODEL- CHECK MODEL ubicada en la barra de menú.

Resultados del modelo

Mediante la opción RUN A SIMULATION

Análisis del modelo

A continuación se muestran los resultados de la simulación del modelo de líneas de ensamblaje en el software Vensim.

Resultado caso de estudio

Los resultados de la simulación del modelo de líneas de ensamblaje son los siguientes:

Resultados variables de nivel

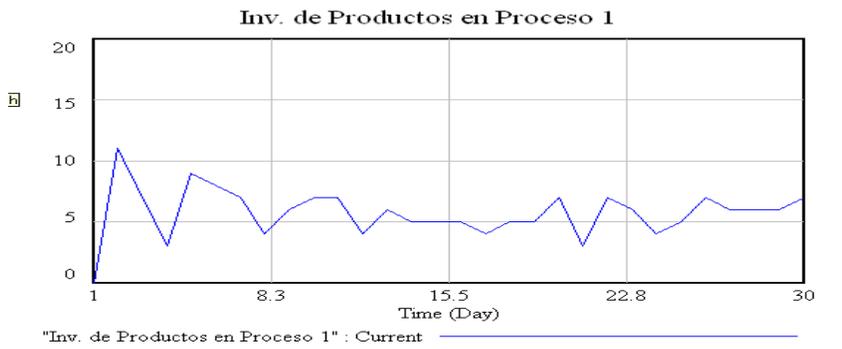
Inventario de productos en proceso 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario de productos en proceso 1 en forma de tabla de datos y gráfica, para el modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 67. Resultados Inv. de productos en proceso 1

| Time (Day) | "Inv. de Productos en Proceso 1" | "Inv. de Productos en Proceso 1" |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 11 | 11 |
| 3 | 15 | 15 |
| 4 | 18 | 18 |
| 5 | 26 | 26 |
| 6 | 32 | 32 |
| 7 | 33 | 33 |
| 8 | 36 | 36 |
| 9 | 40 | 40 |
| 10 | 46 | 46 |
| 11 | 51 | 51 |
| 12 | 52 | 52 |
| 13 | 57 | 57 |
| 14 | 61 | 61 |
| 15 | 67 | 67 |
| 16 | 69 | 69 |
| 17 | 74 | 74 |
| 18 | 76 | 76 |
| 19 | 81 | 81 |
| 20 | 84 | 84 |
| 21 | 87 | 87 |
| 22 | 93 | 93 |
| 23 | 95 | 95 |
| 24 | 103 | 103 |
| 25 | 106 | 106 |
| 26 | 113 | 113 |
| 27 | 119 | 119 |
| 28 | 124 | 124 |
| 29 | 128 | 128 |
| 30 | 134 | 134 |

Figura 68. Gráfico Resultados Inv. de productos en proceso 1



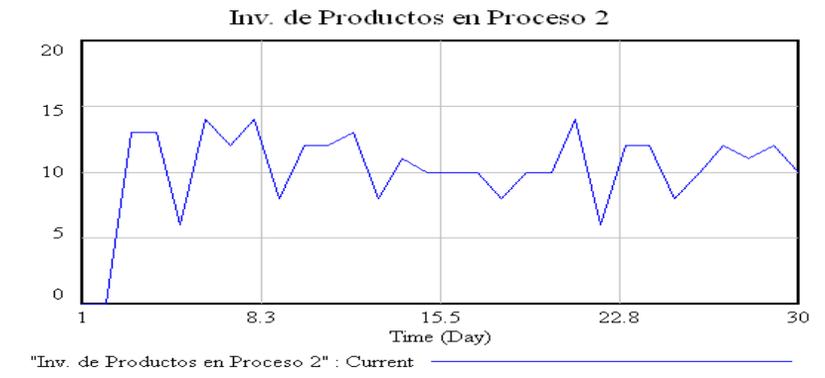
Inventario de productos en proceso 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario de productos en proceso 2 en forma de tabla de datos y gráfica, para la el modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 69. Resultados Inv. de productos en proceso 2

| Time (Day) | "Inv. de Productos en Proceso 2" Runs: Current | "Inv. de Productos en Proceso 2" |
|------------|--|----------------------------------|
| 1 | | 0 |
| 2 | | 0 |
| 3 | | 5 |
| 4 | | 8 |
| 5 | | 5 |
| 6 | | 6 |
| 7 | | 9 |
| 8 | | 6 |
| 9 | | 7 |
| 10 | | 5 |
| 11 | | 5 |
| 12 | | 9 |
| 13 | | 7 |
| 14 | | 7 |
| 15 | | 6 |
| 16 | | 8 |
| 17 | | 6 |
| 18 | | 8 |
| 19 | | 5 |
| 20 | | 8 |
| 21 | | 6 |
| 22 | | 5 |
| 23 | | 7 |
| 24 | | 5 |
| 25 | | 9 |
| 26 | | 6 |
| 27 | | 7 |
| 28 | | 6 |
| 29 | | 7 |
| 30 | | 5 |

Figura 70. Gráfico Resultados Inv. de productos en proceso 2



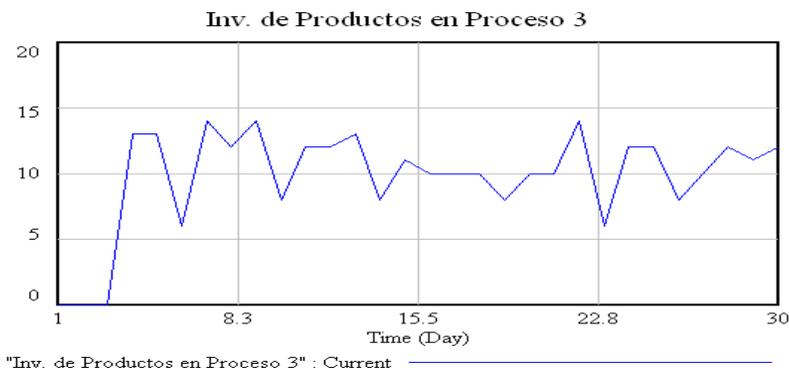
Inventario de productos en proceso 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario de productos en proceso 3 en forma de tabla de datos y gráfica, para el modelo de líneas de ensamble.

Figura 71. Resultados Inv. de productos en proceso 3

| Time (Day) | "Inv. de Productos en Proceso 3" | "Inv. de Productos en Proceso 3" |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | Current | 5 |
| 5 | | 8 |
| 6 | | 5 |
| 7 | | 6 |
| 8 | Table Time Down | 9 |
| 9 | | 6 |
| 10 | | 7 |
| 11 | | 5 |
| 12 | | 5 |
| 13 | | 9 |
| 14 | | 7 |
| 15 | | 7 |
| 16 | | 6 |
| 17 | | 8 |
| 18 | | 6 |
| 19 | | 8 |
| 20 | | 5 |
| 21 | | 8 |
| 22 | | 6 |
| 23 | | 5 |
| 24 | | 7 |
| 25 | | 5 |
| 26 | | 9 |
| 27 | | 6 |
| 28 | | 7 |
| 29 | | 6 |
| 30 | | 7 |

Figura 72. Gráfico Resultados Inv. de productos en proceso 3



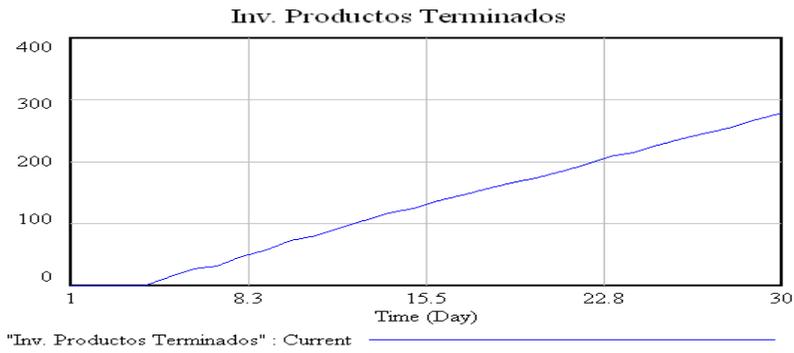
Inventario de productos terminados

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario de productos terminados en forma de tabla de datos y gráfica, para el modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 73. Resultados Inv. Productos terminados

| Time (Day) | "Inv. Productos Terminados" | "Inv. Productos Terminados" |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Productos | 0 |
| 2 | Terminados" | 0 |
| 3 | Runs: | 0 |
| 4 | Current | 0 |
| 5 | | 5 |
| 6 | | 13 |
| 7 | | 18 |
| 8 | {Table Time Down} | 24 |
| 9 | | 33 |
| 10 | | 39 |
| 11 | | 46 |
| 12 | | 51 |
| 13 | | 56 |
| 14 | | 65 |
| 15 | | 72 |
| 16 | | 79 |
| 17 | | 85 |
| 18 | | 93 |
| 19 | | 99 |
| 20 | | 107 |
| 21 | | 112 |
| 22 | | 120 |
| 23 | | 126 |
| 24 | | 131 |
| 25 | | 138 |
| 26 | | 143 |
| 27 | | 152 |
| 28 | | 158 |
| 29 | | 165 |
| 30 | | 171 |

Figura 74. Gráfico resultados Inv. Productos terminados



Resultados variables de flujo

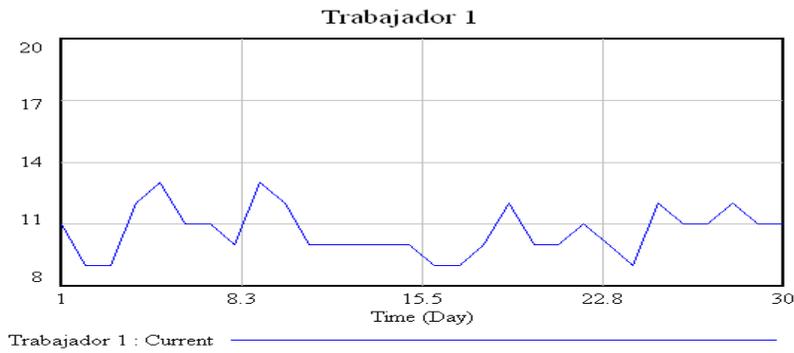
Trabajador 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador 1 en forma de tabla de datos y gráfica, para el modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 75. Resultados Trabajador 1

| Time (Day) | "Trabajador 1" 1" Runs: Current | Trabajador 1 |
|------------|---------------------------------|--------------|
| 1 | 11 | 11 |
| 2 | 9 | 9 |
| 3 | 11 | 11 |
| 4 | 13 | 13 |
| 5 | 12 | 12 |
| 6 | 10 | 10 |
| 7 | 9 | 9 |
| 8 | 11 | 11 |
| 9 | 11 | 11 |
| 10 | 10 | 10 |
| 11 | 10 | 10 |
| 12 | 12 | 12 |
| 13 | 11 | 11 |
| 14 | 12 | 12 |
| 15 | 10 | 10 |
| 16 | 11 | 11 |
| 17 | 10 | 10 |
| 18 | 10 | 10 |
| 19 | 11 | 11 |
| 20 | 9 | 9 |
| 21 | 11 | 11 |
| 22 | 9 | 9 |
| 23 | 13 | 13 |
| 24 | 12 | 12 |
| 25 | 13 | 13 |
| 26 | 13 | 13 |
| 27 | 11 | 11 |
| 28 | 11 | 11 |
| 29 | 11 | 11 |
| 30 | 9 | 9 |

Figura 76. Gráfico Resultados Trabajador 1



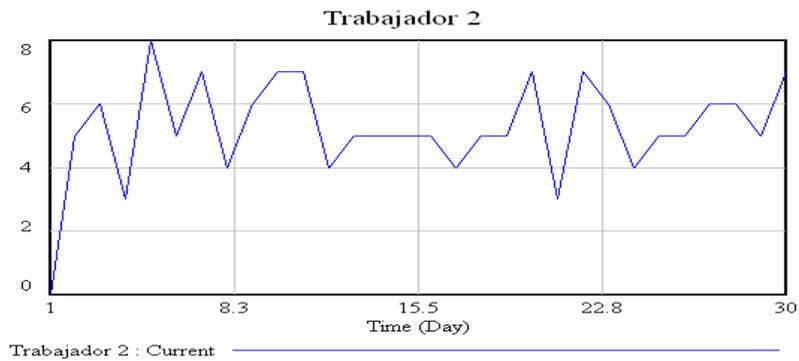
Trabajador 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador 2 en forma de tabla de datos y gráfica, para el modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 77. Resultados Trabajador 2

| Time (Day) | Trabajador 2" Runs: | Trabajador 2 |
|------------|---------------------|--------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 5 | 5 |
| 3 | 8 | 8 |
| 4 | 5 | 5 |
| 5 | 6 | 6 |
| 6 | 9 | 9 |
| 7 | 6 | 6 |
| 8 | 7 | 7 |
| 9 | 5 | 5 |
| 10 | 5 | 5 |
| 11 | 9 | 9 |
| 12 | 7 | 7 |
| 13 | 7 | 7 |
| 14 | 6 | 6 |
| 15 | 8 | 8 |
| 16 | 6 | 6 |
| 17 | 8 | 8 |
| 18 | 5 | 5 |
| 19 | 8 | 8 |
| 20 | 6 | 6 |
| 21 | 5 | 5 |
| 22 | 7 | 7 |
| 23 | 5 | 5 |
| 24 | 9 | 9 |
| 25 | 6 | 6 |
| 26 | 7 | 7 |
| 27 | 6 | 6 |
| 28 | 7 | 7 |
| 29 | 5 | 5 |
| 30 | 7 | 7 |

