

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

COLEGIO POLITÉCNICO

**PROPUESTA DE REDISEÑO DE LAYOUT Y MEJORAMIENTO EN EL FLUJO DE
MATERIALES EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA DE CALZADO
FAME S.A.**

Wilson Andrés Arciniegas Limongi

Vanessa Alexandra Sánchez Cevallos

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ingeniero Industrial

Quito, Ecuador

18 de Mayo de 2012

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO COLEGIO POLITÉCNICO

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Propuesta de rediseño de layout y mejoramiento en el flujo de materiales
en el área de producción de la empresa de calzado FAME S.A.**

Wilson Andrés Arciniegas Limongi

Vanessa Alexandra Sánchez Cevallos

Verónica León, MSc
Directora de la Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena Córdova, PhD
Miembro del Comité de Tesis

.....

Daniel Merchán, MSc
Miembro del Comité de Tesis

.....

Santiago Gangotena, PhD
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, Mayo de 2012

© DERECHOS DEL AUTOR

WILSON ARCINIEGAS, VANESSA SÁNCHEZ

2012

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de tesis fue realizado gracias al apoyo de nuestras familias, las cuales estuvieron presentes en los momentos difíciles y de sacrificio a lo largo de su elaboración. De igual manera, un especial agradecimiento a Verónica León, nuestra directora de tesis, por ayudarnos a encaminar nuestra tesis durante la duración de la misma, y de esta forma alcanzar todas las metas propuestas.

RESUMEN

Para poder realizar el diseño del *layout* de la planta, se requiere primeramente conocer los procesos que se realizan para poder elaborar el producto final. Seguidamente, determinar las estaciones de la línea de producción que son parte del mismo, para de esta forma analizar el flujo de materiales en la planta. Tomando en cuenta los problemas presentados dentro de la instalación, se presentan cuatro propuestas de diseño de la disposición, de las cuales se selecciona la más eficiente. Una vez escogida una alternativa, se procede a simular la planta actual y la propuesta, para poder disminuir cuellos de botella, así como inventarios en proceso. Además, la bodega de materia prima forma parte del proceso de manufactura de la planta, por lo que se propone una propuesta de mejora a través de establecer una ubicación determinada para cada *ítem*, así como señalización dentro de la misma.

ABSTRACT

To perform the design of plant layout is required to understand the processes that take place in order to manufacture the final product. Then, identify the stations of the production line that are part of it to analyze the flow of materials in the plant. Taking out the problems presented within the facility, are set four designs proposed for the layout, where the most efficient is chosen. After selecting an alternative, we proceed to simulate the current and proposed design, to reduce bottlenecks and work in progress. In addition, the raw material warehouse is part of the manufacturing process of the plant, so it is proposed an improvement by establishing a specific location for each item, as well signs.

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen.....	v
Abstract	vi
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Introducción	1
1.2 Descripción de la Empresa	2
1.3 Antecedentes	2
1.4 Justificación e Importancia	3
1.5 Objetivo General	4
1.6 Objetivos Específicos.....	4
1.7 Metodología	5
Capítulo 2: Marco Teórico y Revisión Literaria.....	8
2.1 Marco Teórico.....	8
2.1.1 Análisis de Procesos.....	8
2.1.1.1 <i>Diagramas de Flujo</i>	8
2.1.1.2 <i>Análisis de Valor de Procesos</i>	9
2.1.1.3 <i>Cadena de Valor</i>	10
2.1.1.3.1 Macro Procesos Gobernantes.....	11
2.1.1.3.2 Macro Procesos Productivos.....	12
2.1.1.3.3 Macro Procesos Habilitantes.....	12
2.1.2 Herramientas de la Calidad.....	12
2.1.2.1 <i>Diagrama de Causa y Efecto</i>	12
2.1.2.2 <i>Análisis de Pareto</i>	13
2.1.3 Tipos de Sistemas de Producción.....	14
2.1.3.1 <i>Producción de Taller</i>	14
2.1.3.2 <i>Producción por Lotes</i>	15
2.1.3.3 <i>Producción Masiva</i>	15
2.1.3.4 <i>Sistemas Pull y Push</i>	15
2.1.3.5 <i>Celdas de Manufactura</i>	16
2.1.3.6 <i>Tecnología de Grupos</i>	16
2.1.4 Flujo de Materiales.....	17
2.1.4.1 <i>Patrones de Flujo</i>	17
2.1.4.1.1 Flujo dentro de las estaciones de trabajo.....	17
2.1.4.1.2 Flujo dentro de los departamentos.....	17
2.1.4.2 <i>Planificación del Flujo</i>	18
2.1.4.3 <i>Medición del Flujo</i>	19
2.1.4.4 <i>Relaciones de las Actividades</i>	19
2.1.4.4.1 Medición cuantitativa del flujo.....	20
2.1.4.4.2 Medición cualitativa del flujo.....	21
2.1.5 Manejo De Materiales.....	22
2.1.5.1 <i>Carga Unitaria</i>	23
2.1.6 Procedimientos para la Disposición de Instalaciones.....	24
2.1.6.1 <i>Procedimiento de Planificación Sistemática de la Disposición (SLP)</i>	24

2.1.6.2 Modelos de Optimización.....	25
2.1.6.2.1 Enfoques Algorítmicos.....	26
2.1.6.2.2 Método del Intercambio Pareado.....	27
2.1.6.2.3 Método CRAFT.....	27
2.1.6.2.4 BLOCPLAN.....	27
2.1.6.2.5 MÚLTIPLE.....	28
2.1.6.2.6 Programación entera mixta (PEM).....	29
2.1.7 Inventarios.....	31
2.1.7.1 Costos de Inventario.....	32
2.1.7.2 Método de conteo cíclico por análisis A-B-C.....	32
2.1.8 Estudio de Tiempos.....	33
2.1.8.1 Equipo para el Estudio de Tiempos.....	34
2.1.8.2 Inicio del Estudio.....	34
2.1.8.3 Tiempo Normal y Tolerancias.....	34
2.1.8.4 Tiempo Estándar.....	35
2.1.9 Tamaño de muestra.....	35
2.1.9.1 Nivel de Confianza α	36
2.1.10 Pruebas de Bondad y Ajuste.....	36
2.1.10.1 Prueba Chi Cuadrado.....	36
2.1.10.2 Prueba Kolmogorov-Smirnov.....	37
2.1.11 Simulación de Sistemas de Producción.....	38
2.1.12 Lean Manufacturing.....	39
2.1.12.1 Sistema 5s.....	39
2.1.13 Análisis Financiero.....	40
2.1.13.1 Análisis Beneficio / Costo.....	40
2.2 Revisión Literaria.....	41
2.2.1 La utilización de la simulación para evaluar el desempeño de la línea de producción en condiciones de demanda variable. (McDonald et al. 2011).....	41
2.2.2 Metodología para la estimación de rentabilidad máxima para un sistema de clasificación ABC de inventarios. (Martin et al. 2006).....	42
2.2.3 Un nuevo enfoque para el análisis automático y control de sistemas de manejo de materiales. (Gamberi et al. 2008).....	42
2.2.4 Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. (Gutiérrez, 2009).....	43
2.2.5 Mejora en la distribución física de la planta utilizando la planificación sistemática de diseño (SLP) para aumentar la productividad. (Wiyaratn et al. 2010).....	44
2.2.6 Planificación sistemática de instalaciones (SLP). (Owens, 2011).....	44
2.2.7 Algoritmo de recocido simulado para encontrar soluciones aproximadas de Pareto óptimas para el problema de una instalación multi-objetivo. (Sahin et al. 2008).....	45
2.2.8 Clasificación ABC. (Arciniegas, 2002).....	46
2.2.9 Diagramas de recorrido. (Lascano, 2010).....	46
2.2.10 Evaluación por adyacencia entre departamentos y costo de manejo de materiales. (Tanus et al. 2005).....	46
Capítulo 3: Diseño de la Distribución de la Planta de Calzado.....	48
3.1 Descripción del Proceso.....	48

3.1.1 Cadena de Valor	48
3.1.2 Lista Maestra de Procesos.....	49
3.2 Planta de Producción de Calzado	51
3.2.1 Identificación del Problema.....	52
3.2.2 Identificación de Productos Representativos.....	53
3.2.2.1 Diagrama de Pareto.....	53
3.2.2.2 Descripción del Proceso de Elaboración de la Bota Patuca.....	54
3.3 Toma de Datos del Flujo de Material	55
3.4 Medición Cualitativa del Flujo	56
3.5 Medición Cuantitativa del Flujo	58
3.5.1 Análisis del estudio del <i>layout</i> actual.....	60
3.6 Rediseño de la Planta de Calzado	62
3.6.1 Procedimiento SLP.....	64
3.6.2 Método CRAFT.....	68
3.6.3 MÚLTIPLE.....	74
3.6.4 Programación Entera Mixta (PEM).....	86
3.7 Análisis de los resultados del rediseño de la planta de calzado	97
Capítulo 4: Análisis y Modelamiento del Sistema de Producción de la Planta de Calzado.....	99
4.1 Descripción del Sistema de Producción de la planta de calzado FAME S.A.	99
4.2 Recolección de Tiempos para la Simulación.....	100
4.3 Determinación de Distribuciones de los Procesos.....	104
4.4 Construcción del Modelo.....	107
4.4.1 Determinación del número de réplicas para la simulación.....	112
4.5 Resultados de la Simulación	113
4.6 Propuestas de Mejoramiento	116
4.6.1 Costos Relacionados con la Propuesta de Automatización.....	123
Capítulo 5: Diseño del Sistema de Almacenamiento.....	126
5.1 Almacenamiento.....	126
5.1.1 Descripción de las Bodegas de Materia Prima.....	126
5.1.2 Sistema de Manejo de Inventarios.....	130
5.1.3 Identificación de problemas.....	132
5.2 Levantamiento de Información de las Bodegas de Materia Prima.....	132
5.3 Propuesta de Rediseño de la Bodega.....	137
5.3.1 Clasificación ABC.....	137
5.3.2 Sistema de Almacenamiento.....	142
Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones.....	146
6.1 Conclusiones acerca de la planta de producción	146
6.2 Conclusiones acerca de la bodega.....	147
6.3 Recomendaciones Generales.....	148
Referencias.....	150