Figura 78. Gráfico Resultados Trabajador 2



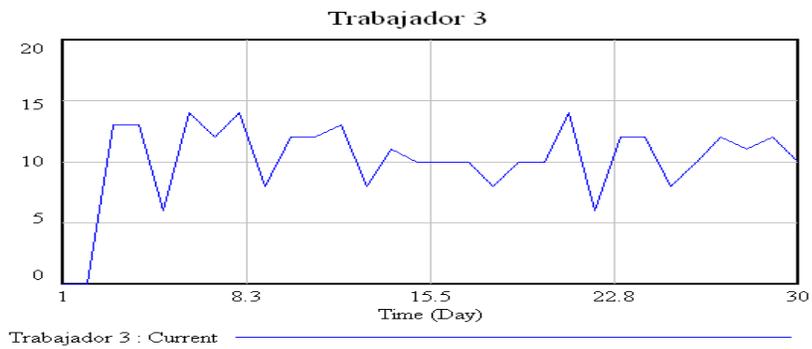
Trabajador 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador 3 en forma de tabla de datos y gráfica, para el modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 79. Resultados Trabajador 3

| Time (Day) | "Trabajador 3" Runs: | Trabajador 3 |
|------------|----------------------|--------------|
| 1 | Current | 0 |
| 2 | | 0 |
| 3 | | 5 |
| 4 | | 8 |
| 5 | | 5 |
| 6 | | 6 |
| 7 | | 9 |
| 8 | | 6 |
| 9 | | 7 |
| 10 | | 5 |
| 11 | | 5 |
| 12 | | 9 |
| 13 | | 7 |
| 14 | | 7 |
| 15 | | 6 |
| 16 | | 8 |
| 17 | | 6 |
| 18 | | 8 |
| 19 | | 5 |
| 20 | | 8 |
| 21 | | 6 |
| 22 | | 5 |
| 23 | | 7 |
| 24 | | 5 |
| 25 | | 9 |
| 26 | | 6 |
| 27 | | 7 |
| 28 | | 6 |
| 29 | | 7 |
| 30 | | 5 |

Figura 80. Gráfico Resultados Trabajador 3



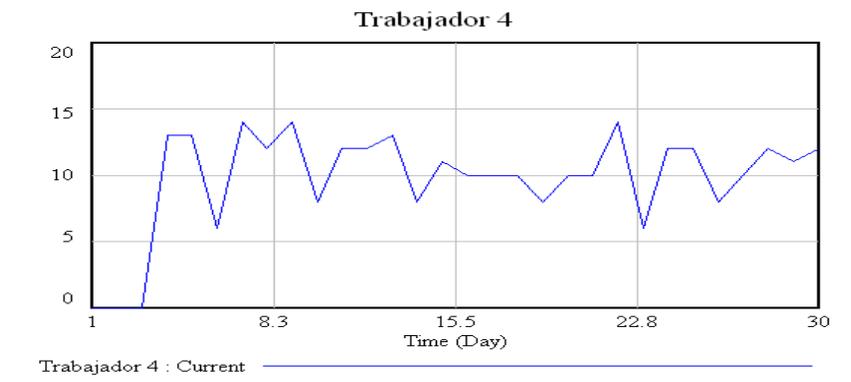
Trabajador 4

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador 4 en forma de tabla de datos y gráfica, para el modelo de líneas de ensamble.

Figura 81. Resultados Trabajador 4

| Time (Day) | "Trabajador 4" Runs: Current | Trabajador 4 |
|------------|------------------------------|--------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 5 | 5 |
| 5 | 8 | 8 |
| 6 | 5 | 5 |
| 7 | 6 | 6 |
| 8 | 9 | 9 |
| 9 | 6 | 6 |
| 10 | 7 | 7 |
| 11 | 5 | 5 |
| 12 | 5 | 5 |
| 13 | 9 | 9 |
| 14 | 7 | 7 |
| 15 | 7 | 7 |
| 16 | 6 | 6 |
| 17 | 8 | 8 |
| 18 | 6 | 6 |
| 19 | 8 | 8 |
| 20 | 5 | 5 |
| 21 | 8 | 8 |
| 22 | 6 | 6 |
| 23 | 5 | 5 |
| 24 | 7 | 7 |
| 25 | 5 | 5 |
| 26 | 9 | 9 |
| 27 | 6 | 6 |
| 28 | 7 | 7 |
| 29 | 6 | 6 |
| 30 | 7 | 7 |

Figura 82. Gráfico Resultados Trabajador 4



Comentarios resultados caso de estudio

En el modelo de líneas de ensamblaje se observa que el trabajador número 2 presenta un cuello de botella, debido a que este trabajador no procesa el total de las unidades que salen del trabajador 1, acumulando unidades en el inventario de productos en proceso 1 y limitando de esta manera la producción de los trabajadores 3 y 4 lo cual genera una menor cantidad de productos terminados.

Sensibilización del modelo

Para la sensibilización de este modelo se adicionará un trabajador paralelo al trabajador 2 con el fin de reducir o eliminar el cuello de botella y de esta manera incrementar la cantidad de productos en proceso que llegan al trabajador 3 y luego al trabajador 4 y por ende la cantidad de productos terminados.

Resultados sensibilización

Los siguientes son los resultados de las variaciones aplicadas al modelo de línea de ensamblaje.

Variables de nivel

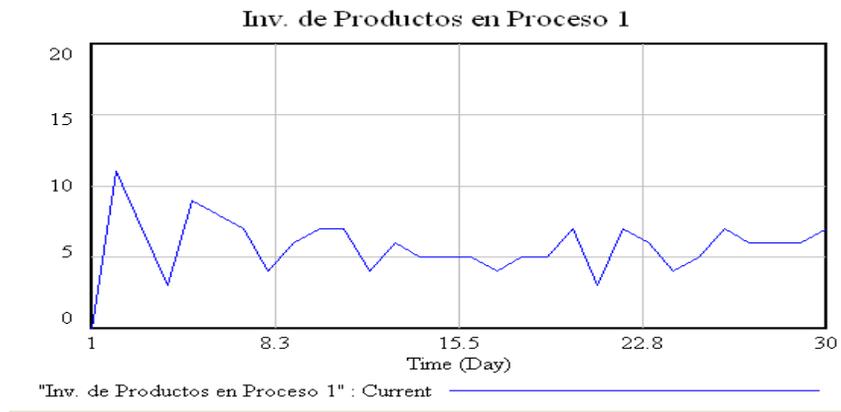
Inventario de productos en proceso 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario de productos en proceso 1 en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 83. Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 1

| Time (Day) | "Inv. de Productos en Proceso 1" Runs: Current | "Inv. de Productos en Proceso 1" |
|------------|--|----------------------------------|
| 1 | | 0 |
| 2 | | 11 |
| 3 | | 7 |
| 4 | | 3 |
| 5 | | 9 |
| 6 | | 8 |
| 7 | | 7 |
| 8 | | 4 |
| 9 | | 6 |
| 10 | | 7 |
| 11 | | 7 |
| 12 | | 4 |
| 13 | | 6 |
| 14 | | 5 |
| 15 | | 5 |
| 16 | | 5 |
| 17 | | 4 |
| 18 | | 5 |
| 19 | | 5 |
| 20 | | 7 |
| 21 | | 3 |
| 22 | | 7 |
| 23 | | 6 |
| 24 | | 4 |
| 25 | | 5 |
| 26 | | 7 |
| 27 | | 6 |
| 28 | | 6 |
| 29 | | 6 |
| 30 | | 7 |

Figura 84. Gráfico Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 1



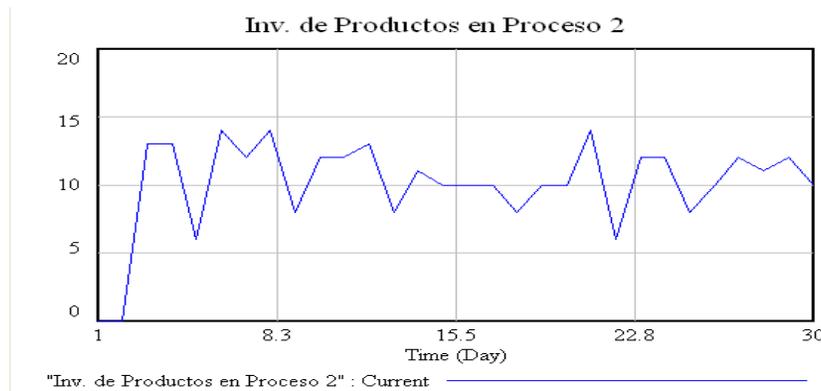
Inventario de productos en proceso 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario de productos en proceso 2 en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 85. Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 2

| Time (Day) | "Inv. de Productos en Proceso 2" | "Inv. de Productos en Proceso 2" | "Inv. de Productos en Proceso 2" |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Runs: 13 | 13 | 13 |
| 4 | Current | 13 | Current 13 |
| 5 | | 6 | 6 |
| 6 | | 14 | 14 |
| 7 | | 12 | 12 |
| 8 | | 14 | 14 |
| 9 | | 8 | 8 |
| 10 | | 12 | 12 |
| 11 | | 12 | 12 |
| 12 | | 13 | 13 |
| 13 | | 8 | 8 |
| 14 | | 11 | 11 |
| 15 | | 10 | 10 |
| 16 | | 10 | 10 |
| 17 | | 10 | 10 |
| 18 | | 8 | 8 |
| 19 | | 10 | 10 |
| 20 | | 10 | 10 |
| 21 | | 14 | 14 |
| 22 | | 6 | 6 |
| 23 | | 12 | 12 |
| 24 | | 12 | 12 |
| 25 | | 8 | 8 |
| 26 | | 10 | 10 |
| 27 | | 12 | 12 |
| 28 | | 11 | 11 |
| 29 | | 12 | 12 |
| 30 | | 10 | 10 |

Figura 86. Gráfico Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 2



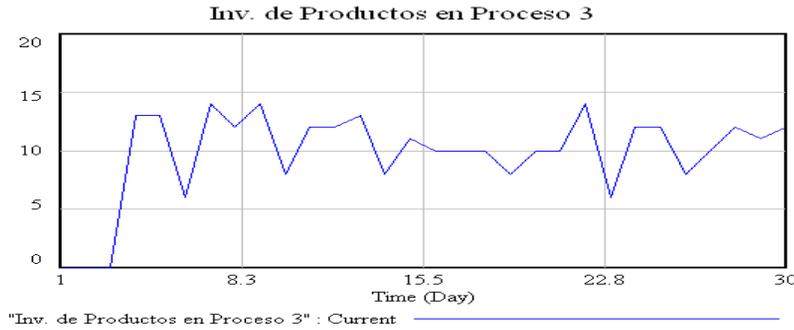
Inventario de productos en proceso 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario de productos en proceso 3 en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 87. Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 3

| Time (Day) | "Inv. de Productos en Proceso 3" | "Inv. de Productos en Proceso 3" |
|------------|--|----------------------------------|
| 1 | | 0 |
| 2 | | 0 |
| 3 | Runs: | 0 |
| 4 | Current | 13 |
| 5 | | 13 |
| 6 | | 6 |
| 7 | | 14 |
| 8 | | 12 |
| 9 | | 14 |
| 10 | | 8 |
| 11 | | 12 |
| 12 | | 12 |
| 13 | | 13 |
| 14 | | 8 |
| 15 | | 11 |
| 16 | | 10 |
| 17 | | 10 |
| 18 | | 10 |
| 19 | | 8 |
| 20 | | 10 |
| 21 | | 10 |
| 22 | | 14 |
| 23 | | 6 |
| 24 | | 12 |
| 25 | | 12 |
| 26 | | 8 |
| 27 | | 10 |
| 28 | | 12 |
| 29 | | 11 |
| 30 | | 12 |