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Simbología de los diagramas de flujo.....</i>	9
<i>Figura 2. Ejemplo del análisis de valor de procesos.....</i>	10
<i>Figura 3. Simbología del Análisis de Valor de Procesos.</i>	10
<i>Figura 4.Cadena de Valor.....</i>	11
<i>Figura 5. Diagrama de Causa y Efecto.</i>	13
<i>Figura 6. Diagrama de Pareto.....</i>	14
<i>Figura 7. Flujo dentro de los departamentos.....</i>	18
<i>Figura 8. Procedimiento SLP.....</i>	25
<i>Figura 9. Curva de Hilbert para algoritmo MÚLTIPLE.</i>	29
<i>Figura 10. Diagrama de Pareto para análisis ABC.</i>	33
<i>Figura 11. Cadena de Valor FAME S.A.</i>	48
<i>Figura 12. Lista Maestra de Procesos FAME S.A.</i>	50
<i>Figura 13. Ilustración de las botas Patuca.</i>	51
<i>Figura 14. Diagrama de Causa-Efecto FAME S.A.....</i>	53
<i>Figura 15. Diagrama de Pareto de la Producción de Calzado del año 2011.</i>	54
<i>Figura 16. Ejemplo de cálculo de centroide para la estación A0.</i>	59
<i>Figura 17. Diagrama de relaciones de actividades entre la bodega#1 y estaciones de corte (3,4,5,6,7).....</i>	64
<i>Figura 18. Diagrama de relaciones de espacio entre la bodega#1 y estaciones de corte (3,4,5,6,7).....</i>	66
<i>Figura 19. Datos iniciales para el método CRAFT.</i>	69
<i>Figura 20. Definir la instalación utilizando el complemento para CRAFT.</i>	71
<i>Figura 21. Instalación inicial utilizando el complemento para CRAFT.....</i>	72
<i>Figura 22. Definir la instalación utilizando el complemento para MÚLTIPLE.</i>	77
<i>Figura 23.Curva definida por el algoritmo para MÚLTIPLE.</i>	78
<i>Figura 24.Resultado obtenido por la curva definida por el algoritmo para MÚLTIPLE.</i>	81
<i>Figura 25. Curva definida manualmente para MÚLTIPLE.</i>	82
<i>Figura 26. Resultado obtenido por la curva definida manualmente para MÚLTIPLE.</i>	84
<i>Figura 27. Modelo de PEM ingresado en AMPL.</i>	90
<i>Figura 28. Parámetros del modelo de PEM ingresado en AMPL.</i>	92
<i>Figura 29. Corrida del modelo de PEM en AMPL.</i>	93

<i>Figura 30. Resultados del modelo de PEM en AMPL.</i>	94
<i>Figura 31. Creación de entidades en Arena Software ®.</i>	107
<i>Figura 32. Subproceso de corte.</i>	108
<i>Figura 33. Traslado de corte a pintura.</i>	109
<i>Figura 34. Procesos de Aplanado y de Numeración</i>	110
<i>Figura 35. Proceso de Aparado.</i>	111
<i>Figura 36. Submodelo de la sección de armado.</i>	111
<i>Figura 37. Sección de Goodyear.</i>	112
<i>Figura 38. Final del Proceso.</i>	112
<i>Figura 39. Gráfica de Numero Total de Botas que Ingresan al Sistema de Producción de Calzado.</i>	114
<i>Figura 40. Gráfica de Numero Total de Productos Atendidos por cada Recurso.</i>	116
4.6 Propuestas de Mejoramiento	116
<i>Figura 41. Máquina ELITRON, Booster de corte automatizado.</i>	120
<i>Figura 42. Gráfica de Número Total de Botas que Ingresan al Sistema de Producción de Calzado para la Propuesta de Automatización.</i>	122
<i>Figura 43. Layout Actual de la Bodega#1 de Materia Prima de la Planta de Calzado de FAME S.A.</i>	129
<i>Figura 44. Layout Actual de la Bodega#2 de Materia Prima de la Planta de Calzado de FAME S.A.</i>	129
<i>Figura 45. Diseño de estanterías.</i>	135
<i>Figura 46. Diseño de pallets.</i>	135
<i>Figura 47. Diagrama de Pareto del Volumen de Material Almacenado en la Bodega de Materia Prima.</i>	137
<i>Figura 48. Letrero para identificar material en zonas de la bodega.</i>	142
<i>Figura 49. Letrero para identificar material en estanterías de la bodega.</i>	143
<i>Figura 50. Identificación de material en las estanterías.</i>	143
<i>Figura 51. Gavetas identificadas para almacenar material de bajo volumen.</i>	144
<i>Figura 52. Layout Actual FAME S.A. y flujo de materiales.</i>	154
<i>Figura 53. Diagrama de Flujo para producción de Botas de Selva “Patuca”.</i>	155
<i>Figura 54. Diagrama de Flujo para producción de Botas de Selva “Patuca”.</i>	156
<i>Figura 55. Diagrama de Flujo para producción de Botas de Selva “Patuca”.</i>	157
<i>Figura 56. Indicaciones al Proceso para producción de Botas de Selva “Patuca”.</i>	158
<i>Figura 57. Layout Actual de la Planta de Calzado de FAME S.A.</i>	168

<i>Figura 58. Diagrama de Espaguetti de la Actual Planta de Calzado de FAME S.A.</i>	171
<i>Figura 59. Diagrama de Relaciones para SLP, escala en metros.</i>	174
<i>Figura 60. Diagrama de Relaciones de Espacio para SLP, escala en metros.</i>	175
<i>Figura 61. Propuesta 1 de Layout utilizando la metodología SLP, escala en metros.</i>	176
<i>Figura 62. Primera iteración para el método CRAFT.</i>	179
<i>Figura 63. Segunda iteración para el método CRAFT.</i>	179
<i>Figura 64. Tercera iteración para el método CRAFT.</i>	180
<i>Figura 65. Cuarta iteración para el método CRAFT.</i>	180
<i>Figura 66. Quinta iteración para el método CRAFT.</i>	181
<i>Figura 67. Sexta iteración para el método CRAFT.</i>	181
<i>Figura 68. Séptima iteración para el método CRAFT.</i>	182
<i>Figura 69. Octava iteración para el método CRAFT.</i>	182
<i>Figura 70. Novena iteración para el método CRAFT.</i>	183
<i>Figura 71. Décima iteración para el método CRAFT.</i>	183
<i>Figura 72. Décima primera iteración para el método CRAFT.</i>	184
<i>Figura 73. Décima segunda iteración para el método CRAFT.</i>	184
<i>Figura 74. Décima tercera iteración para el método CRAFT.</i>	185
<i>Figura 75. Décima cuarta iteración para el método CRAFT.</i>	185
<i>Figura 76. Décima quinta iteración para el método CRAFT.</i>	186
<i>Figura 77. Décima sexta iteración para el método CRAFT.</i>	186
<i>Figura 78. Décima séptima iteración para el método CRAFT.</i>	187
<i>Figura 79. Décima octava iteración para el método CRAFT.</i>	187
<i>Figura 80. Décima novena iteración para el método CRAFT.</i>	188
<i>Figura 81. Vigésima iteración para el método CRAFT.</i>	188
<i>Figura 82. Vigésima primera iteración para el método CRAFT.</i>	189
<i>Figura 83. Vigésima segunda iteración para el método CRAFT.</i>	189
<i>Figura 84. Vigésima tercera iteración para el método CRAFT.</i>	190
<i>Figura 85. Vigésima cuarta iteración para el método CRAFT.</i>	190
<i>Figura 86. Vigésima quinta iteración para el método CRAFT.</i>	191
<i>Figura 87. Vigésima sexta iteración para el método CRAFT.</i>	191
<i>Figura 88. Propuesta 2 de Layout utilizando el método CRAFT, escala en metros.</i>	192
<i>Figura 89. Datos iniciales para el algoritmo MÚLTIPLE.</i>	193

<i>Figura 90. Layout de la Planta utilizando el algoritmo MÚLTIPLE.</i>	194
<i>Figura 91. Layout de la Planta dividido en cuadrículas utilizando el algoritmo MÚLTIPLE.</i>	195
<i>Figura 92. Layout de la Planta para las áreas utilizando AMPL.</i>	201
<i>Figura 93. Layout de la Planta utilizando AMPL.</i>	202
<i>Figura 94. Layout de la Planta dividido en cuadrículas para AMPL.</i>	203
<i>Figura 95. Hoja para registrar los tiempos.</i>	206
<i>Figura 96. Distribución obtenida para la estación C1.</i>	211
<i>Figura 97. Distribución obtenida para las estaciones C3 y C4.</i>	211
<i>Figura 98. Distribución obtenida para la estación C5.</i>	212
<i>Figura 99. Distribución obtenida para la estación C14.</i>	212
<i>Figura 100. Distribución obtenida para la estación A0.</i>	213
<i>Figura 101. Distribución obtenida para las estaciones A1 y A2.</i>	213
<i>Figura 102. Distribución obtenida para la estación A3.</i>	214
<i>Figura 103. Distribución obtenida para la estación A12.</i>	214
<i>Figura 104. Distribución obtenida para la estación A18.</i>	215
<i>Figura 105. Distribución obtenida para la estación A19.</i>	215
<i>Figura 106. Distribución obtenida para la estación A27.</i>	216
<i>Figura 107. Distribución obtenida para la estación A31.</i>	216
<i>Figura 108. Distribución obtenida para la estación A39.</i>	217
<i>Figura 109. Distribución obtenida para la estación A40.</i>	217
<i>Figura 110. Distribución obtenida para la estación A41.</i>	218
<i>Figura 111. Distribución obtenida para la estación A43.</i>	218
<i>Figura 112. Distribución obtenida para la estación A44.</i>	219
<i>Figura 113. Distribución obtenida para la estación A45.</i>	219
<i>Figura 114. Distribución obtenida para la estación A47.</i>	220
<i>Figura 115. Distribución obtenida para la estación A48.</i>	220
<i>Figura 116. Distribución obtenida para la estación A50.</i>	221
<i>Figura 117. Distribución obtenida para la estación P1.</i>	221
<i>Figura 118. Distribución obtenida para la estación P2.</i>	222
<i>Figura 119. Distribución obtenida para la estación R2.</i>	222
<i>Figura 120. Distribución obtenida para la estación R3a.</i>	223
<i>Figura 121. Distribución obtenida para la estación R3b.</i>	223

<i>Figura 122. Distribución obtenida para la estación R6.</i>	224
<i>Figura 123. Distribución obtenida para la estación R7.</i>	224
<i>Figura 124. Distribución obtenida para la estación R15.</i>	225
<i>Figura 125. Distribución obtenida para la estación R18a.</i>	225
<i>Figura 126. Distribución obtenida para la estación R18b.</i>	226
<i>Figura 127. Distribución obtenida para la estación R24.</i>	226
<i>Figura 128. Distribución obtenida para la estación R26.</i>	227
<i>Figura 129. Distribución obtenida para la estación G7.</i>	227
<i>Figura 130. Distribución obtenida para la estación G11.</i>	228
<i>Figura 131. Distribución obtenida para la estación G14.</i>	228
<i>Figura 132. Distribución obtenida para la estación G15.</i>	229
<i>Figura 133. Distribución obtenida para la estación G16.</i>	229
<i>Figura 134. Distribución obtenida para la estación G18a.</i>	230
<i>Figura 135. Distribución obtenida para la estación G18b.</i>	230
<i>Figura 136. Distribución obtenida para la estación AC1a.</i>	231
<i>Figura 137. Distribución obtenida para la estación AC1b.</i>	231
<i>Figura 138. Distribución obtenida para la estación AC2a.</i>	232
<i>Figura 139. Distribución obtenida para la estación AC2b.</i>	232
<i>Figura 140. Distribución obtenida para la estación AC3.</i>	233
<i>Figura 141. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de corte.</i>	234
<i>Figura 142. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de aparado 1. Elaboración Propia.</i>	234
<i>Figura 143. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de aparado2. Elaboración Propia.</i>	234
<i>Figura 144. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de aparado final.</i>	235
<i>Figura 145. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de armado.</i>	235
<i>Figura 146. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de goodyear.</i>	235
<i>Figura 147. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de acabado.</i>	236
<i>Figura 148. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de acabado.</i>	236