Figura 88. Gráfico Resultados sensibilización Inv. de productos en proceso 3



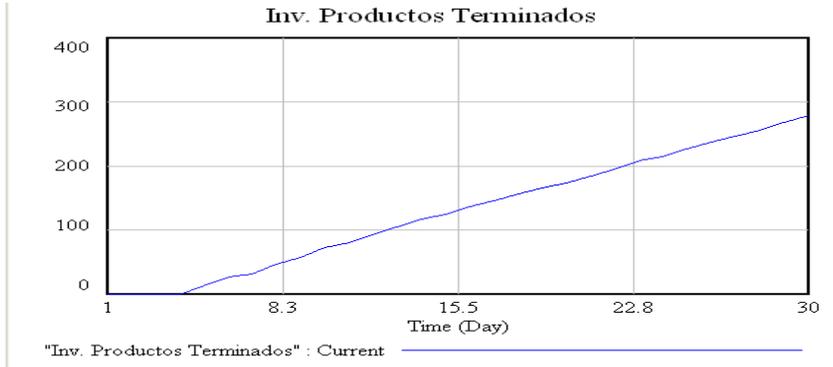
Inventario de productos terminados

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario de productos terminados en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 89. Resultados sensibilización Inv. productos terminados

| Time (Day) | "Inv. Productos Terminados" | "Inv. Productos Terminados" |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 |
| 5 | | 13 |
| 6 | | 26 |
| 7 | | 32 |
| 8 | Table Time Down | 46 |
| 9 | | 58 |
| 10 | | 72 |
| 11 | | 80 |
| 12 | | 92 |
| 13 | | 104 |
| 14 | | 117 |
| 15 | | 125 |
| 16 | | 136 |
| 17 | | 146 |
| 18 | | 156 |
| 19 | | 166 |
| 20 | | 174 |
| 21 | | 184 |
| 22 | | 194 |
| 23 | | 208 |
| 24 | | 214 |
| 25 | | 226 |
| 26 | | 238 |
| 27 | | 246 |
| 28 | | 256 |
| 29 | | 268 |
| 30 | | 279 |

Figura 90. Gráfico Resultados sensibilización Inv. productos terminados



Variables de flujo

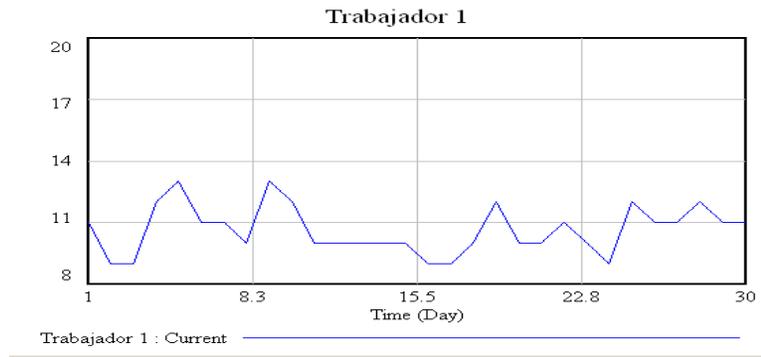
Trabajador 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador 1 en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 91. Resultados sensibilización Trabajador 1

| Time (Day) | "Trabajador 1" Runs: | Trabajador 1 |
|------------|----------------------|--------------|
| 1 | Current | 11 |
| 2 | | 9 |
| 3 | | 9 |
| 4 | | 12 |
| 5 | | 13 |
| 6 | | 11 |
| 7 | | 11 |
| 8 | | 10 |
| 9 | | 13 |
| 10 | | 12 |
| 11 | | 10 |
| 12 | | 10 |
| 13 | | 10 |
| 14 | | 10 |
| 15 | | 10 |
| 16 | | 9 |
| 17 | | 9 |
| 18 | | 10 |
| 19 | | 12 |
| 20 | | 10 |
| 21 | | 10 |
| 22 | | 11 |
| 23 | | 10 |
| 24 | | 9 |
| 25 | | 12 |
| 26 | | 11 |
| 27 | | 11 |
| 28 | | 12 |
| 29 | | 11 |
| 30 | | 11 |

Figura 92. Gráfico Resultados sensibilización Trabajador 1



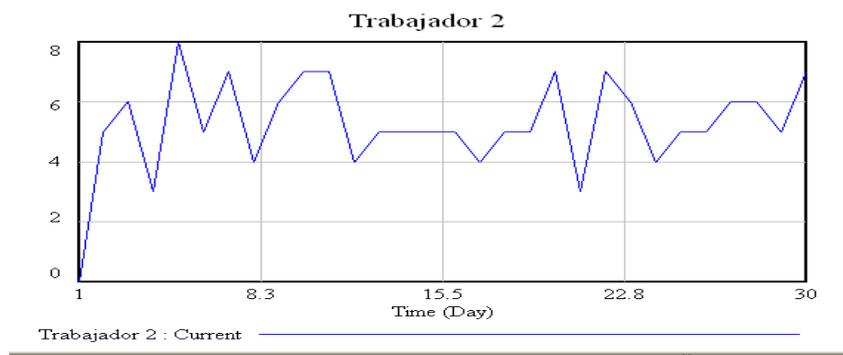
Trabajador 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador 2 en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 93. Resultados sensibilización Trabajador 2

| Time (Day) | "Trabajador 2" Runs: Current | Trabajador 2 |
|------------|---------------------------------|--------------|
| 1 | | 0 |
| 2 | | 5 |
| 3 | | 6 |
| 4 | | 3 |
| 5 | | 8 |
| 6 | | 5 |
| 7 | | 7 |
| 8 | | 4 |
| 9 | | 6 |
| 10 | | 7 |
| 11 | | 7 |
| 12 | | 4 |
| 13 | | 5 |
| 14 | | 5 |
| 15 | | 5 |
| 16 | | 5 |
| 17 | | 4 |
| 18 | | 5 |
| 19 | | 5 |
| 20 | | 7 |
| 21 | | 3 |
| 22 | | 7 |
| 23 | | 6 |
| 24 | | 4 |
| 25 | | 5 |
| 26 | | 5 |
| 27 | | 6 |
| 28 | | 6 |
| 29 | | 5 |
| 30 | | 7 |

Figura 94. Gráfico Resultados sensibilización Trabajador 3



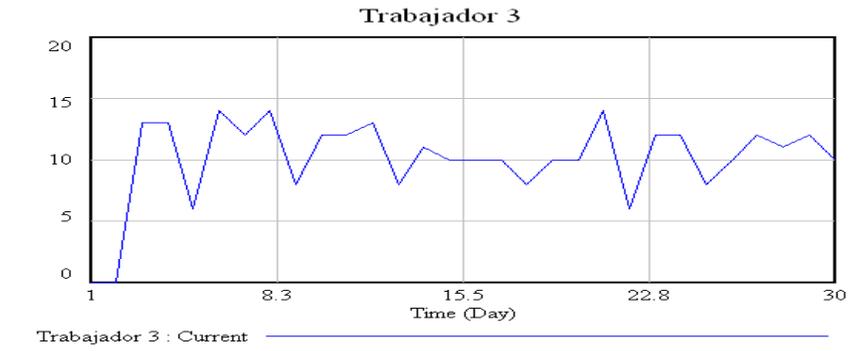
Trabajador 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador 3 en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 95. Resultados sensibilización Trabajador 3

| Time (Day) | "Trabajador 3" Runs: | Trabajador 3 |
|------------|----------------------|--------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | Current | 0 |
| 3 | | 13 |
| 4 | | 13 |
| 5 | | 6 |
| 6 | | 14 |
| 7 | | 12 |
| 8 | | 14 |
| 9 | | 8 |
| 10 | | 12 |
| 11 | | 12 |
| 12 | | 13 |
| 13 | | 8 |
| 14 | | 11 |
| 15 | | 10 |
| 16 | | 10 |
| 17 | | 10 |
| 18 | | 8 |
| 19 | | 10 |
| 20 | | 10 |
| 21 | | 14 |
| 22 | | 6 |
| 23 | | 12 |
| 24 | | 12 |
| 25 | | 8 |
| 26 | | 10 |
| 27 | | 12 |
| 28 | | 11 |
| 29 | | 12 |
| 30 | | 10 |

Figura 96. Gráfico Resultados sensibilización Trabajador 3



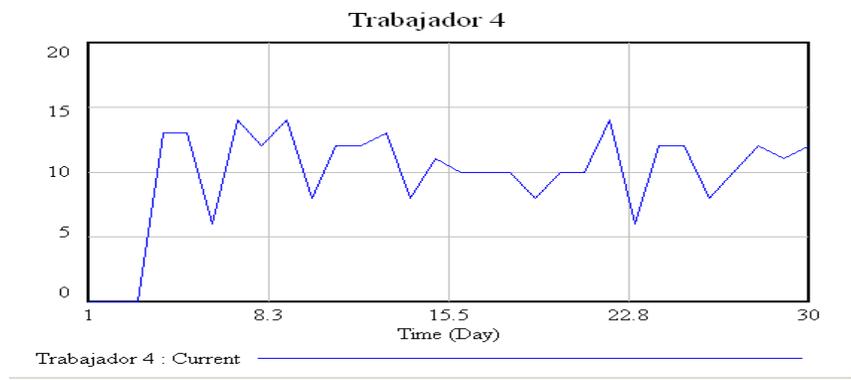
Trabajador 4

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador 4 en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 97. Resultados sensibilización Trabajador 4

| Time (Day) | "Trabajador 4" Runs: | Trabajador 4 |
|------------|----------------------|--------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 13 | 13 |
| 5 | 13 | 13 |
| 6 | 6 | 6 |
| 7 | 14 | 14 |
| 8 | 12 | 12 |
| 9 | 14 | 14 |
| 10 | 8 | 8 |
| 11 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 |
| 13 | 13 | 13 |
| 14 | 8 | 8 |
| 15 | 11 | 11 |
| 16 | 10 | 10 |
| 17 | 10 | 10 |
| 18 | 10 | 10 |
| 19 | 8 | 8 |
| 20 | 10 | 10 |
| 21 | 10 | 10 |
| 22 | 14 | 14 |
| 23 | 6 | 6 |
| 24 | 12 | 12 |
| 25 | 12 | 12 |
| 26 | 8 | 8 |
| 27 | 10 | 10 |
| 28 | 12 | 12 |
| 29 | 11 | 11 |
| 30 | 12 | 12 |

Figura 98. Gráfico Resultados sensibilización Trabajador 4



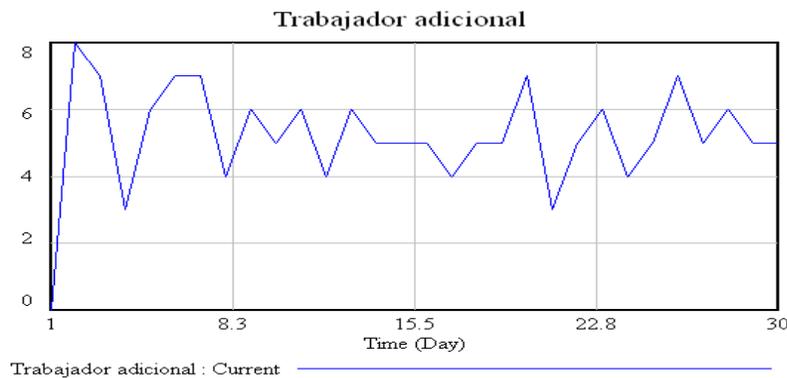
Trabajador adicional

A continuación se muestra el resultado de la variable Trabajador adicional en forma de tabla de datos y gráfica, para la sensibilización del modelo de líneas de ensamblaje.

Figura 99. Resultados sensibilización Trabajador adicional

| Time (Day) | "Trabajador adicional" | Trabajador adicional |
|------------|------------------------|----------------------|
| 1 | adicional" | 0 |
| 2 | Runs: | 8 |
| 3 | Current | 7 |
| 4 | | 3 |
| 5 | | 6 |
| 6 | | 7 |
| 7 | | 7 |
| 8 | Table Time Down | 4 |
| 9 | | 6 |
| 10 | | 5 |
| 11 | | 6 |
| 12 | | 4 |
| 13 | | 6 |
| 14 | | 5 |
| 15 | | 5 |
| 16 | | 5 |
| 17 | | 4 |
| 18 | | 5 |
| 19 | | 5 |
| 20 | | 7 |
| 21 | | 3 |
| 22 | | 5 |
| 23 | | 6 |
| 24 | | 4 |
| 25 | | 5 |
| 26 | | 7 |
| 27 | | 5 |
| 28 | | 6 |
| 29 | | 5 |
| 30 | | 5 |

Figura 100. Gráfico resultados sensibilización Trabajador adicional



Comentarios resultados sensibilización

Colocando el trabajador adicional se logra disminuir considerablemente el cuello de botella de 134 unidades en el Inv. De productos en proceso 1el día 30 a sólo 7 unidades, y el Inv. De productos terminados pasó de 171 a 279 unidades.

4. MODELO MRP

A continuación se aplican los pasos de la dinámica de sistemas para la elaboración del modelo de MRP.

4.1 CONCEPTUALIZACIÓN E IDENTIFICACION DE VARIABLES DEL MODELO

A continuación se expone la conceptualización del modelo, en la cual se muestran las funciones básicas del sistema MRP y su comportamiento. Posteriormente se identifican las variables pertenecientes al modelo teniendo en cuenta cuales son de nivel, de flujo, auxiliares y parámetros.

4.1.1 Conceptualización del modelo

Funciones básicas del sistema MRP

Como se menciona en el marco teórico para obtener programas de producción y compras en términos de tiempos y cantidades, el MRP realiza cinco funciones básicas⁴²:

- 1. Cálculo de requerimientos netos:** Requerimientos brutos obtenidos en el plan Maestro de producción
- 2. Definición de tamaño de lote:** Los requerimientos netos deben agruparse en lotes

42 http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/mrpnociones/16/08/2007

3. Desfase en el tiempo: Consiste en desfasar los requerimientos partiendo de su fecha de entrega, utilizando *leadtimes* fijos para determinar su fecha de inicio.

4. Explosión de materiales: Son todos aquellos requerimientos en materiales que se generan para la elaboración de producto terminado y que se hace por medio de lista en orden lógico.

5. Iteración: Consiste en repetir los cuatro primeros pasos para cada nivel de la lista de materiales hasta obtener los requerimientos de cada artículo y componente. Al ejecutar el algoritmo, es decir, las cinco funcionalidades descritas, el MRP genera tres tipos de documentos de salida u *outputs*:

Órdenes planeadas, Noticias de cambio, Noticias de excepción

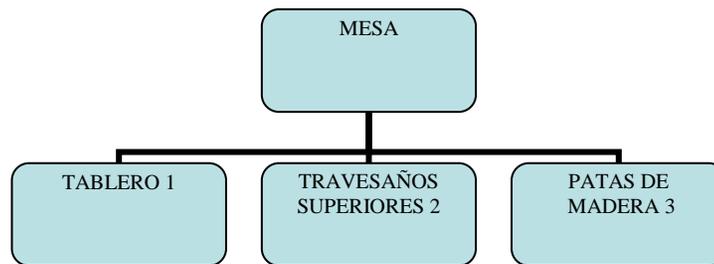
4.1.2 Caso de estudio

Una empresa dedicada a la fabricación de mesas, necesita la siguiente lista de materiales para la elaboración de una de ellas, la empresa compra las partes ya elaboradas.

Lista de materiales necesarios para la construcción de una Mesa:

Tabla 6. Lista de materiales

| Nº | DETALLE | UNIDAD | CANTIDAD |
|----|-------------------------|--------|----------|
| 1 | TABLERO | UND | 1 |
| 2 | TRAVESAÑOS HORIZONTALES | UND | 2 |
| 3 | PATAS DE MADERA | UND | 4 |



El Plan Maestro de producción indica que se deben fabricar la siguiente cantidad de mesas:

Tabla 7. Plan maestro de producción

| Meses/ Can. Prod. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| # Mesas | 100 | 400 | 300 | 400 | 300 | 200 | 500 | 300 | 200 | 300 | 500 | 200 |

Costos de Materia Prima: Los costos de adquirir las materias primas son:

Materia Prima 1: usd \$ 200

Materia Prima 2: usd \$ 100

Materia Prima 3: usd \$ 50

Cuando el inventario de los tableros es menor a 60 unidades se emite la orden de pedido de este producto por 40 unidades, para el caso de los travesaños estas se emiten por 80 unidades cuando el valor del inventario sea menor a 120 y para el caso de las patas de maderas la orden se emite por 220 unidades cuando el inventario de este producto sea menor a 180.

4.1.3 Definición de las variables del modelo

Inventario materia prima 1: Corresponde a la cantidad de tableros que se encuentran en stock.

Inventario materia prima 2: Corresponde a la cantidad de travesaños horizontales que se encuentran en stock.

Inventario materia prima 3: Corresponde a la cantidad de patas de maderas que se encuentran en stock.

Pedido materia prima 1: Corresponde a las cantidades de tableros que se solicitan en la orden de compra.

Pedido materia prima 2: Corresponde a las cantidades de travesaños horizontales que se solicitan en la orden de compra.

Pedido materia prima 3: Corresponde a las cantidades de patas de maderas que se solicitan en la orden de compra.

Producción: Es el número de unidades que la empresa logra procesar en un período de tiempo definido, buscando satisfacer la demanda

Requisición de materia prima 1: Equivale a las cantidades de materia prima 1 que se requieren para mantener los niveles de producción y/o inventarios.

Requisición de materia prima 2: Equivale a las cantidades de materia prima 2 que se requieren para mantener los niveles de producción y/o inventarios.

Requisición de materia prima 3: Equivale a las cantidades de materia prima 3 que se requieren para mantener los niveles de producción y/o inventarios.

Requerimiento unitario de materia prima 1: Es la cantidad de tableros necesarios para armar una mesa.

Requerimiento unitario de materia prima 2: Es la cantidad de travesaños horizontales necesarios para armar una mesa.

Requerimiento unitario de materia prima 3: Es la cantidad de patas de madera necesarias para armar una mesa.

Costo materia prima 1: Corresponde al costo de cada unidad de materia prima adquirida (tableros)

Costo materia prima 2: Corresponde al costo de cada unidad de materia prima adquirida (Travesaños horizontales)

Costo materia prima 3: Corresponde al costo de cada unidad de materia prima adquirida (patas de madera)

Costo total materia prima 1: Corresponde al costo de materia prima 1 por la requisición de materia prima 1.

Costo total materia prima 2: Corresponde al costo de materia prima 2 por la requisición de materia prima 2.

Costo total materia prima 3: Corresponde al costo de materia prima 3 por la requisición de materia prima 3.

Costo total: Corresponde a la sumatoria de los costos de materia prima 1, 2 y 3.

Identificación de variables y parámetros

Las variables pertenecientes al modelo de MRP se clasifican de la siguiente manera:

Variables de nivel

Inventario Materia Prima 1

Inventario Materia Prima 2

Inventario Materia Prima 3

Variables de flujo

Producción

Variables auxiliares

Requerimiento Unitario mp1

Requerimiento Unitario mp 2
Requerimiento Unitario mp 3
Requisición Materia Prima 1
Requisición Materia Prima 2
Requisición Materia Prima 3
Costo Total Materia Prima 1
Costo Total Materia Prima 2
Costo Total Materia Prima 3
Costo Total

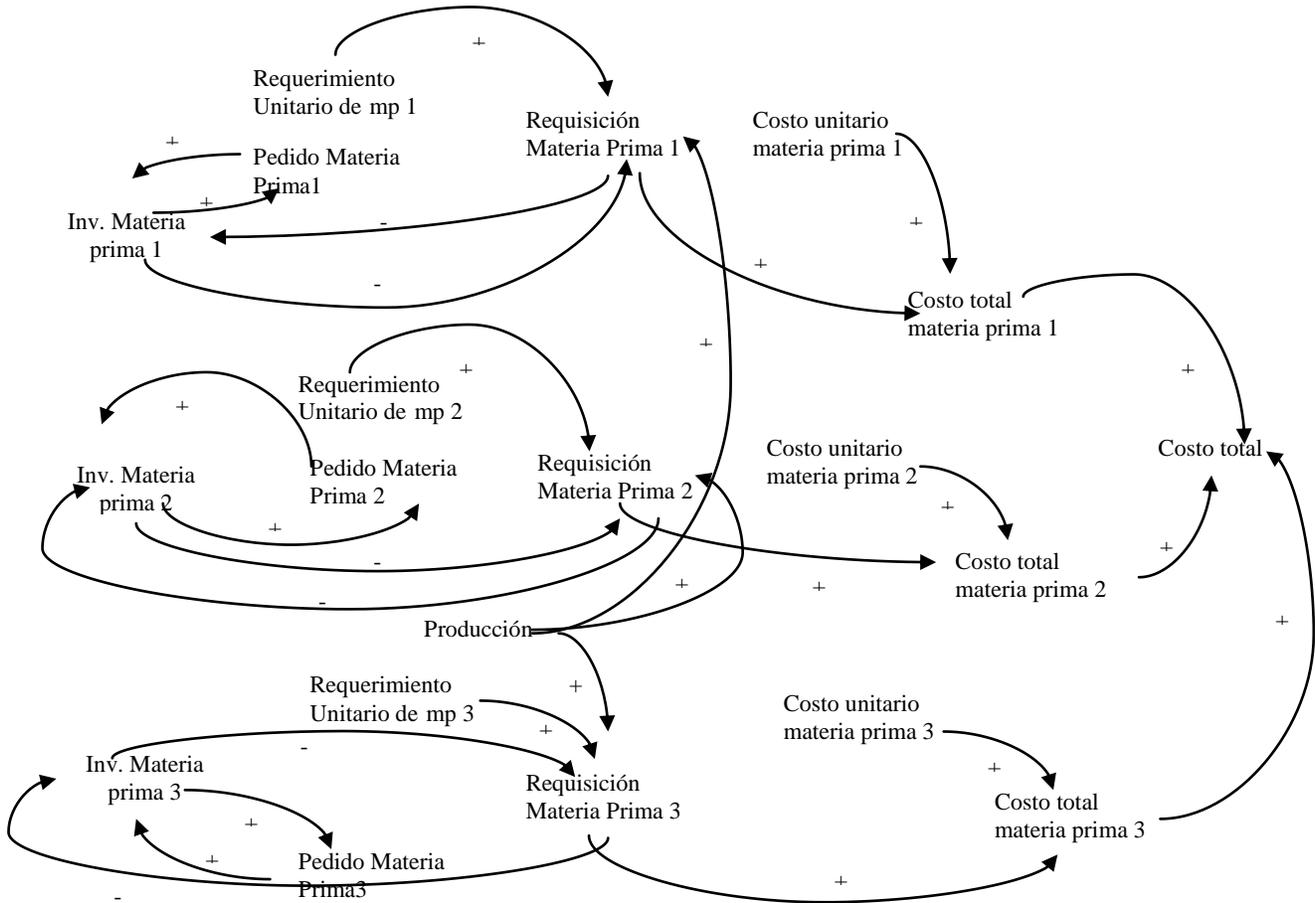
Constantes o parámetros

Costo Unitario Materia Prima 1
Costo Unitario Materia Prima 2
Costo Unitario Materia Prima 3
Pedido Materia Prima 1
Pedido Materia Prima 2
Pedido Materia Prima 3

Diagrama de influencias del modelo

En el diagrama de influencias que se muestra a continuación podemos observar la relación que tienen las variables entre si. De qué manera (Positiva o negativamente) una variable influye en otra, se utiliza signo positivo (+) cuando una variable afecta a otra de manera proporcional y signo negativo (-) cuando una variable afecta a otra de manera inversamente proporcional.

Figura 101. Diagrama de influencias del modelo MRP



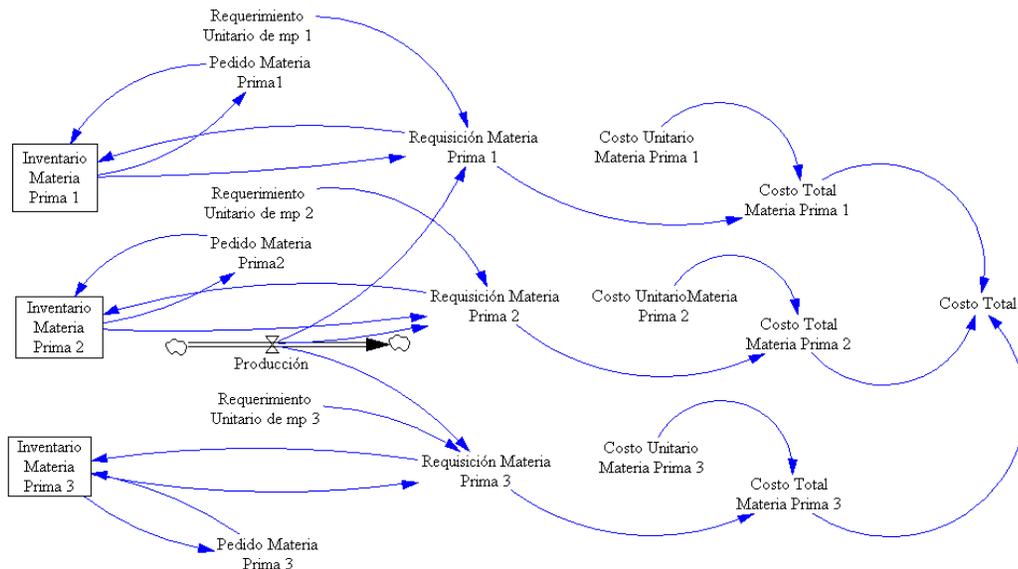
Formulación del modelo

En la formulación del modelo se describen el diagrama de Forrester del modelo, la construcción de las ecuaciones necesarias para la simulación del modelo.