<i>Figura 149. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de acabado.</i>	236
<i>Figura 150. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de armado.</i>	237
<i>Figura 151. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde bodega hasta el proceso de pintura.</i>	238
<i>Figura 152. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde el proceso de aplanado hasta el proceso de numerado.</i>	238
<i>Figura 153. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde el proceso de aparado1 hasta el proceso de aparado final.</i>	239
<i>Figura 154. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde el proceso de aparado final hasta el proceso de armado.</i>	239
<i>Figura 155. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde el proceso de armado hasta el proceso de goodyear.</i>	239
<i>Figura 156. Tiempos de espera para las estaciones en la situación actual.</i>	240
<i>Figura 157. Utilización de cada recurso en la situación actual.</i>	241
<i>Figura 158. Modelo de simulación en Arena Software ®, de la propuesta obtenida con el algoritmo MÚLTIPLE.</i>	242
<i>Figura 159. Modelo de simulación en Arena Software ®, con máquina de corte automatizada.</i>	243
<i>Figura 160. Tiempo de espera de estaciones en la simulación de la propuesta de automatización.</i>	244
<i>Figura 161. Layout Propuesto de la Bodega#1 de Materia Prima de la Planta de Calzado de FAME S.A.</i>	245
<i>Figura 162. Layout Propuesto de la Bodega#2 de Materia Prima de la Planta de Calzado de FAME S.A.</i>	246

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla desde-hacia	20
Tabla 2. Tabla de Relaciones.	21
Tabla 3. Significado de cada código en la tabla de relaciones.	22
Tabla 4. Valor vs Cercanía en la tabla de relaciones.	22
Tabla 5. Codificación para la capellada, empleada para la producción de la bota Patuca.	56
Tabla 6. Códigos de cercanía en la tabla de relaciones.	57
Tabla 7. Significado de cada código en la tabla de relaciones.	57
Tabla 8. Cantidad de flujo de materiales correspondiente a cada valor de cercanía.	58
Tabla 9. Significado de las numeraciones para las estaciones.	67
Tabla 10. Resultados del método CRAFT.	73
Tabla 11. Secuencia de la disposición inicial para MÚLTIPLE.	76
Tabla 12. Resultados con la curva inicial para MÚLTIPLE.	80
Tabla 13. Resultados con la curva definida manualmente para MÚLTIPLE.	83
Tabla 14. Definición de Áreas para AMPL.	90
Tabla 15. Definición de las dimensiones de cada área para AMPL.	91
Tabla 16. Coordenadas para las áreas calculadas por AMPL.	95
Tabla 17. Función objetivo de las propuestas.	97
Tabla 18. Eficiencia de las propuestas.	97
Tabla 19. Materia prima utilizada para la fabricación de la bota Patuca y las estaciones hacia donde son dirigidas.	99
Tabla 20. Formato para la recolección de datos en el área de corte.	101
Tabla 21. Número recomendado de ciclos de observación.	102
Tabla 22. Tiempos de caminatas entre estaciones en la planta actual.	104
Tabla 23. Pruebas de Bondad y Ajuste para cada una de las Distribuciones.	105
Tabla 24. Tiempos de caminatas entre estaciones.	118
Tabla 25. Utilidad de bota Patuca.	123
Tabla 26. Análisis beneficio costo.	123
Tabla 27. Estaciones donde son procesados los materiales.	127
Tabla 28. Estaciones donde se dirigen los materiales de la bodega #2.	127
Tabla 29. Cantidad Total de Materiales.	128

Tabla 30. Volumen que ocupa cada material en la bodega.....	134
Tabla 31. Volumen de zonas de almacenamiento disponible existentes en la bodega #1.	136
Tabla 32. Volumen de zonas de almacenamiento disponible existentes en la bodega #2.	136
Tabla 33. Clasificación ABC para cada material.	138
Tabla 34. Número de pallets y estanterías necesarias.....	140
Tabla 35. Material asignado en la bodega 1.	141
Tabla 36. Material asignado en la bodega 2.	141
Tabla 37. Detalle de la inversión de materiales para la bodega.....	145
Tabla 38. Descripción de las partes para la elaboración de la bota Patuca.	159
Tabla 39. Descripción de las actividades con sus respectivos pesos salientes.	161
Tabla 40. Tabla de Equivalencias.....	163
Tabla 41. Tabla de Relaciones.....	165
Tabla 42. Tabla Desde - Hacia.....	166
Tabla 43. Tabla Desde - Hacia triangular.	167
Tabla 44. Tabla de Distancias.....	169
Tabla 45. Tabla de Distancias triangular.....	170
Tabla 46. Tabla de Costos para las distancias recorridas por los operadores.....	172
Tabla 47. Tabla de Adyacencias.	173
Tabla 48. Tabla de Distancias SLP.	177
Tabla 49. Tabla de Costos para SLP.	178
Tabla 50. Tabla de Distancias para el algoritmo MÚLTIPLE.....	196
Tabla 51. Tabla de Costos para el algoritmo MÚLTIPLE.....	197
Tabla 52. Tabla Desde - Hacia AMPL.	198
Tabla 53. Tabla costos AMPL.	199
Tabla 54. Tabla costos flujo AMPL.....	200
Tabla 55. Tabla de Distancias AMPL.....	204
Tabla 56. Tabla de Costos AMPL.....	205
Tabla 57. Formato para el cálculo de tamaño de muestra.....	207
Tabla 58. Formato para los tiempos de cada una de las estaciones.	208
Tabla 59. Tamaño de muestra para cada una de las estaciones.....	209
Tabla 60. Tiempos de cada una de las estaciones en segundos.	210

LISTA DE ECUACIONES

Función objetivo basado en las distancias (2.1.6.2.1.1)	26
Función objetivo basado en adyacencias (2.1.6.2.1.2)	26
Valor Rel-Dist para BLOCPLAN (2.1.6.2.4.1)	28
Función objetido de PEM (2.1.6.2.6.1)	30
Restricción largo de departamentos de PEM (2.1.6.2.6.2)	30
Restricción ancho de departamentos de PEM (2.1.6.2.6.3)	30
Restricción área de departamentos de PEM (2.1.6.2.6.4)	31
Restricción de límite en el eje x de la instalación de PEM (2.1.6.2.6.5)	31
Restricción de límite en el eje y de la instalación de PEM (2.1.6.2.6.6)	31
Restricción que define las coordenadas x de los centroides de los departamentos de PEM (2.1.6.2.6.7)	31
Restricción que define las coordenadas y de los centroides de los departamentos de PEM (2.1.6.2.6.8)	31
Restricción para no sobreponer departamentos en el eje x de PEM (2.1.6.2.6.9)	31
Restricción para no sobreponer departamentos en el eje y de PEM (2.1.6.2.6.10)	31
Restricción para que no existan traslapes entre departamentos de PEM (2.1.6.2.6.11)	31
Restricción de no negatividad de PEM (2.1.6.2.6.12)	31
Restricción de no negatividad de PEM (2.1.6.2.6.13)	31
Restricción para asignar variables binarias de PEM (2.1.6.2.6.14)	31
Cálculo del tamaño de la muestra (2.1.9.2)	35
Prueba Chi Cuadrado (2.1.10.1.1)	37
Prueba Kolmogorov-Smirnov (2.1.10.2.1)	37
Cálculo del costo de manejo de materiales (3.5.1.1)	60
Eficiencia de la disposición (3.5.1.2)	62
Función objetido de PEM modificada (3.6.4.2)	88
Restricción para que las coordenadas este - oeste, estén separadas por lo que mide el largo de los departamentos de PEM modificada (3.6.4.3)	88
Restricción para que las coordenadas norte - sur, estén separadas por lo que mide el ancho de los departamentos de PEM modificada (3.6.4.4)	88
Restricción para que los departamentos estén dentro del límite de la longitud de la instalación de PEM modificada (3.6.4.5)	88

Restricción para que los departamentos estén dentro del límite del ancho de la instalación de PEM modificada (3.6.4.6)	89
Restricción que define las coordenadas x de los centroides de los departamentos de PEM modificada (3.6.4.7)	89
Restricción que define las coordenadas y de los centroides de los departamentos de PEM modificada (3.6.4.8)	89
Restricción para que no sobreponer departamentos en el eje x de PEM modificada (3.6.4.9)	89
Restricción para que no sobreponer departamentos en el eje y de PEM modificada (3.6.4.10)	89
Restricción para que no existan traslapes entre departamentos de PEM modificada (3.6.4.11)	89
Restricción de no negatividad de PEM modificada (3.6.4.12)	89
Restricción de no negatividad de PEM modificada (3.6.4.13)	89
Restricción para asignar variables binarias de PEM modificada (3.6.4.14)	89
Tamaño de muestra para muestras pequeñas (4.1.1)	102
Número de réplicas (4.2.1.2.1)	112
Desviación estándar para el número de réplicas (4.2.1.2.2)	113
Análisis Beneficio/Costo (4.6.1.1)	124
Cálculo de la Tasa de Interés (4.6.1.2)	124
Cálculo de Valor Presente (4.6.1.3)	125
Volumen de un cilindro (5.2.1)	133
Volumen total que ocupa el cuero (5.2.2)	133
Volumen de un cubo (5.2.3)	134
Cálculo de la cantidad de pallets y estanterías necesarias (5.3.1.1)	139

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El presente proyecto de tesis surgió como resultado de la necesidad de la empresa FAME S.A. en optimizar el flujo de materiales dentro de la línea de producción de calzado, al igual que mantener una adecuada asignación de materia prima en las estanterías de la bodega.

Se establecen diversas alternativas de diseños del *layout* de la planta, es decir utilizar algoritmos de mejoramiento de la instalación, utilizando como disposición inicial la actual planta de calzado; así como, un algoritmo de creación para establecer un nuevo diseño de *layout*, desde cero. Seguidamente, se analizan las propuestas de acuerdo a la ubicación asignada a cada una de las estaciones de trabajo, de tal manera que la disposición disminuya las distancias entre áreas que compartan flujo, para de esta forma reducir los tiempos asociados con el manejo de materiales, y eliminar actividades que no agregan valor al producto, los cuales se verían reflejados en la reducción de costos.

Posteriormente, se simula el comportamiento actual de la planta de calzado, para poder determinar la producción diaria para cada uno de los productos, e identificar situaciones a mejorar, como estaciones cuello de botella o las que tienen poca utilización. Asimismo, se simula el *layout* propuesto, para comparar los cambios y las mejoras que se producen, con respecto a la disposición actual.

Finalmente, dentro de la bodega de materia prima, que forma parte del proceso productivo en la planta de calzado, se encontró una gran cantidad de *ítems* que están desorganizados y son apilados uno encima de otro, por lo que se ordena el material otorgándole un lugar específico a los *ítems* de acuerdo al volumen que ocupan en la actualidad, colocando señalización en las zonas de almacenamiento para que no existan problemas al momento de ubicar la materia prima.

1.2 Descripción de la Empresa

FABRILFAME es una empresa del Grupo HOLDINGDINE, la cual tiene el objetivo de consolidar y fortalecer a la corporación mediante tres líneas de producción dedicadas a la elaboración de vestuario, equipo de *camping* y calzado. La empresa FAME S.A. se encarga de la producción de calzado, a través de una línea militar y de una línea civil. (FabrilFame S.A. 2011)

Dentro de la línea militar se destacan: botas de Selva (Patuca), zapatos de Charol, botas PVC Tiwintza, bota de Selva Marrón, zapato Cadete Charol.