Diagrama de Forrester del modelo

En el diagrama de Forrester expuesto a continuación se muestra el modelo tal cual se encuentra representado en el software Vensim, mostrando cuales son las variables de nivel, las de flujo, las auxiliares y las constantes o parámetro.

Figura 102. Diagrama de Forrester del modelo MRP



Ecuaciones del modelo

A continuación se detallan las ecuaciones que intervienen en el modelo de MRP. Las ecuaciones arrojadas por el software VENSIM se ilustran en el anexo 1.

Variables de nivel

Inventario materia prima 1: Pedido Materia Prima1-Requisición Materia Prima 1

Inventario materia prima 2: Pedido Materia Prima2-Requisición Materia Prima 2

Inventario materia prima 3: Pedido Materia Prima 3-Requisición Materia Prima 3

Variables auxiliares

Costo total materia prima 1: $\text{Requisición Materia Prima 1} \times \text{Costo Unitario Materia Prima 1}$

Costo total materia prima 2: $\text{Requisición Materia Prima 2} \times \text{Costo Unitario Materia Prima 2}$

Costo total materia prima 3: $\text{Requisición Materia Prima 3} \times \text{Costo Unitario Materia Prima 3}$

Costo total: $\text{Costo Total Materia Prima 1} + \text{Costo Total Materia Prima 2} + \text{Costo Total Materia Prima 3}$

Horizonte de tiempo del modelo

Para el modelo de MRP se ha escogido un horizonte de tiempo de 1 año, en corridas de 12 meses, a partir del mes 1.

Ingreso de variables al modelo

Siguiendo los pasos explicados en el modelo para la estrategia 1 se ingresan las ecuaciones correspondientes a cada variable.

Verificación de ecuaciones y estructura del modelo

Mediante la opción MODEL- CHECK MODEL ubicada en la barra de menú.

Resultados del modelo

Mediante la opción RUN A SIMULATION

Análisis del modelo

A continuación se muestran los resultados de la simulación del modelo de MRP en el software Vensim.

Resultado caso de estudio

Los resultados del modelo MRP son los siguientes:

Resultados variables de nivel

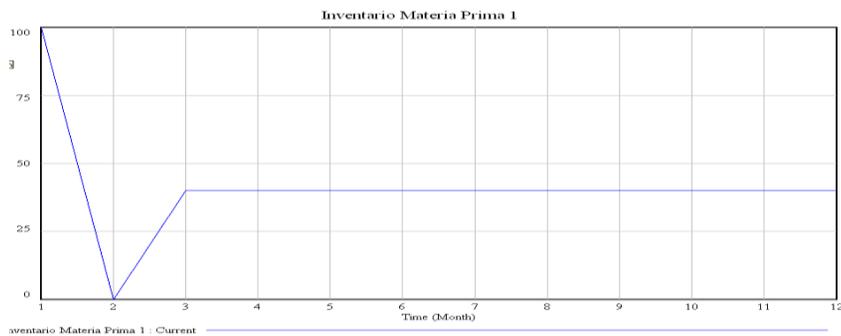
Inventario materia prima 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario materia prima 1 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 103. Resultados Inventario materia prima 1

| Time (Month) | "Inventario Materia Prima | Inventario Materia Prima 1 |
|--------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 100 |
| 2 | 1" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 40 |
| 4 | | 40 |
| 5 | | 40 |
| 6 | | 40 |
| 7 | | 40 |
| 8 | | 40 |
| 9 | | 40 |
| 10 | | 40 |
| 11 | | 40 |
| 12 | | 40 |

Figura 104. Gráfico resultados Inventario materia prima 1



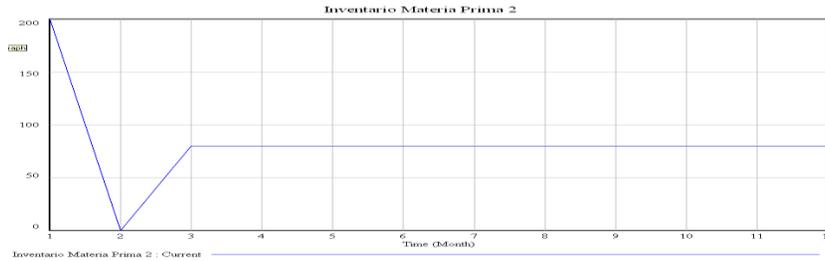
Inventario materia prima 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario materia prima 2 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 105. Resultados Inventario materia prima 2

| Time (Month) | "Inventario Materia Prima | Inventario Materia Prima 2 |
|--------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 200 |
| 2 | 2" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 80 |
| 4 | | 80 |
| 5 | | 80 |
| 6 | | 80 |
| 7 | | 80 |
| 8 | | 80 |
| 9 | | 80 |
| 10 | | 80 |
| 11 | | 80 |
| 12 | | 80 |

Figura 106. Gráfico resultados Inventario materia prima 2



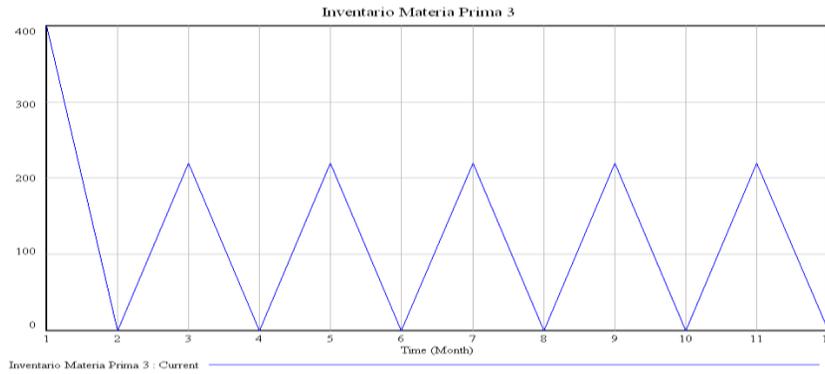
Inventario materia prima 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario materia prima 3 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 107. Resultados Inventario materia prima 3

| Time (Month) | "Inventario Materia Prima 3" | Inventario Materia Prima 3 |
|--------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 400 |
| 2 | 3" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 220 |
| 4 | | 0 |
| 5 | | 220 |
| 6 | | 0 |
| 7 | | 220 |
| 8 | Table Time Down | 0 |
| 9 | | 220 |
| 10 | | 0 |
| 11 | | 220 |
| 12 | | 0 |

Figura 108. Gráfico resultados Inventario materia prima 3



Variables de flujo

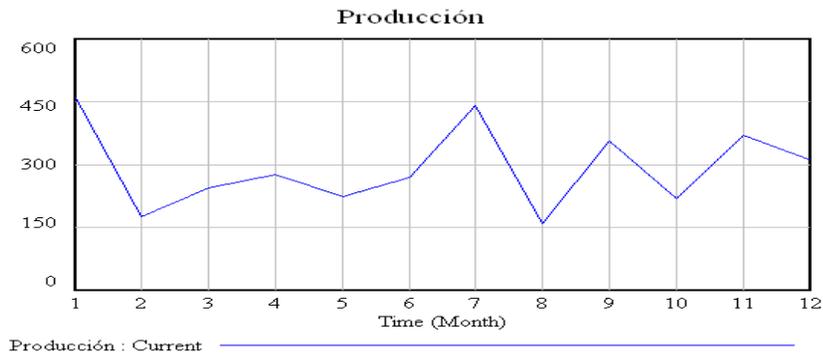
Producción

A continuación se muestra el resultado de la variable Producción en forma de tabla de datos y gráfica para el modelo MRP.

Figura 109. Resultado Producción modelo MRP

| Time (Month) | "Producción" | Producción |
|--------------|--------------|------------|
| 1 | Runs: | 458 |
| 2 | Current | 175 |
| 3 | | 244 |
| 4 | | 275 |
| 5 | | 224 |
| 6 | | 269 |
| 7 | | 441 |
| 8 | | 158 |
| 9 | | 356 |
| 10 | | 218 |
| 11 | | 370 |
| 12 | | 311 |

Figura 110. Gráfico resultado Producción modelo MRP



Variables auxiliares

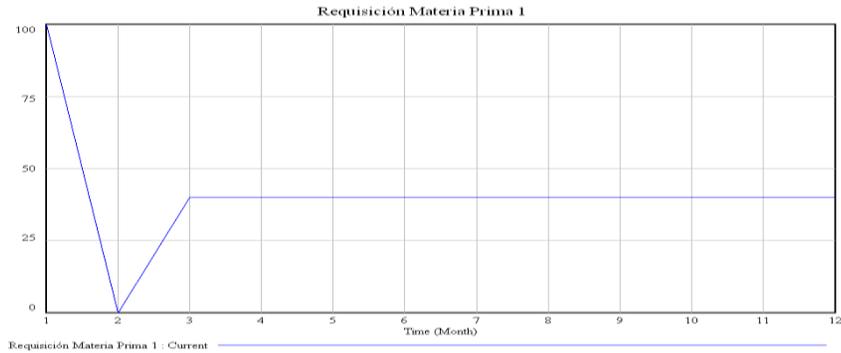
Requisición materia prima 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Requisición materia prima 1 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 111. Resultados Requisición materia prima1

| Time (Month) | "Requisición Materia Prima 1" Runs: Current | Requisición Materia Prima 1 |
|--------------|--|-----------------------------|
| 1 | | 100 |
| 2 | | 0 |
| 3 | | 40 |
| 4 | | 40 |
| 5 | | 40 |
| 6 | | 40 |
| 7 | | 40 |
| 8 | Table Time Down | 40 |
| 9 | | 40 |
| 10 | | 40 |
| 11 | | 40 |
| 12 | | 40 |

Figura 112. Gráfico resultados Requisición materia prima 1



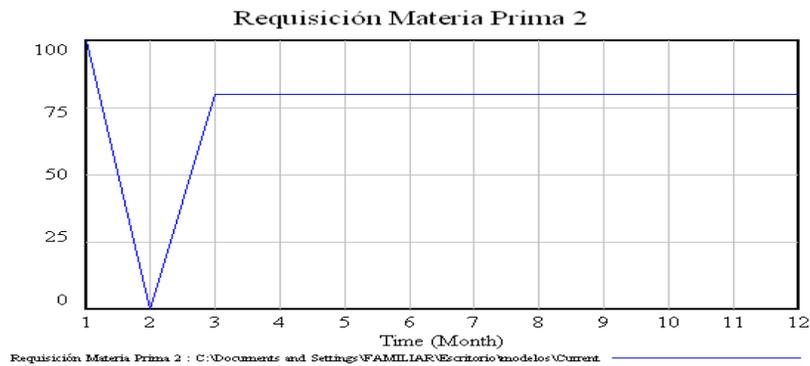
Requisición materia prima 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Requisición materia prima 2 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 113. Resultados Requisición materia prima 2

| Time (Month) | "Requisición Materia Prima 2" | Requisición Materia Prima 2 |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 200 |
| 2 | 2" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 80 |
| 4 | | 80 |
| 5 | | 80 |
| 6 | | 80 |
| 7 | | 80 |
| 8 | | 80 |
| 9 | | 80 |
| 10 | | 80 |
| 11 | | 80 |
| 12 | | 80 |