En la línea civil se encuentran: botín Industrial Tractor *Cover C*, botín Collarín PVC, bota de Selva Escolar, Rebajado Ruso. (Salazar, 2012)

FAME brinda asesoramiento al cliente a través de la elaboración y diseño de tipos de calzado bajo pedido y especificaciones del consumidor, además la empresa ofrece un servicio de distribución, el cual se caracteriza en el envío del producto hacia donde el cliente lo disponga. FAME comercializa sus productos a instituciones militares a lo largo del país. (HOLDINGDINE S.A. 2011)

1.3 Antecedentes

Junto con la gerencia de FAME Calzado y a partir del seguimiento actual del flujo de material en la línea, se pudo identificar problemas en el tiempo total de producción, debido a que ciertas distancias que recorre el producto entre estaciones de trabajo son muy grandes, donde se generan largos viajes de traslado de materiales. Esto afectaría a la producción de la planta, ya que no se puede cumplir con el cronograma de entregas a los clientes, es decir que se producen demoras innecesarias, lo que conlleva a no alcanzar el estándar a manufacturar, causando que la empresa se vea afectada financieramente, y efectuar horas extras durante la

semana para alcanzar a elaborar todos los pedidos del cliente. En el Anexo 1 se muestra el *layout* de la planta de calzado, donde se describe el flujo de material.

También se pudo observar que dentro de la bodega de materia prima, existe un exceso y desorganización de los materiales que se manejan, ya que se apilan unos con otros y no se los ubica en un lugar específico. Esto ocasiona que el tiempo de traslado, (el cual es realizado por el operario que elabora el proceso de corte), de la materia prima hacia la línea de producción sea alto. Esta bodega forma parte del proceso productivo de calzado, ya que los empleados retiran de ésta diariamente el material necesario.

1.4 Justificación e Importancia

Después de establecer que los problemas más apremiantes se encuentran dentro de la distribución de estaciones en la planta de calzado, se pudo determinar que FAME Calzado no cuenta con datos actualizados de la línea de producción, la empresa no ha podido identificar con claridad los problemas que existen dentro de la planta.

Actualmente, la empresa busca un mejoramiento en la producción de calzado debido a la insatisfacción del cliente, basándose en una política de cero inventarios en proceso. Es decir que toda la materia prima que entra a la planta debe salir el mismo día hacia la bodega de producto terminado. Para esto se necesitan reducir los tiempos del flujo de material, ya que la distribución actual de la planta no permite optimizar el recorrido.

Dentro de la bodega de materia prima, FAME identificó problemas de demora con el reabastecimiento a la línea de producción por la desorganización para el manejo de materiales. Esto genera un retraso en la recolección de la materia prima que va hacia la producción, por lo que los operarios deben esperar o dirigirse ellos mismos a retirar el material, creando así pérdida de tiempo productivo.

Según los estándares de producción de la bota Patuca, y las ventas que se realizan anualmente, la empresa de calzado requiere elaborar 500 pares diarios de botas, lo cual no siempre se cumple. Por ejemplo, en el mes de Septiembre de 2011 la empresa de Calzado obtuvo un 80% de producto conforme, es decir, que para que la empresa logre elaborar el 100% de producto programado, se debe alcanzar una reducción de costos aumentando la productividad en base a la disminución del tiempo de producción.

Con esto, los principales beneficiados serían: los operarios, quienes debido a la mala distribución de la planta de producción, deben realizar varios movimientos y caminatas a lo largo de ella. Entonces si se reducen estas distancias, el traslado de los materiales serían menores y los operadores no necesitarían caminar largas distancia con el material en mano. También se beneficia la gerencia debido a que se generará un aumento de la producción y una reducción de costos, debido a la disminución de tiempos de caminata. Finalmente el cliente se verá favorecido, ya que obtendrá el producto en la fecha programada y si se necesita grandes cantidades del mismo, la empresa podrá responderle en un tiempo menor.

1.5 Objetivo General

Generar una propuesta de optimización de la línea de producción de calzado y bodega de materia prima, mediante la reubicación de estaciones de trabajo y rediseño del *layout* de bodega, para reducir el tiempo de transporte del material en proceso y alcanzar niveles de producción exigidos por el cliente.

1.6 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis cualitativo y cuantitativo del flujo de material a lo largo de la línea de producción de la planta de calzado.

- Proponer alternativas a la disposición actual, sobre la reubicación de estaciones de trabajo que reduzcan los costos basándose en el flujo de material y las distancias.
- Analizar el tiempo de fabricación del producto mediante una simulación de la planta actual y la propuesta.
- Agilizar el flujo de materiales de la bodega de materia prima con la línea de producción de calzado, mediante la organización y estandarización del material almacenado.
- Realizar un análisis costo beneficio para determinar y recomendar la mejor alternativa de *layout*.

1.7 Metodología

Para desarrollar la propuesta de rediseño de *layout* óptimo para el flujo de materiales dentro del proceso productivo de calzado se ejecutarán las siguientes etapas:

ETAPA I: Recolección de Datos.

- Se realizarán reuniones para la identificación de los factores críticos dentro del proceso. Esto se realizará con la ayuda de operarios, jefe de producción, y personal involucrado en el proceso.
- Levantar información del proceso productivo para la elaboración de calzado.
- Conocer el funcionamiento del manejo de materia prima en la bodega.
- Identificar problemas actuales en la línea de producción y bodega.
- Identificar los productos más representativos para la empresa, para poder realizar el estudio.

ETAPA II: Rediseño de la distribución de la planta.

- Para analizar el flujo de material actual de la línea de manera cuantitativa, se utilizará una tabla desde-hacia.
- El flujo de material se medirá de manera cualitativa con los valores de cercanía, mediante una tabla de relaciones.
- A partir del flujo de material analizado, se realizará el *layout* con la disposición actual de la planta.
- Determinar el espacio disponible, y el espacio requerido.
- Toma de datos del flujo de material que existe en cada estación.
- Propuesta de rediseño del *layout* actual de la línea de producción, en base a cuatro alternativas.
- Calcular la función objetivo y la eficiencia de cada una de las disposiciones propuestas.
- Análisis y recomendación de la mejor alternativa para la empresa de calzado.

ETAPA III: Simulación.

- Recolección de tiempos por cada estación de la planta.
- Simular el estado actual de la línea de producción.
- Análisis de medidas de desempeño obtenidas.
- Construir el modelo de simulación en base a la propuesta.
- Comparación de resultados entre la situación actual y la alternativa a proponer.
- Analizar la reducción de tiempos y la cantidad de producto terminado saliente.

ETAPA IV: Diseño del sistema de almacenado.

- Descripción de la bodega prima.
- Análisis de manejo de inventario y de productos almacenados.
- Identificación de los principales problemas.
- Determinación de espacio disponible, y volumen que ocupan los diferentes *ítems*.
- Propuesta de rediseño de la disposición física de la bodega de materia prima, utilizando el método ABC.
- Estandarización de la propuesta, mediante señalización en las estanterías.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN LITERARIA

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Análisis de Procesos.

2.1.1.1 *Diagramas de Flujo.*

Es una herramienta de planificación y análisis, que se utiliza mayormente para: definir los principales procesos de manufactura o servicios, estandarizar o localizar regiones de algún proceso que puedan ser mejoradas, y principalmente se lo emplea para construir una imagen etapa por etapa del conjunto de pasos para elaborar un producto para su respectivo análisis o con la finalidad de comunicación. (Chang et al. 1999, p. 49)

El diagrama de flujo se enfoca en una actividad específica, es por esto que constituye una representación más visual de un proceso. (Chang et al. 1999, p. 49)

La simbología que utiliza un diagrama de flujo de proceso se la puede observar en la figura 1.

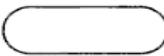
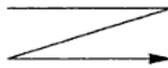
SÍMBOLO	NOMBRE	SIGNIFICADO
	Círculo alargado	Muestra los puntos inicial y final de un Diagrama de Flujo de Procesos.
	Cuadro	Cualquier tarea del proceso. Cada cuadro debería contener una breve descripción de la tarea que se está realizando.
	Diamante	Cualquier punto de decisión. Cada diamante debería contener una pregunta que deba ser contestada por sí o por no.
	Círculo (con letra)	Un pequeño círculo con una letra se utiliza para conectar una tarea de un diagrama de flujo a otro.
	Cuadro de base ondulada	Una transferencia (o salida) física de un documento.
	Flecha en zig-zag	Muestra una transferencia electrónica de información.
	Flecha recta	Muestra la dirección del flujo del proceso.

Figura 1. Simbología de los diagramas de flujo.

Fuente: Chang et al. 1999, p. 51.

2.1.1.2 Análisis de Valor de Procesos.

Se refiere a una herramienta, que de manera sistemática, identifica las actividades que no agregan valor al producto final elaborado, y con su respectiva eliminación, reduce el costo de manufacturar el mismo. (Análisis de Valor de un proceso, 2012)

En el diagrama se describe el proceso a realizar, y el número de actividades necesarias para efectuarlo por parte del operario, donde se indica los tiempos de proceso, demora y las distancias de los transportes para cada evento a ejecutar. (Niegel, 2007 p.35)

Un ejemplo del diagrama se describe en la figura 2.

#	Actividades	○	□	➡	◐	Tiempo (min.)
1	Lavar y sanear las marmitas.		●			240
2	Lavar y sanear los filtros.		●			120
3	Lavar y sanear tanques.		●			60
4	Introducir el azúcar en las marmitas manualmente.			●		90
5	Llenar la marmita con agua tratada.			●		10
6	Introducir carbón activado y ayuda filtro.			●		5
7	Cocinar la solución de la marmita (82° C).	●				30
8	Introducir ayuda filtro.			●		10
9	Recircular para formar la <u>precapa</u> .	●				30
10	Realizar una bebida patrón y analizarla.			●		20
11	Verificar aseguramiento de calidad si existe alguna falla.				●	

Figura 2. Ejemplo del análisis de valor de procesos.

Elaboración propia para la clase de Ingeniería Industrial, USFQ, primer semestre 08-09.

Para esto, se utiliza la siguiente simbología donde se identifican las diferentes operaciones.

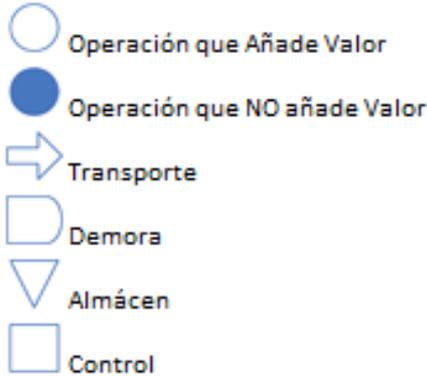


Figura 3. Simbología del Análisis de Valor de Procesos.

Fuente: Análisis de valor de un proceso, 2012.

2.1.1.3 Cadena de Valor.

La cadena de valor es una herramienta para identificar fuentes de generación de valor para los clientes. Cada empresa realiza una serie de actividades para entregar un producto o servicio. La cadena de valor identifica nueve actividades estratégicas dentro de una empresa,

estas se dividen en cinco primarias y cuatro de apoyo, esto permite encontrar las fuentes de ventaja competitiva. (Osorio)

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la cadena de valor.