Figura 114. Gráfico resultados Requisición materia prima 2



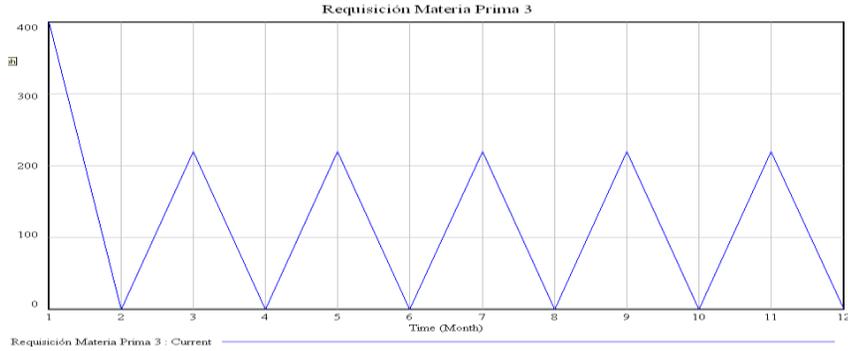
Requisición materia prima 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Requisición materia prima 3 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 115. Resultados Requisición materia prima 3

| Time (Month) | "Requisición Materia Prima 3" Runs: | Requisición Materia Prima 3 |
|--------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | | 400 |
| 2 | 3" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 220 |
| 4 | | 0 |
| 5 | | 220 |
| 6 | | 0 |
| 7 | | 220 |
| 8 | Table Time Down | 0 |
| 9 | | 220 |
| 10 | | 0 |
| 11 | | 220 |
| 12 | | 0 |

Figura 116. Gráfico resultados Requisición materia prima 3



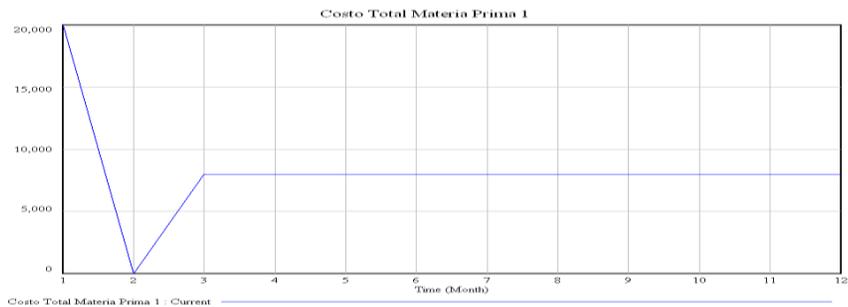
Costo total materia prima 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total materia prima 1 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 117. Resultado costo total materia prima 1

| Time (Month) | "Costo Total Materia Prima | Costo Total Materia Prima 1 |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 20000 |
| 2 | 1" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 8000 |
| 4 | | 8000 |
| 5 | | 8000 |
| 6 | | 8000 |
| 7 | | 8000 |
| 8 | Table Time Down | 8000 |
| 9 | | 8000 |
| 10 | | 8000 |
| 11 | | 8000 |
| 12 | | 8000 |

Figura 118. Gráfico resultado costo total materia prima 1



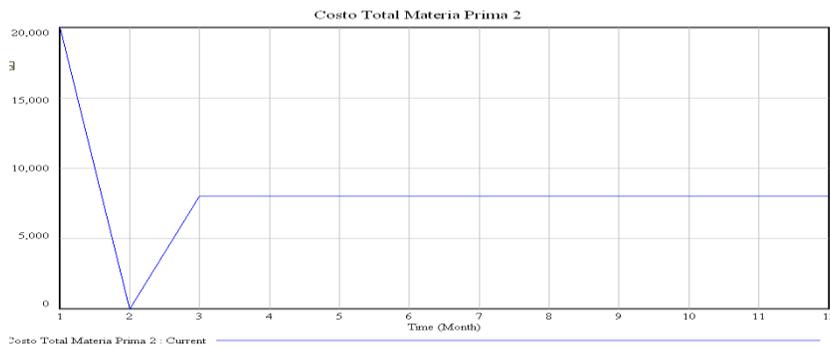
Costo total materia prima 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total materia prima 2 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 119. Resultado costo total materia prima 2

| Time (Month) | "Costo Total Materia Prima | Costo Total Materia Prima 2 |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 20000 | 20000 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 8000 | 8000 |
| 4 | 8000 | 8000 |
| 5 | 8000 | 8000 |
| 6 | 8000 | 8000 |
| 7 | 8000 | 8000 |
| 8 | 8000 | 8000 |
| 9 | 8000 | 8000 |
| 10 | 8000 | 8000 |
| 11 | 8000 | 8000 |
| 12 | 8000 | 8000 |

Figura 120. Gráfico resultado costo total materia prima 2



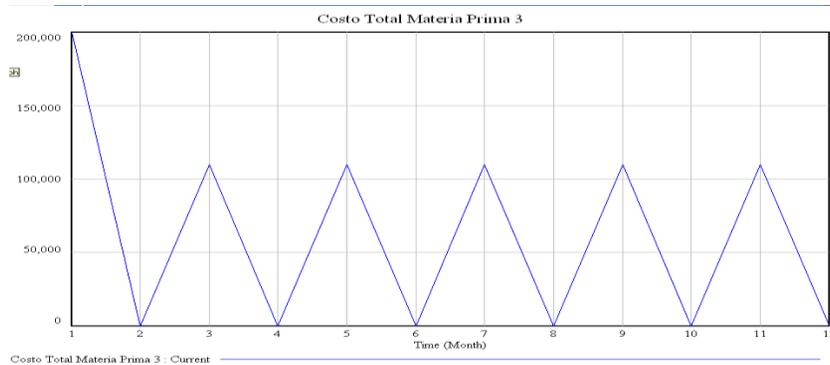
Costo total materia prima 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total materia prima 3 en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 121. Resultado costo total materia prima 3

| Time (Month) | "Costo Total Materia Prima 3" | Costo Total Materia Prima 3 |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 200000 |
| 2 | 3" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 110000 |
| 4 | | 0 |
| 5 | | 110000 |
| 6 | | 0 |
| 7 | | 110000 |
| 8 | Table Time Down | 0 |
| 9 | | 110000 |
| 10 | | 0 |
| 11 | | 110000 |
| 12 | | 0 |

Figura 122. Gráfico resultado costo total materia prima 3



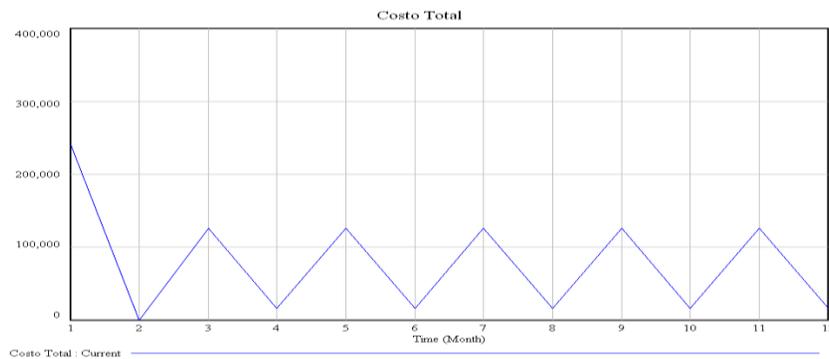
Costo total

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total en forma de tabla de datos y gráfica.

Figura 123. Resultado costo total

| Time (Month) | "Costo Total" | Costo Total |
|-----------------|---------------|-------------|
| 1 | Runs: | 240000 |
| 2 | Current | 0 |
| 3 | | 126000 |
| 4 | | 16000 |
| 5 | | 126000 |
| 6 | | 16000 |
| 7 | | 126000 |
| Table Time Down | | 16000 |
| 9 | | 126000 |
| 10 | | 16000 |
| 11 | | 126000 |
| 12 | | 16000 |

Figura 124. Gráfico resultado costo total



Comentarios resultados caso de estudio

Luego de realizar la simulación del modelo MRP para el caso de estudio planteado anteriormente se logra observar una disminución del costo total al pasar de 240000 dólares a 0, esto se debe a que en el segundo mes la requisición de materia prima de los tres productos es cero. Durante el segundo mes no se requiere pedir porque hay suficientes unidades de materia prima para producir y mantener los niveles mínimos aceptados de inventario de materia prima.

El Pedido de las tres materias primas el primer mes es igual a cero, no se realiza pedido de materia prima debido a que se encuentran cantidades adecuadas de las mismas en el inventario durante ese mes (inventario de materia prima 1: 100; inventario de materia prima 2: 200 e inventario de materia prima 3:400).

A partir del segundo mes se realizan pedidos de las tres materia primas puesto que los inventarios son menores a las cantidades establecidas como mínimas aceptables, es decir, el inventario de materia prima 1 es menor a 60 unidades, por lo tanto se realiza un pedido de 40 para mantener el inventario mínimo aceptable y el inventario de materia prima 2 es menor a 120, por lo tanto se realiza un pedido por 80 unidades.

En cuanto a la materia prima 3, se observa que en los meses impares no se realizan pedidos de esta materia prima, esto debido a que durante estos meses el Inventario de materia prima 3 se encuentra por encima (220) de 180 unidades, las cuales equivalen a las cantidades mínimas aceptables para este inventario. Durante los meses pares sí se realiza pedido de esta materia prima debido a que el Inventario de materia prima 3 disminuye.

A partir del tercer mes el Costo total presenta un comportamiento intercalado, entre 126000 dólares y 16000, esto debido a que los costos totales de materia prima 3 presenta el mismo comportamiento aunque con valores distintos y este último comportamiento se debe a que la requisición de materia prima 3 en los meses impares equivale a 220 unidades (por lo explicado anteriormente) y en otros meses es cero.

Sensibilización del modelo

El modelo de MRP será sometido a los siguientes cambios para analizar qué tanto varían los resultados comparados con el modelo original:

El Plan maestro de producción será el siguiente:

Tabla 8. Plan maestro de producción modificado

| Meses/ Can. Prod. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| # Mesas | 5 0 | 20 0 | 15 0 | 20 0 | 15 0 | 10 0 | 25 0 | 15 0 | 10 0 | 15 0 | 25 0 | 10 0 |

En este caso la media es igual a 308 y la desviación a 119.

Además, se modifican los siguientes valores:

Cuando el inventario de los tableros es menor a 50 unidades se emite el orden de pedido de este producto por 70 unidades, para el caso de los travesaños estas se emiten por 80 unidades cuando el valor del inventario sea menor a 100 y para el caso de las patas de maderas la orden se emite por 180 unidades cuando el inventario de este producto sea menor a 180.

Valor inicial Inventario de materia prima 1: 50

Valor inicial Inventario de materia prima 2: 100

Valor inicial Inventario de materia prima 3: 200

Resultados sensibilización

A continuación se muestran los resultados del modelo MRP sensibilizado.

Variables de nivel

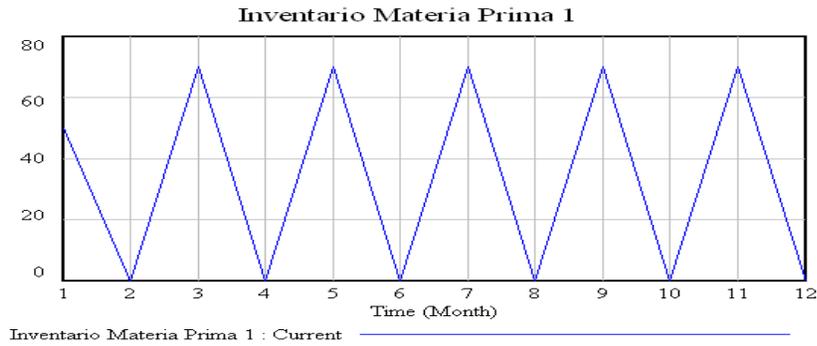
Inventario materia prima 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario materia prima 1 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 125. Resultados sensibilización Inventario materia prima 1

| Time (Month) | "Inventario Materia Prima | Inventario Materia Prima 1 |
|--------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | | 50 |
| 2 | 1" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 70 |
| 4 | | 0 |
| 5 | | 70 |
| 6 | | 0 |
| 7 | | 70 |
| 8 | | 0 |
| 9 | | 70 |
| 10 | | 0 |
| 11 | | 70 |
| 12 | | 0 |