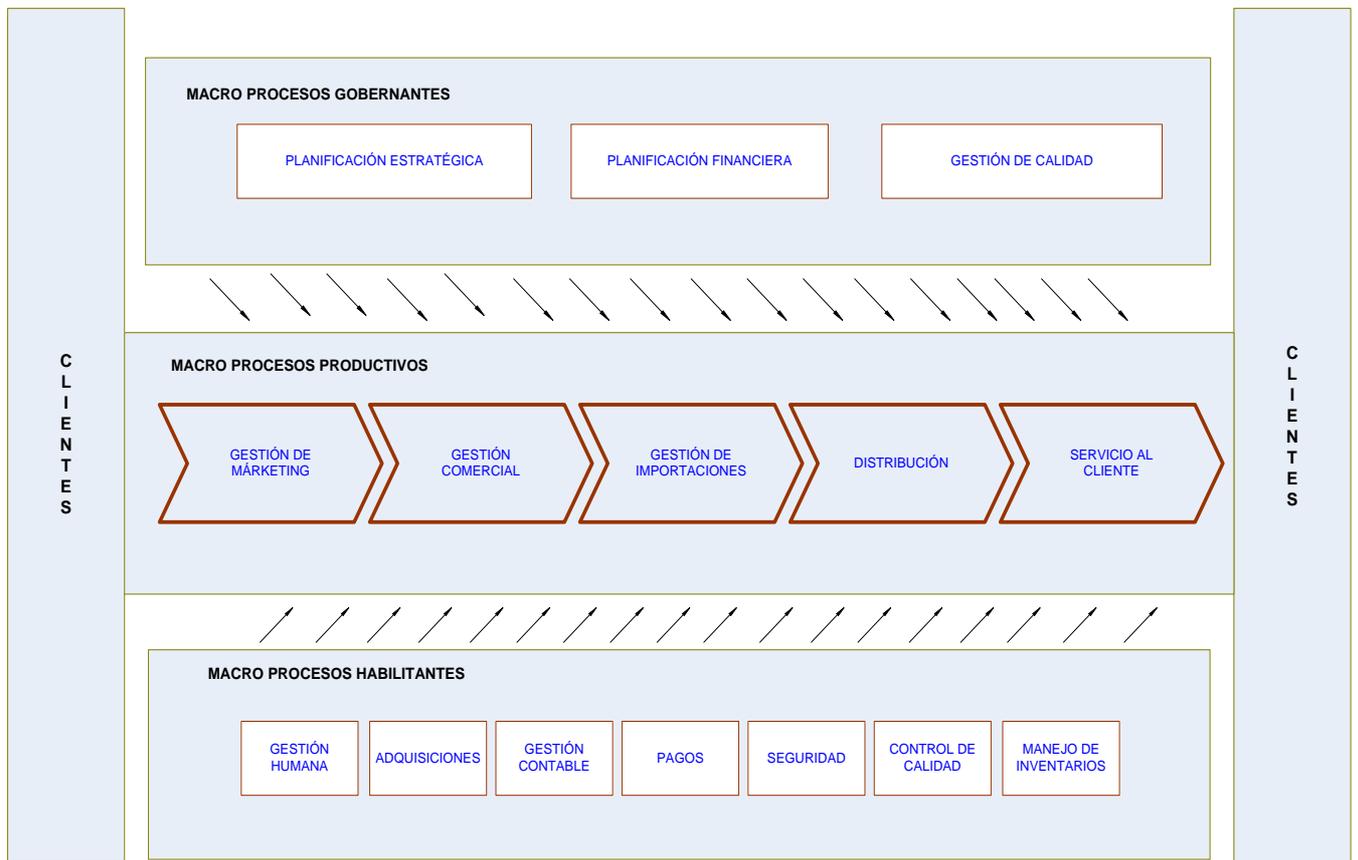


Figura 4. Cadena de Valor.

Elaboración propia para la clase de Gerencia de Servicios, USFQ, primer semestre 10-11.

2.1.1.3.1 Macro Procesos Gobernantes.

Los macro procesos Gobernantes, relacionan a la organización con su entorno; definen sus políticas y estrategias siempre alineadas a la misión, visión y valores. Son de carácter global y atraviesan transversalmente toda la organización, relacionándose a las áreas organizativo-administrativo, de mejora continua, dirección y planificación estratégica.

(Osorio)

2.1.1.3.2 Macro Procesos Productivos.

Los procesos Productivos son una secuencia de actividades requeridas para elaborar un producto. Generalmente existen varios caminos que se pueden tomar la fabricación del mismo, ya sea éste un bien o un servicio. Pero la selección cuidadosa de cada uno de sus pasos y la secuencia de ellos, ayudarán a lograr los principales objetivos de producción los cuales son: costos, calidad, confiabilidad y flexibilidad. (Osorio)

2.1.1.3.3 Macro Procesos Habilitantes.

Los procesos habilitantes son aquellos que permiten controlar y coordinar la gestión de apoyo a fin de cumplir con lo establecido en los planes, programas y proyectos estratégicos, tácticos y operativos. (Osorio)

2.1.2 Herramientas de la Calidad.

2.1.2.1 Diagrama de Causa y Efecto.

Es llamado también diagrama de espina de pescado o Ishikawa, éste último en honor a su creador el Doctor Kaouri Ishikawa. Es utilizado para detectar problemas de calidad a lo largo del proceso de producción. Este diagrama ilustra las distintas fuentes u orígenes de disconformidades en los productos y sus interrelaciones. Al momento de desarrollar de manera clara un diagrama de causa y efecto, se puede mejorar la percepción global del problema. (Montgomery, p. 126)

El diagrama se enfoca en las tres principales fuentes de disconformidades: materiales, operadores y equipo. Además, se puede organizar el diagrama según el flujo de materiales que existe a lo largo del proceso. (Montgomery, P.130)

Un esquema del diagrama de causa y efecto se lo puede observar en la figura 5.

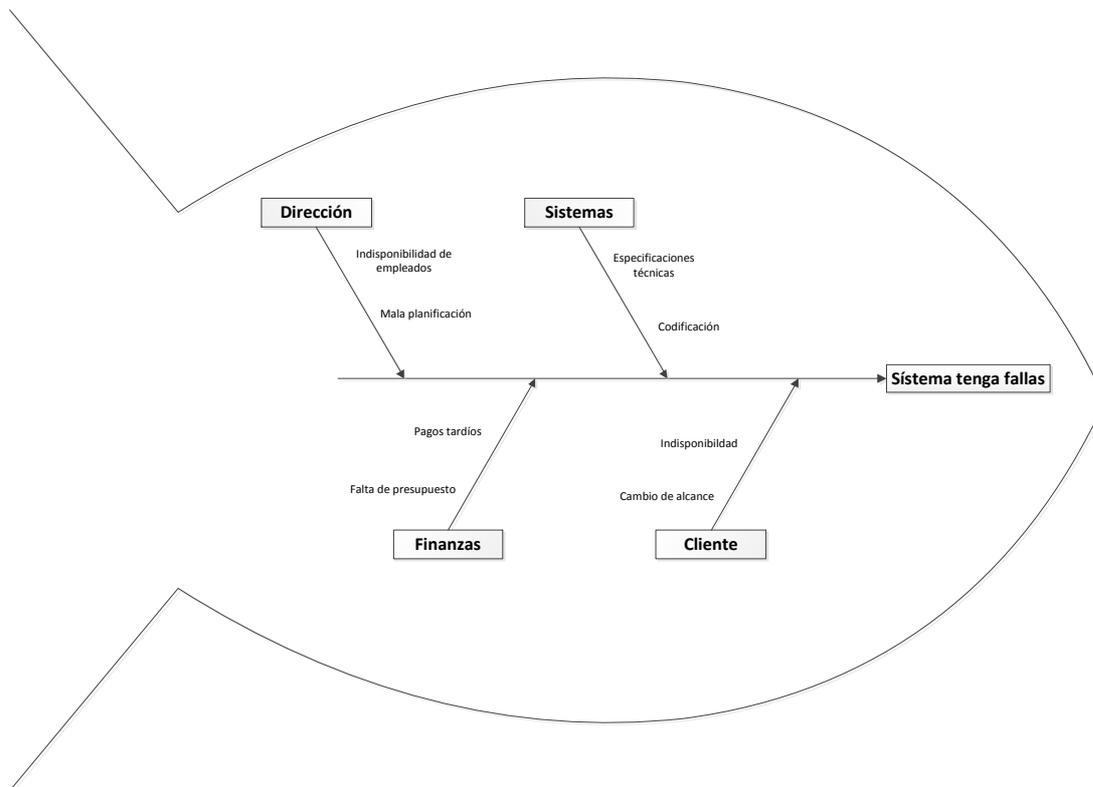


Figura 5. Diagrama de Causa y Efecto.

Elaboración propia para la clase de Proyectos, USFQ, primer semestre 11-12.

2.1.2.2 Análisis de Pareto.

El principio de Pareto es también conocido como la regla del 80-20 y recibe este nombre en honor a Vilfredo Pareto, quien lo enunció por primera vez. La técnica Pareto se utiliza para explicar la concentración de la riqueza en áreas con problemas. En el análisis se crea una distribución acumulada de los artículos de interés. Generalmente el 20% de los artículos representan el 80% de la producción total, es por esto que la técnica también se conoce como regla 80-20. A partir de éste análisis Pareto, el observador concentra sus esfuerzos en unos cuantos trabajos que producen casi todos los problemas. La distribución de Pareto se puede transformar en una línea recta utilizando la transformación lognormal, con esto se puede realizar un análisis cuantitativo más profundo. (Niebel 2007, p. 23-24)

Un ejemplo del diagrama de Pareto se lo puede observar en la figura 6.

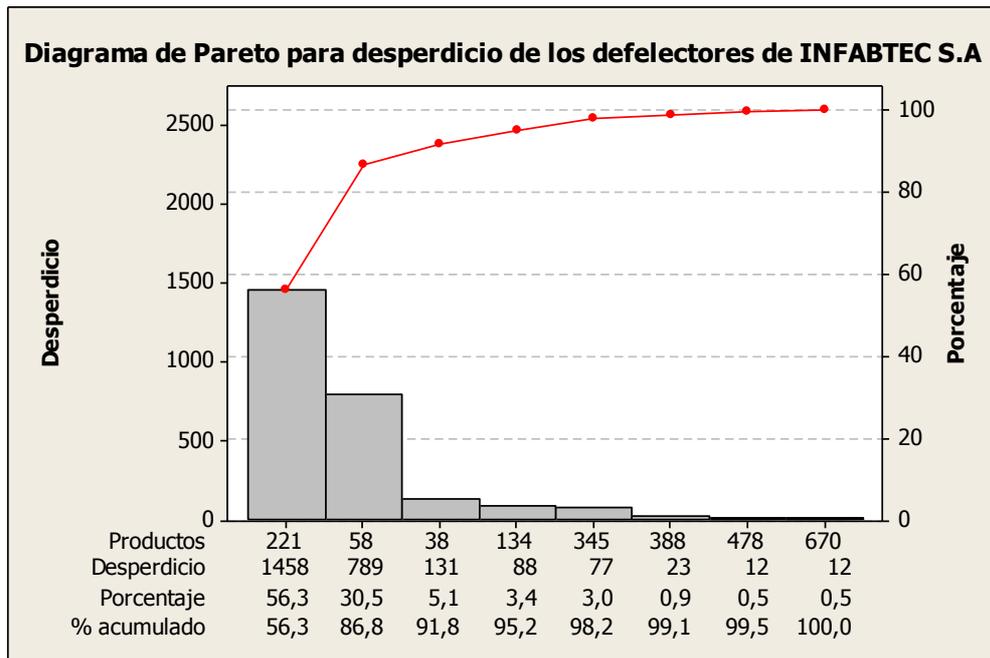


Figura 6. Diagrama de Pareto.

Elaboración propia, clase Calidad Total, USFQ, segundo semestre 09-10.

2.1.3 Tipos de Sistemas de Producción.

Se clasifican de acuerdo a la distribución física de las máquinas y departamentos dentro de las plantas de manufactura. El tipo de sistema de producción a utilizar por parte de las empresas, varía dependiendo del número de productos que una compañía disponga, como: tipos de pedidos, el volumen de ventas, la cantidad de demanda, la duración de la producción, entre otras. Existen cuatro categorías principales dentro de estos sistemas: la producción de taller, por lotes, en masa y la manufactura celular. (Sule 2001, p. 145)

2.1.3.1 Producción de Taller.

Este tipo de sistema de producción aplica a compañías que tengan el enfoque de elaborar una gran cantidad de productos a un volumen limitado, es decir que se fabrican de acuerdo a las especificaciones que requiera el cliente. Para esto, la empresa requiere contar con operarios altamente capacitados, debido a la existencia de una gran diversidad de

herramientas y accesorios que deben manipular, lo que implica incurrir a una mayor cantidad de gastos. (Sule 2001, p. 146)

2.1.3.2 Producción por Lotes.

Este sistema se debe utilizar por parte de empresas que requieran producir una mayor cantidad de artículos, sin contar con una gran variedad de los mismos. La demanda de los productos fabricados por lotes debe de ser estable y continua, además que la planta debe contar con una gran capacidad de elaboración de artículos para agruparlos por lotes. (Sule 2001, p. 146)

2.1.3.3 Producción Masiva.

Se lo utiliza para producir una gran cantidad de volumen y usualmente para empresas que requieran fabricar un solo producto. El contenido de trabajo se fracciona en grupos pequeños para lograr una mayor eficiencia, ya que se minimizan las capacidades requeridas para las tareas necesarias por operario. En éste sistema se obtiene una muy alta productividad, debido en gran parte a la automatización de la planta. (Sule 2001, p. 146)

2.1.3.4 Sistemas Pull y Push.

El sistema *pull* se basa en producir una cantidad determinada de artículos, bajo pedido por parte del cliente final. Es decir, se inicia al momento que el consumidor envía una solicitud por algún producto, por lo que el stock de materia prima y de producto acabado en función de la demanda real. En cambio, en el sistema *push* los productos son fabricados en base a pronósticos de la demanda. (Fernández 2006, p. 109)

2.1.3.5 Celdas de Manufactura.

Es un conjunto de estaciones de trabajo, que funcionan de manera coordinada para la elaboración de una serie de productos. Los tipos de celdas de manufactura más importantes son: las flexibles y las que tienen forma en “U”. (Meyers et al. 2006)

Las celdas de manufactura flexibles son las que se acoplan a importantes cambios en la demanda, ya que existe la necesidad por parte del cliente de acceder a una mayor variedad de productos, lo que implica poseer flexibilidad en las operaciones de la empresa para ajustar la producción a lo que necesita el consumidor. (Meyers et al. 2006)

Las celdas de manufactura en forma de “U” son un método de fabricación en la cual las partes son procesadas en un flujo continuo. Tienen la forma en U para integrar las máquinas, personal, herramientas y materiales, en la cual transite una sola pieza y poder fabricar una familia de productos por celda a través de la tecnología de grupo. (Meyers et al. 2006)

Debido a su forma, los operadores pueden ayudarse o cooperar cuando ocurran retrasos, donde todos son responsables por la celda y todos deben ser poli funcionales, es decir que tengan la habilidad de realizar una diversidad de operaciones. (Meyers et al. 2006)

2.1.3.6 Tecnología de Grupos.

La Tecnología de Grupos se la utiliza para agrupar partes o productos con características parecidas, en celdas de manufactura, con una forma única dependiendo del trabajo a realizar. El principal objetivo es identificar un conjunto de productos que tengan similares requisitos para su producción, para de esta forma preparar o ajustar de manera mínima las máquinas para poder llegar a fabricar una mayor cantidad de productos en un menor tiempo. (Meyers et al. 2006)

Es importante tomar en cuenta la manera en la que se determina las celdas de fabricación. Esto quiere decir que la producción se puede separar por familias de productos o de tecnología de grupos. Una de las maneras en la que se puede realizar esta agrupación es la fabricación celular, que implica emplear celdas de manufactura, las cuales se pueden formar de diversas maneras, donde la más popular representa agrupar máquinas, empleados, materiales, herramientas y equipo de almacenamiento para producir familias de partes. (Tompkins et al. 2006, p. 83)

2.1.4 Flujo de Materiales.

El flujo depende de los tamaños de los lotes, los tamaños de las cargas unitarias, el equipo y las estrategias de manejo de materiales, la disposición y la configuración del edificio. (Tompkins et al. 2006, p. 79)

2.1.4.1 Patrones de Flujo.

Los patrones de flujo se pueden considerar dentro de las estaciones de trabajo, dentro de los departamentos y entre ellos. (Tompkins et al. 2006, p. 98)

2.1.4.1.1 Flujo dentro de las estaciones de trabajo.

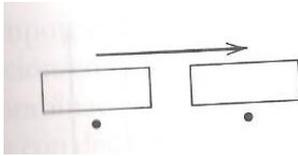
Los estudios de movimientos y las consideraciones ergonómicas son importantes al establecer el flujo dentro de las estaciones de trabajo. Estos deben ser simultáneos, simétricos, naturales, técnicos y habituales. (Tompkins et al. 2006, p. 98)

2.1.4.1.2 Flujo dentro de los departamentos.

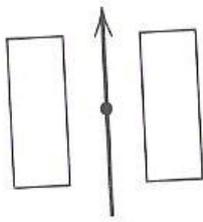
El patrón de flujo dentro de los departamentos depende del tipo de producción que se utiliza, por productos o por familia de producto. Existen tres patrones de flujo que se pueden

dar, éstos son uno tras otro (a), uno frente al otro (b), y de ángulo irregular (c). Estos se muestran en la siguiente imagen. (Tompkins et al. 2006, p. 99)

a)



b)



c)

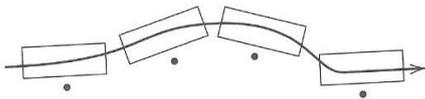


Figura 7. Flujo dentro de los departamentos.

Fuente: Tompkins et al, 2006, p.99.

Uno tras otro, comprenden departamentos por productos en donde un operario trabaja en cada estación de trabajo. Los frente a frente se usan en donde un operario atiende dos estaciones de trabajo y por otro lado, los circulares se emplean cuando un operario tiene actividades en más de dos estaciones de trabajo. (Tompkins et al. 2006, p. 100)

2.1.4.2 Planificación del Flujo.

El flujo eficaz dentro de una estación de trabajo implica el movimiento progresivo de los materiales, la información, o las personas de un extremo a otro de la estación de trabajo.

(Tompkins et al. 2006, p. 101)

La planificación de éste requiere analizar los esquemas y los principios de flujo. Para minimizar el flujo de materiales se debe realizar una simplificación del trabajo, donde se tomarán en cuenta los siguientes factores: (Tompkins et al. 2006, p. 101)

- Planificar la entrega de materiales, información, o personas directamente al punto de uso final y eliminar los pasos intermedios.
- Planificar que el flujo entre dos puntos de uso consecutivos ocurra en la menor cantidad posible de movimientos.
- Combinar, cuando sea posible, los flujos y las operaciones al planificar el movimiento de los materiales, información, o las personas que van a interactuar con un paso del proceso.

Para minimizar los costos del flujo se consideran las siguientes perspectivas:

- Minimizar el desplazamiento, las distancias de viaje manuales y los movimientos.
- Eliminar el manejo manual al mecanizar o automatizar el flujo para permitir que los trabajadores dediquen todo su tiempo a tareas asignadas. (Tompkins et al. 2006, p. 102)

2.1.4.3 Medición del Flujo.

Para evaluar las disposiciones alternas debe establecerse una medida de flujo, los cuales se pueden especificar de una manera cualitativa o cuantitativa. (Tompkins et al. 2006, p. 103)

2.1.4.4 Relaciones de las Actividades.

Las relaciones de actividades aportan a la toma de decisiones dentro del proceso de planificación de instalaciones. Estas se definen mediante el flujo de material existente, el personal y los movimientos que realiza, las consideraciones ambientales, la estructura organizacional, la metodología de mejoramiento continuo, los aspectos de control y los

requerimientos de proceso. Las relaciones se pueden expresar tanto de manera cuantitativa, como cualitativa. (Tompkins et al. 2006, p. 93)

Las relaciones de flujo son muy importantes dentro de la planificación, debido a que toma en cuenta el movimiento de artículos, materiales, energía, información y personas. (Tompkins et al. 2006, p. 93)

2.1.4.4.1 Medición cuantitativa del flujo.

Los flujos se miden de manera cuantitativa en términos de piezas, *ítems*, pesos, volumen, o la cantidad de material trasladado entre los departamentos. Para registrar estos flujos se utiliza una tabla desde-hacia, como se muestra en la tabla 1. Se trata de una matriz cuadrada, donde se listan los departamentos hacia abajo en las filas y a lo largo de las columnas. Los valores a utilizar dentro de la tabla son unidades comunes que representan el flujo equivalente que transita entre áreas. (Tompkins et al. 2006, p. 104)

Tabla 1. Tabla desde-hacia.

	DESDE/HACIA	SALA DE CONFERENCIAS	PRESIDENTE	VENTAS	PERSONAL	GERENTE DE PLANTA	OFICINA DE INGENIERÍA	SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN	OFICINA DEL CONTROLADOR	ADQUISICIONES	RECEPCIÓN
1	SALA DE CONFERENCIAS	-	0	0	0	0	0	0	13	12	0
2	PRESIDENTE	-	-	0	0	0	0	0	9	9	0
3	VENTAS	-	-	-	0	0	0	0	4	4	0
4	PERSONAL	-	-	-	-	0	0	0	5	6	0
5	GERENTE DE PLANTA	-	-	-	-	-	0	0	15	18	0
6	OFICINA DE INGENIERÍA	-	-	-	-	-	-	0	5	3	0
7	SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN	-	-	-	-	-	-	-	0	8	0
8	OFICINA DEL CONTROLADOR	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
9	ADQUISICIONES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
10	RECEPCIÓN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaboración propia, trabajo en clase de Planeación de Plantas Industriales, USFQ, segundo semestre 10-11.

Tabla 3. Significado de cada código en la tabla de relaciones.

CÓDIGO	RAZÓN
1	Frecuencia de uso alta
2	Frecuencia de uso mediana
3	Frecuencia de uso baja
4	Flujo de información alto
5	Flujo de información mediano
6	Flujo de información bajo

Fuente: Tompkins et al. 2006, p. 107.

Tabla 4. Valor vs Cercanía en la tabla de relaciones.

VALOR	CERCANÍA
A	Absolutamente necesaria
E	Muy importante
I	Importante
O	Está bien una cercanía normal
U	No es importante
X	No es conveniente

Fuente: Tompkins et al. 2006, p. 107.