Figura 126. Gráfico resultados sensibilización Inventario materia prima 1



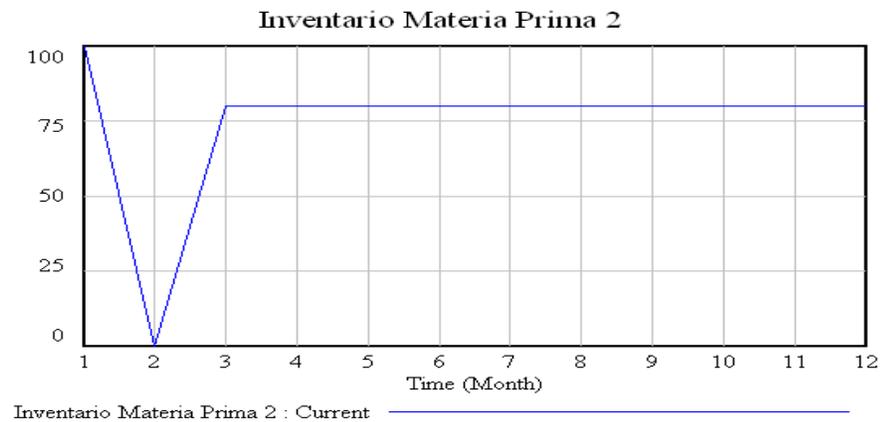
Inventario materia prima 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario materia prima 2 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 127. Resultados sensibilización Inventario materia prima 2

| Time (Month) | "Inventario Materia Prima 2" | Inventario Materia Prima 2 |
|--------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 100 |
| 2 | 2" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 80 |
| 4 | | 80 |
| 5 | | 80 |
| 6 | | 80 |
| 7 | | 80 |
| 8 | Table Time Down | 80 |
| 9 | | 80 |
| 10 | | 80 |
| 11 | | 80 |
| 12 | | 80 |

Figura 128. Gráfico resultados sensibilización Inventario materia prima 2



INVENTARIO MATERIA PRIMA 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Inventario materia prima 3 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 129. Resultados sensibilización Inventario materia prima 3

| Time (Month) | "Inventario Materia Prima 3" Runs: Current | Inventario Materia Prima 3 |
|-----------------|---|----------------------------|
| 1 | 200 | 200 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 180 | 180 |
| 4 | 180 | 180 |
| 5 | 180 | 180 |
| 5 | 180 | 180 |
| 7 | 180 | 180 |
| Table Time Down | 180 | 180 |
| 9 | 180 | 180 |
| 10 | 180 | 180 |
| 11 | 180 | 180 |
| 12 | 180 | 180 |

Figura 130. Gráfico resultados sensibilización Inventario materia prima 3



Variables de flujo

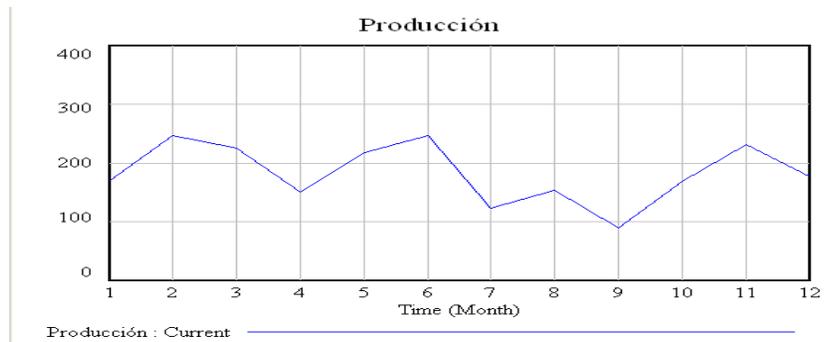
Producción

A continuación se muestra el resultado de la variable Producción en forma de tabla de datos y gráfica para el modelo MRP una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 131. Resultado sensibilización Producción modelo MRP

| Time (Month) | "Producción" | Producción |
|--------------|-----------------|------------|
| 1 | Runs: | 170 |
| 2 | Current | 246 |
| 3 | | 225 |
| 4 | | 151 |
| 5 | | 218 |
| 6 | | 247 |
| 7 | | 123 |
| 8 | Table Time Down | 153 |
| 9 | | 90 |
| 10 | | 169 |
| 11 | | 232 |
| 12 | | 177 |

Figura 132. Gráfico resultado sensibilización Producción modelo MRP



Variables auxiliares

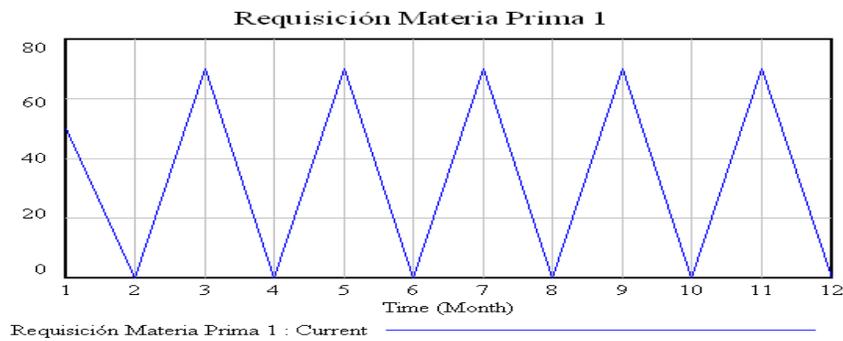
Requisición materia prima 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Requisición materia prima 1 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 133. Resultados sensibilización Requisición materia prima1

| Time (Month) | "Requisición Materia Prima | Requisición Materia Prima 1 |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 50 |
| 2 | 1" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 70 |
| 4 | | 0 |
| 5 | | 70 |
| 6 | | 0 |
| 7 | | 70 |
| 8 | Table Time Down | 0 |
| 9 | | 70 |
| 10 | | 0 |
| 11 | | 70 |
| 12 | | 0 |

Figura 134. Gráfico resultados sensibilización Requisición materia prima 1



Requisición materia prima 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Requisición materia prima 2 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 135. Resultados sensibilización Requisición materia prima 2

| Time (Month) | "Requisición Materia Prima | Requisición Materia Prima 2 |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 100 |
| 2 | 2" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 80 |
| 4 | | 80 |
| 5 | | 80 |
| 6 | | 80 |
| 7 | | 80 |
| 8 | Table Time Down | 80 |
| 9 | | 80 |
| 10 | | 80 |
| 11 | | 80 |
| 12 | | 80 |

Figura 136. Gráfico resultados sensibilización Requisición materia prima 2



Requisición materia prima 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Requisición materia prima 3 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 137. Resultados sensibilización Requisición materia prima 3

| Time (Month) | "Requisición Materia Prima 3" | Requisición Materia Prima 3 |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 200 |
| 2 | 3" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 180 |
| 4 | | 180 |
| 5 | | 180 |
| 6 | | 180 |
| 7 | | 180 |
| 8 | Table Time Down | 180 |
| 9 | | 180 |
| 10 | | 180 |
| 11 | | 180 |
| 12 | | 180 |

Figura 138. Gráfico resultados sensibilización Requisición materia prima 3



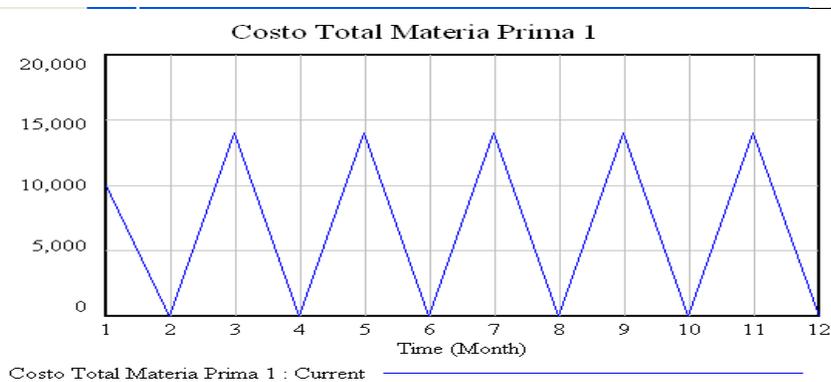
Costo total materia prima 1

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total materia prima 1 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 139. Resultado sensibilización costo total materia prima 1

| Time (Month) | "Costo Total Materia Prima | Costo Total Materia Prima 1 |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 10000 |
| 2 | 1" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 14000 |
| 4 | | 0 |
| 5 | | 14000 |
| 6 | | 0 |
| 7 | | 14000 |
| 8 | Table Time Down | 0 |
| 9 | | 14000 |
| 10 | | 0 |
| 11 | | 14000 |
| 12 | | 0 |

Figura 140. Gráfico resultado sensibilización costo total materia prima 1



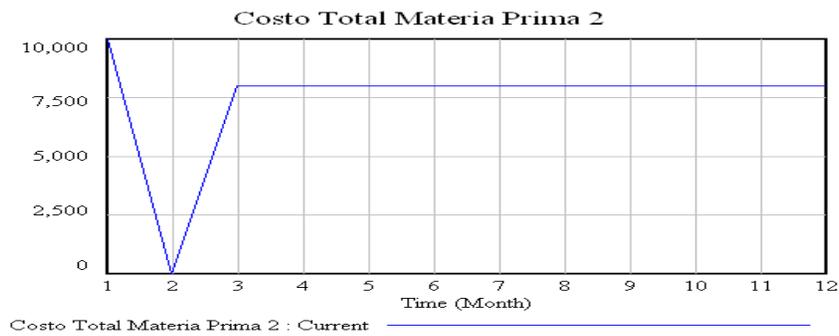
Costo total materia prima 2

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total materia prima 2 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 141. Resultado sensibilización costo total materia prima 2

| Time (Month) | "Costo Total Materia Prima | Costo Total Materia Prima 2 |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 10000 | |
| 2 | 0 | |
| 3 | 8000 | |
| 4 | 8000 | |
| 5 | 8000 | |
| 6 | 8000 | |
| 7 | 8000 | |
| 8 | 8000 | |
| 9 | 8000 | |
| 10 | 8000 | |
| 11 | 8000 | |
| 12 | 8000 | |

Figura 142. Gráfico resultado sensibilización costo total materia prima 2



Costo total materia prima 3

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total materia prima 3 en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 143. Resultado sensibilización costo total materia prima 3

| Time (Month) | "Costo Total Materia Prima 3" | Costo Total Materia Prima 3 |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Materia Prima | 100000 |
| 2 | 3" Runs: | 0 |
| 3 | Current | 90000 |
| 4 | | 90000 |
| 5 | | 90000 |
| 6 | | 90000 |
| 7 | | 90000 |
| 8 | Table Time Down | 90000 |
| 9 | | 90000 |
| 10 | | 90000 |
| 11 | | 90000 |
| 12 | | 90000 |

Figura 144. Gráfico resultado sensibilización costo total materia prima 3



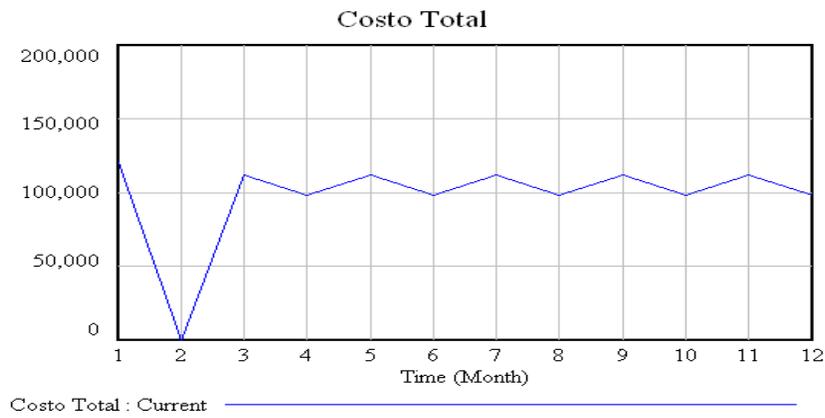
Costo total

A continuación se muestra el resultado de la variable Costo total en forma de tabla de datos y gráfica una vez sometido el modelo a sensibilización.

Figura 145. Resultado sensibilización costo total

| Time (Month) | "Costo Total" | Costo Total |
|-----------------|---------------|-------------|
| 1 | Runs: | 120000 |
| 2 | Current | 0 |
| 3 | | 112000 |
| 4 | | 98000 |
| 5 | | 112000 |
| 6 | | 98000 |
| 7 | | 112000 |
| Table Time Down | | 98000 |
| 9 | | 112000 |
| 10 | | 98000 |
| 11 | | 112000 |
| 12 | | 98000 |

Figura 146. Gráfico resultado sensibilización costo total



Comentarios resultados sensibilización

Luego de realizar la sensibilización del modelo MRP podemos observar que el costo se incrementa en los meses pares en usd 82000 y disminuye en los meses impares en usd 14000, esto debido a la variación que se presenta en la requisición de cada materia prima: Requisición materia prima 1 pasa de 40 unidades en todos los meses a 70 unidades variando en algunos meses a 0 es decir; en estos meses estas unidades se toman del inventario, Requisición de materia prima 2 se mantiene igual para ambos modelos ya que no se le hizo ninguna variación a esta variable y la requisición de materia prima 3 paso de 220 unidades en algunos meses y 0 en otros a ser constante en 180 unidades . El segundo modelo resulta tener costos totales mas elevados que el primero.