2.1.5 Manejo De Materiales.

Se refiere al traslado de los *ítems*, materia prima, inventario en proceso y productos terminados de forma periódica, de un lugar a otro. Por esto, es un proceso que no añade valor al producto y debería en lo posible eliminarse. (Meyers et al. 2006, p.307)

Esta actividad es de gran importancia para el diseño de una planta, ya que representa entre el 15 y 70% del costo total de un producto fabricado. Lo ideal sería eliminar por completo las actividades que involucren el transporte de materia prima, aunque en la mayoría de casos se espera reducir la cantidad de manejo de materiales dentro de la institución, ya que esta actividad agrega poco valor al producto y representa un costo importante para la empresa. Con esto, la organización debe asegurarse que los inventarios, productos terminados y suministros sean desplazados de manera periódica de un lugar a otro. (Tompkins et al. 2006, p. 163)

Para el manejo de materiales, se han determinado un grupo de principios que sirven como guía en la creación de un sistema de diseño alternativo, éstos son:

- Planificación
- Estandarización
- Trabajo
- Ergonómico
- Carga Unitaria
- Utilización de Espacio
- Sistema
- Automatización
- Ambiental
- Costo del Ciclo de Vida. (Tompkins et al. 2006, p. 167)

2.1.5.1 Carga Unitaria.

Una carga unitaria se define como un solo artículo, varios artículos o material a granel organizados de manera que se pueda almacenar y mover entre dos lugares como una sola masa. El tamaño de ésta puede variar de una sola pieza, a una o varias cajas de cartón, a varios contenedores, o por varios barcos. (Tompkins et al. 2006, p. 174)

La capacidad de la carga unitaria afecta de gran manera a la especificación y operación del sistema de manejo de materiales. Las de gran tamaño necesitan de equipos más grandes, pasillos más anchos y aumentan el inventario de trabajo en proceso. Las pequeñas pueden reducir el inventario en proceso, pero amplían los requerimientos de transporte. (Tompkins et al. 2006, p. 174)

2.1.6 Procedimientos para la Disposición de Instalaciones.

Los procedimientos para la disposición de una planta se clasifican en dos categorías principales: de construcción, la que se refiere a desarrollar una instalación nueva desde cero, y de mejoramiento, en la que se generan alternativas de *layouts*, en base a una ya existente. (Tompkins et al. 2006, p. 301)

2.1.6.1 Procedimiento de Planificación Sistemática de la Disposición (SLP).

La estructura del procedimiento SLP se puede observar en la figura 8, donde puede emplearse tanto para construir como para mejorar una instalación, y utiliza como base el diagrama de relaciones, el mismo que se definió en la sección 2.1.4.4.2, con el cual se ubican las actividades en el espacio, y se conectan las áreas que compartan flujo entre ellas, mediante líneas de diferente grosor, donde a mayor flujo, se genera una línea más acentuada. Luego, se procede a sobreponer el diagrama de relaciones mediante la superficie que ocupen los departamentos de manera real, obteniendo el espacio disponible para la instalación. La metodología SLP se puede utilizar de forma secuencial para desarrollar primeramente una disposición en bloques, es decir efectuar una planta desde cero, y después establecer una estructura detallada de cada área de la organización. (Tompkins et al. 2006, p. 309)

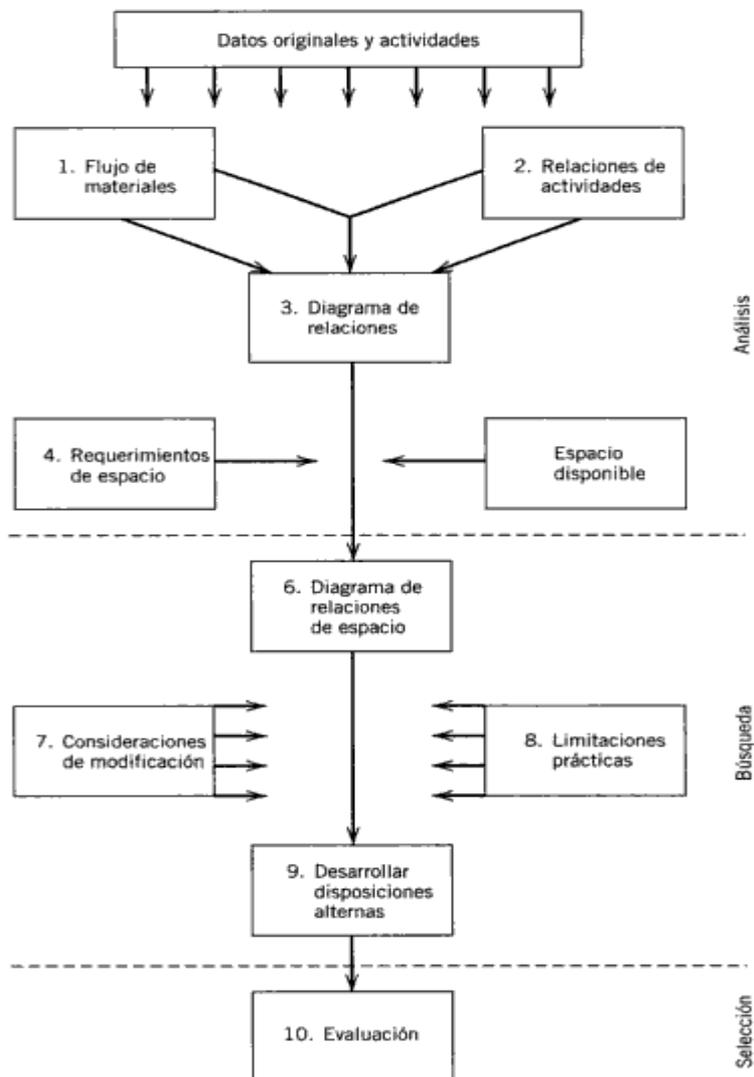


Figura 8. Procedimiento SLP.

Fuente: Tompkins et al. 2006, p. 306.

2.1.6.2 Modelos de Optimización.

Son aquellos en los que existe un conjunto de variables de decisión que requieren maximizar o minimizar una función objetivo, vinculadas a un número de restricciones. Los modelos de programación lineal son más utilizados que los demás tipos de optimización, debido a que son los que más se adaptan a situaciones que ocurren en la vida cotidiana.

(Ramos et al. 2010)

2.1.6.2.1 Enfoques Algorítmicos.

Los algoritmos de disposición se clasifican de acuerdo a la meta de sus funciones objetivo, de los cuáles existen dos principales: el primero pretende minimizar la suma de los flujos por las distancias, y el segundo procura maximizar una calificación de adyacencia, es decir los departamentos que comparten una orilla, los cuales se describen a continuación.

(Tompkins et al. 2006, p. 311)

- Función objetivo basado en las distancias:

$$\text{minimizar } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} c_{ij} d_{ij} \quad (2.1.6.2.1.1)$$

Siendo:

f_{ij} es el flujo del departamento i al j .

c_{ij} es el costo del departamento i al j .

d_{ij} es la distancia del departamento i al j . (Tompkins et al. 2006, p. 311)

- Función objetivo basado en adyacencias:

$$\text{maximizar } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} x_{ij} \quad (2.1.6.2.1.2)$$

Siendo:

f_{ij} es el flujo del departamento i al j .

x_{ij} es una variable binaria, es decir únicamente puede tomar los valores 0 y 1.

Donde se asigna un valor igual a uno si los departamentos comparten una orilla, lo que quiere decir que sean adyacentes. (Tompkins et al. 2006, p. 312)

Además, los algoritmos de disposición se clasifican de acuerdo con el formato que utilicen para representar dicha disposición. Existen dos tipos de representaciones: la discreta, es aquella que permite a la computadora guardar y manipular la disposición como una matriz, ya que el área de cada departamento se lo puede aproximar al número entero de cuadros más

cercano, y la alternativa que se refiere a la representación continua, donde no existe una estructura de cuadros subyacente. (Tompkins et al. 2006, p. 313)

2.1.6.2.2 Método del Intercambio Pareado.

Este procedimiento es un algoritmo de disposición para el mejoramiento, es decir para un *layout* existente, y se lo puede utilizar con una función objetivo basada tanto en las distancias como en la adyacencia, definidas en la sección 2.1.6.2.1. Implica hacer una evaluación de los intercambios factibles entre pares de departamentos, a través de la estimación del costo basado en las distancias para el *layout*. (Reed, 1961)

2.1.6.2.3 Método CRAFT.

Es un algoritmo de disposición para mejoramiento, es decir que se necesita inicialmente contar con una instalación inicial, y los intercambios entre departamentos son en dos sentidos, es decir pareados. Emplea una tabla desde-hacia como datos originales para el flujo, y el costo se mide a través de la función objetivo basada en las distancias. (Buffa et. al, 1964)

La representación de los departamentos se la realiza en forma discreta, por lo que no existen restricciones de forma. Se basa en la estimación del mejor intercambio en dos o tres direcciones, de tal forma que se reduzca el costo en mayor cantidad. CRAFT considera intercambios solamente de departamentos adyacentes, es decir que se encuentren juntos, o que sean del mismo tamaño. (Buffa et. al, 1964)

2.1.6.2.4 BLOCPLAN.

Este algoritmo, emplea una tabla de relaciones al igual que una tabla desde-hacia como datos iniciales. El costo se mide mediante el objetivo basado en las distancias o el objetivo basado en la adyacencia, descritos en la sección 2.1.6.2.1. De igual forma,

BLOCPLAN determina la cantidad de bandas para la disposición, la cual se ve limitada a dos o tres bandas, donde el ancho de la misma varía dependiendo de la cantidad de departamentos, dividiendo el área total para la longitud de la instalación. (Donaghey et. al, 1990)

Cada departamento ocupa exactamente una banda, y todos tienen forma rectangular. Puede utilizarse como un algoritmo para construcción como uno de mejoramiento.

BLOCPLAN también calcula un valor de *Rel-Dist* para la disposición, es decir los valores numéricos de las calificaciones de cercanía (f_{ij}) se multiplican por las distancias rectilíneas entre los centroides de los departamentos (d_{ij}), el cual genera un costo para la disposición mediante la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} d_{ij} \quad (2.1.6.2.4.1)$$

(Donaghey et. al, 1990)

2.1.6.2.5 MÚLTIPLE.

Este algoritmo fue desarrollado de manera inicial para instalaciones con varios pisos, pero con el transcurso del tiempo, se lo pudo implementar en plantas con un solo piso simplemente haciendo que éste número sea igual a uno. MÚLTIPLE utiliza una tabla desdada hacia como datos originales para el flujo, y la función objetivo se basa en las distancias, detallada en la sección 2.1.6.2.1, las cuales son medidas en forma rectilínea entre los centroides de los departamentos. (Tompkins et al. 2006, p. 344)

Asimismo, es un algoritmo de mejoramiento, el cual empieza con una disposición inicial previamente especificada y en donde los departamentos no están limitados a formas rectangulares. De igual forma, implementa un método de intercambio pareado, el cual no está restringido a que los intercambios sean entre departamentos adyacentes. (Bozer et. al, 1994)

Esta metodología requiere de las denominadas “curvas para llenar el espacio”, las que se basan primeramente en cuadricular el *layout* de la instalación y trazar una línea que cruza cada cuadrado de la misma exactamente una vez. La más conocida es la curva de Hilbert, la cual es utilizada para ubicar las estaciones una a continuación de otra, a través de una secuencia de llenado y el área que ocupan cada uno de los departamentos. (Hobson, 1950)

Un ejemplo de la curva de Hilbert se muestra en la siguiente figura.