CONCLUSIONES

El primer capítulo corresponde a las generalidades y fundamentos del proyecto, en esta parte se presenta una breve explicación de qué son los sistemas de producción y cómo se clasifican, esto como antesala al tema de la dinámica de sistemas como método de construcción de modelos de sistemas los cuales son simulados por computador en software diseñados para tal fin, tal como lo es el software Vensim. En este punto se destaca que por medio de la dinámica de sistemas las empresas pueden crear modelos a un costo más bajo que poniendo en práctica las acciones en la realidad, corriendo el riesgo de cometer errores que podrían causar daños a las finanzas de la empresa.

En términos generales, la visión de las acciones sobre las cuales es necesario tomar decisiones dentro de una empresa en forma sistemática, mostrando la relación entre las variables que la conforman, el comportamiento de las mismas e incluso los resultados sujetos a sensibilización o variaciones dentro de la representación en forma de modelos que se simulan permite lograr una mayor claridad y comprensión de la situación, cualquiera que esta sea, favoreciendo indiscutiblemente la toma de decisiones por parte de la dirección de la empresa.

Dentro de la construcción de un sistema existen tres tipos de variables: Variables de nivel o Niveles que son aquellas que suponen la acumulación en el tiempo de cierta magnitud. Las Variables de flujo o los Flujos son aquellos que expresan de manera explícita la variación por unidad de tiempo de los niveles y las Variables auxiliares que son aquellas que ayudan al modelo haciéndolo más comprensible. Además, existen las

Constantes o Parámetros que como su nombre lo indica se mantienen constantes durante todo el horizonte de tiempo del modelo.

Además en este primer capítulo se muestra un breve resumen de cada uno de los temas de producción sobre los cuales se hará el diseño de casos a simular.

La planeación agregada es una herramienta que permite a las empresas programar y controlar todo lo referente a su producción para lograr alcanzar las expectativas a corto y mediano plazo. Una empresa alcanza mediante el uso de la planeación agregada programar su producción para lograr enfrentarse a niveles de demanda fluctuante utilizando los niveles adecuados de recursos y capacidad.

El sistema MRP es una herramienta de planeación que ayuda a las empresas que la utilizan a programar los requerimientos de materia prima con base en las cantidades a fabricar de productos terminados.

Una línea de ensamblaje es un sistema integrado por un conjunto de estaciones de trabajo en las cuales existen máquinas y trabajadores encargados de juntar las partes hasta lograr el producto final. Generalmente, las partes van pasando por las estaciones de trabajo sobre algún medio, por ejemplo una banda transportadora y en cada estación de trabajo se realiza el mismo trabajo en cada producto.

A continuación se presentan modelos para casos de estudio relacionados con Planeación agregada, MRP y líneas de ensamblaje.

Para el caso de Planeación Agregada se simulan dos modelos, debido a que se debe escoger entre dos estrategias aquella que más le favorezca a la empresa estudiada. Luego de efectuar todos los pasos para la simulación del modelo para la estrategia 1, se muestran los resultados del mismo y este es sometido a variaciones en cuanto al número de trabajadores y los días laborados al mes con el fin de mirar qué tan sensible es el modelo a cambios tan sencillos como estos. Se efectúan los mismos pasos para la estrategia 2 pero en este caso las variaciones se hacen en el horizonte de tiempo del modelo.

Comparando las dos estrategias sin tener en cuenta las sensibilizaciones, la estrategia más conveniente para la empresa sería la primera debido a que generaría menores costos acumulados durante el horizonte de tiempo del modelo.

Se presenta un modelo de Líneas de ensamblaje y uno de MRP para cada caso de estudio de dichos temas, a cada caso de estudio se le aplican los pasos de la dinámica de sistemas y una vez corre el modelo se muestran los resultados relativos a las variables más importantes.

Cabe destacar que cada modelo es sometido a modificaciones para analizar su sensibilidad o variabilidad ante cambios aplicados, lo cual es una de las principales ventajas de estos casos resueltos mediante la dinámica de sistemas aplicando el software Vensim, ya que permitirán al estudiante comparar cada modelo modificado o sensibilizado con el modelo original y observar con mayor claridad la influencia de cada variable en el modelo general y en la decisión final al momento de resolver el caso de estudio.

RECOMENDACIONES

Seguir impulsando a los estudiantes de Administración industrial a la investigación de dinámica de sistemas y a su aplicación utilizando diferentes herramientas tecnológicas que les facilite la toma de decisiones.

Crear una materia o incluir en las ya existentes temas tales; como la dinámica de sistemas y su aplicación a las diferentes áreas de la planeación de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Plan de desarrollo Programa Administración Industrial Universidad de Cartagena.
- COSS BU, Raúl. Simulación un enfoque práctico. LIMUSA Noriega Editores. México, año 2003
- ELIYAHU GOLDRATT Y JEFF COX. La meta un proceso de mejora continua, 7ª ed., Monterrey México, Ediciones castillo 1998.
- MANCILLA HERRERA, Alfonso Manuel. Simulación: Herramientas para el estudio de sistemas reales. Ingeniería y Desarrollo N° 6, Universidad del Norte (fuente EBSCO HOST). Año 1999
- VERGARA SCHMALBACH, Juan Carlos. Aplicación de la Simulación de Montecarlo en la planeación financiera. Panorama Económico N° 13, Universidad de Cartagena. Colombia, año 2005
- LOPÉZ, DÍAZ, DELGADO. Iniciación a la simulación dinámica. Ed. Ariel Economía, 2000
- RADFORD, NOORI. Administración de operaciones y producción: Calidad total y respuesta sensible rápida. Ed. Mc Graw Hill Interamericana. Año 1997

- ZUÑIGA SÁENZ, Roy. Operaciones, Sistemas, estrategia y simulación. Revista Latinoamericana de Administración (CLADEA), N° 34 (fuente EBSCO HOST). Bogotá, año 2005.
- BLANCO RIVERO, Luís Ernesto. Simulación con promodel: Casos de producción y logística. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería segunda edición Colombia año 2003
- QUESADA IBARGUEN, VERGARA SCHMALBACH, Análisis Cuantitativo con WINQSB, Universidad de Cartagena. Colombia, año 2006
- CHASE, AQUILANO. Dirección y administración de la producción y de las operaciones. Mc Graw Hill. Sexta edición. 1995
- ARACIL, Javier. DINAMICA DE SISTEMAS. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Cuarta Edición. Graficas Marbe. Madrid, España. 2006.
- John D. Sterman: Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. 2000.
- TORREALDEA, Javier. Ciencias de la Computación e Inteligencia artificial; Cap. Dinámica de Sistemas. Madrid, España. 2004.
- SCHROEDER. Roger, Administración de operaciones, toma de decisiones en la función de operaciones, ED. MC graw hill, tercera edición, año 1992

- VILLALBA CRUZ, Francisco. Estrategias de Inventarios. Especialización en Logística. Escuela Naval Almirante Padilla. Cartagena de Indias. Marzo de 2004.

ANEXO

ANEXO 1- ECUACIONES DEL MODELO CREADAS POR EL SOFTWARE VENSIM

1) TOTAL HORAS LABORADAS

Días laborados al Mes*Horas laboradas día*No Trabajadores

2) DEMANDA PRONOSTICADA

INTEGER (INTEGER (RANDOM NORMAL (200000, 650000, 450000, 106000, 1))/50)*50

3) PRODUCCIÓN

INTEGER (Días laborados al Mes*Horas laboradas día*No Trabajadores*Unidades producidas por hora)

4) UNIDADES PRODUCIDAS POR HORA

INTEGER (RANDOM NORMAL (60, 80, 70, 10, 1))

5) INVENTARIO FINAL DE PRODUCTOS TERMINADOS

Producción-Demanda pronosticada

6) COSTO MANO DE OBRA

Costo Hora Laboral*Total Horas Laboradas

7) UNIDADES A SUBCONTRATAR

IF THEN ELSE (Inv Final productos terminados<0, ABS (Inv Final productos terminados), 0)

8) COSTO TOTAL DE ALMACENAMIENTO

IF THEN ELSE (Inv Final productos terminados>0, Costo de almacenamiento por unidad*Inv Final productos terminados, 0)

9) COSTO TOTAL SUBCONTRATO

Costo Unidad Subcontratada*Unidades a subcontratar

10) COSTO TOTAL DE LA ESTRATEGIA 1

Costo total de almacenamiento + Costo Mano de Obra + Costo total subcontrato

11) COSTO ACUMULADO ESTRATEGIA

Costo total de la estrategia 1

12) COSTO TOTAL DESPIDO

IF THEN ELSE ("Trabajadores contratados / Despedidos"<0, "Trabajadores contratados / Despedidos"*Costo despido, 0)

13) COSTO TOTAL CONTRATACIÓN

IF THEN ELSE ("Trabajadores contratados / Despedidos">0, "Trabajadores contratados / Despedidos"*Costo Contratación, 0)

14) N° TRABAJADORES

Demanda pronosticada/Unidades producidas por trabajador al mes

15) TRABAJADORES CONTRATADOS / DESPEDIDOS

No Trabajadores-Trabajadores Actuales

16) TOTAL HORAS LABORADAS

Días laborados al mes*Horas laboradas día*No Trabajadores

17) TRABAJADORES ACTUALES

"Trabajadores contratados / Despedidos"

18) PRODUCCIÓN

Demanda pronosticada

19) COSTO TOTAL DE LA ESTRATEGIA 2

Costo Total Contratación+Costo total de almacenamiento+Costo Total despido+Costo mano de obra

20) COSTO ACUMULADO DE LA ESTRATEGIA 2

Costo total de la estrategia 2

21) TRABAJADOR 1

INTEGER (RANDOM NORMAL (9, 15, 11, 1.41 ,1))

22) TRABAJADOR 2

MIN (INTEGER (RANDOM NORMAL (5, 10, 7, 1.36 ,1)),"Inv. de Productos en Proceso 1")

23) TRABAJADOR 3

MIN (INTEGER (RANDOM NORMAL (15, 25, 20, 3.02 ,1)),"Inv. de Productos en Proceso 2")

- 24) TRABAJADOR 4
MIN (INTEGER (RANDOM NORMAL (25, 35, 30, 2.74 ,1)), "Inv. de
Productos en Proceso 3")
- 25) INV. DE PRODUCTOS EN PROCESO 1
Trabajador 1-Trabajador 2
- 26) INV. DE PRODUCTOS EN PROCESO 2
Trabajador 2-Trabajador 3
- 27) INV. DE PRODUCTOS EN PROCESO 3
Trabajador 3-Trabajador 4
- 28) INV. DE PRODUCTOS TERMINADOS
Trabajador 4
- 29) INVENTARIO MATERIA PRIMA 1
Pedido Materia Prima1-Requisición Materia Prima 1
- 30) INVENTARIO MATERIA PRIMA 2
Pedido Materia Prima2-Requisición Materia Prima 2
- 31) INVENTARIO MATERIA PRIMA 3
Pedido Materia Prima 3-Requisición Materia Prima 3
- 32) PEDIDO MATERIA PRIMA1
IF THEN ELSE (Inventario Materia Prima 1<60,40, 0)

- 33) PEDIDO MATERIA PRIMA 2
IF THEN ELSE (Inventario Materia Prima 2<120, 80, 0)
- 34) PEDIDO MATERIA PRIMA 3
IF THEN ELSE (Inventario Materia Prima 3<180, 220, 0)
- 35) PRODUCCIÓN
INTEGER (RANDOM NORMAL (100, 500, 300, 108.012, 500))
- 36) REQUISICIÓN MATERIA PRIMA 1
MIN (Producción*Requerimiento Unitario de mp 1, Inventario MP 1)
- 37) REQUISICIÓN MATERIA PRIMA 2
MIN (Producción*Requerimiento Unitario de mp 2, Inventario MP 2)
- 38) REQUISICIÓN MATERIA PRIMA 3
MIN (Producción*Requerimiento Unitario de mp 3, Inventario MP 3)
- 39) COSTO TOTAL MATERIA PRIMA 1
Requisición Materia Prima 1*Costo Unitario Materia Prima 1
- 40) COSTO TOTAL MATERIA PRIMA 2
Requisición Materia Prima 2*Costo Unitario Materia Prima 2
- 41) COSTO TOTAL MATERIA PRIMA 3
Requisición Materia Prima 3*Costo Unitario Materia Prima 3
- 42) COSTO TOTAL
Materia Prima 1+Costo Total Materia Prima 2+Costo Total Materia Prima 3