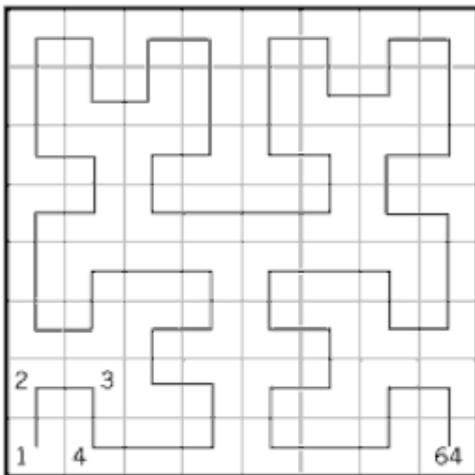


Figura 9. Curva de Hilbert para algoritmo MÚLTIPLE.
Fuente: Tompkins et al. 2006, p. 345.

2.1.6.2.6 Programación entera mixta (PEM).

La disposición de una instalación, puede ser representada a través de un modelo de un problema de PEM, siempre y cuando todos los departamentos sean rectangulares. Es un método que se utiliza mayormente para la creación de *layouts* desde cero. Este algoritmo emplea la función objetivo basada en las distancias, definida en la sección 2.1.6.2.1, y las dimensiones de los departamentos son tratadas como variables de decisión. Los parámetros, variables de decisión y el modelo se presentan a continuación. (Montreuil, 1990)

Parámetros del problema:

B_x = Longitud de la planta, a través de la coordenada x .

B_y = Ancho de la planta, a través de la coordenada y .

A_i = Área del departamento i .

L_i^l = Límite inferior de la longitud del departamento i .

L_i^u = Límite superior de la longitud del departamento i .

W_i^l = Límite inferior de la anchura del departamento i .

W_i^u = Límite superior de la anchura del departamento i .

M = es un número muy grande. (Montreuil, 1990)

Variables de Decisión:

α_i = Coordenada x del centroide del departamento i .

β_i = Coordenada y del centroide del departamento i .

x_i' = Es la coordenada x del lado izquierdo (oeste) del departamento i .

x_i'' = Es la coordenada x del lado derecho (este) del departamento i .

y_i' = Es la coordenada y de la parte inferior (sur) del departamento i .

y_i'' = Es la coordenada y de la parte superior (norte) del departamento i .

z_{ij}^x = Es igual a 1 si el departamento i está estrictamente al este del departamento j y 0

de lo contrario.

z_{ij}^y = Es igual a 1 si el departamento i está estrictamente al norte del departamento j , y

0 de lo contrario. (Montreuil, 1990)

El modelo:

$$\text{Min } z = \sum_i \sum_j f_{ij} c_{ij} (|\alpha_i - \alpha_j| + |\beta_i - \beta_j|) \quad (2.1.6.2.6.1)$$

Sujeto a:

$$L_i^l \leq (x_i'' - x_i') \leq L_i^u \quad \text{para toda } i \quad (2.1.6.2.6.2)$$

$$W_i^l \leq (y_i'' - y_i') \leq W_i^u \quad \text{para toda } i \quad (2.1.6.2.6.3)$$

$$(x_i'' - x_i')(y_i'' - y_i') = A_i \text{ para toda } i \quad (2.1.6.2.6.4)$$

$$0 \leq x_i' \leq x_i'' \leq B_x \text{ para toda } i \quad (2.1.6.2.6.5)$$

$$0 \leq y_i' \leq y_i'' \leq B_y \text{ para toda } i \quad (2.1.6.2.6.6)$$

$$\alpha_i = 0.5x_i' + 0.5x_i'' \text{ para toda } i \quad (2.1.6.2.6.7)$$

$$\beta_i = 0.5y_i' + 0.5y_i'' \text{ para toda } i \quad (2.1.6.2.6.8)$$

$$x_i'' \leq x_i' + M(1 - z_{ij}^x) \text{ para todas } i \text{ y } j, i \neq j \quad (2.1.6.2.6.9)$$

$$y_i'' \leq y_i' + M(1 - z_{ij}^y) \text{ para todas } i \text{ y } j, i \neq j \quad (2.1.6.2.6.10)$$

$$z_{ij}^x + z_{ji}^x + z_{ij}^y + z_{ji}^y \geq 1 \text{ para todas } i \text{ y } j, i < j \quad (2.1.6.2.6.11)$$

$$\alpha_i, \beta_i \geq 0 \text{ para toda } i \quad (2.1.6.2.6.12)$$

$$x_i', x_i'', y_i', y_i'' \geq 0 \text{ para toda } i \quad (2.1.6.2.6.13)$$

$$z_{ij}^x, z_{ij}^y \text{ binarios para todas } i \text{ y } j, i \neq j \quad (2.1.6.2.6.14)$$

(Montreuil, 1990)

2.1.7 Inventarios.

Los inventarios existen en el sistema como artículos físicos y como artículos que figuran en los registros. Hay muchas razones para constituir y mantener los inventarios, y éstos pueden desempeñar diversidad de papeles en la vida de cada organización, ya que son necesarios debido a que pueden haber cambios bruscos en la demanda en cualquier momento, y porque puede existir una inestabilidad por parte de los proveedores de materia prima al no cumplir con los tiempos establecidos de entregas. (Muller, 2004)

Con el fin de controlar y manejar los artículos que entran, pasan por y salen de las instalaciones, es importante entender no sólo dónde se encuentran físicamente determinado artículo en un momento dado, sino también de qué manera se reconoce su existencia dentro del sistema. (Muller, 2004)

2.1.7.1 Costos de Inventario.

Para poder analizar a profundidad los inventarios dentro de una bodega de almacenamiento, se deben analizar todos los costos que implican su mantenimiento. (Elwood et. al, 1981, p. 76-77)

Existen costos de manejo y almacenaje de material, éstos varían directamente con el tamaño de los inventarios. Hay costos para colocar materiales dentro del inventario y para sacarlos. Dentro del inventario también se consideran los costos de mantenerlo, esto se refiere a los costos por seguros, impuestos, renta, obsolescencia, deterioro, entre otros. (Elwood et. al, 1981, p. 76-77)

También hay que tomar en cuenta los costos que produce la escasez del producto o de materia prima. Finalmente, existe un costo de capital. Este, se refiere al invertido en inventarios y aumenta proporcionalmente con el mismo, al cual se le asigna un costo de oportunidad, que se refiere a realizar una inversión, como poner el dinero en el banco para producir, en vez de tenerlo comprometido en inventario. (Elwood et. al, 1981, p. 76-77)

Se debe tener un sistema de conteo de inventarios para poder determinar la cantidad de materia prima existente en la bodega, y no realizar abastecimientos innecesarios de *ítems*, para que no se produzca una acumulación de materiales. (Elwood et. al, 1981, p. 76-77)

2.1.7.2 Método de conteo cíclico por análisis A-B-C.

El método más conocido de conteo cíclico, y el preferido de por la mayoría de los contadores, consiste en dividir el inventario en clasificaciones A-B-C. Los artículos no se tratan de igual manera, debido a la importancia con la que éstos rotan en el inventario. Sobre la base de la clasificación, los artículos A se cuentan con mayor frecuencia que los artículos B, y los artículos B con mayor frecuencia que los C. (Muller, 2004)

Aplicación paso a paso del método de conteo cíclico por análisis A-B-C:

- Realizar un análisis de Pareto sobre las unidades de existencias, utilizando los criterios deseados. Este se describe en la figura 10.
- Repartir las unidades de existencia en categorías A-B-C.
- Decidir con qué frecuencia se va a contar cada categoría.
- Multiplicar el número de las unidades de existencias en cada categoría por la frecuencia deseada, para establecer el total de conteos. (Muller, 2004)

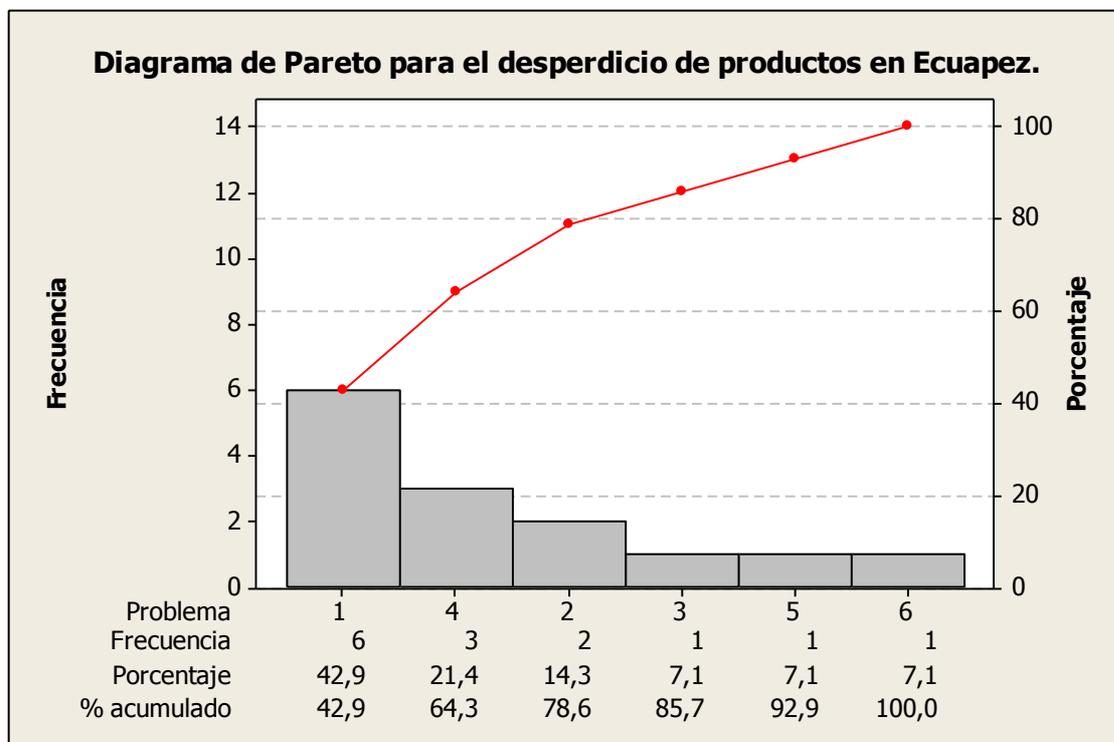


Figura 10. Diagrama de Pareto para análisis ABC.

Elaboración propia, trabajo en clase de Calidad Total, USFQ, segundo semestre 09-10.

2.1.8 Estudio de Tiempos.

El estudio de tiempos es definido como un procedimiento para establecer “un día de trabajo justo”, es decir la cantidad de trabajo que puede producir un empleado calificado cuando realiza su trabajo de manera normal y utilizando su tiempo de forma efectiva, si el trabajo no tiene limitaciones dentro del proceso. (Niebel, 2007)

En general, el empleado debe realizar sus labores de manera normal, es decir ni rápido ni lento, de forma que represente el desempeño total durante el día, por parte del empleado experimentado y del empleado cooperativo. (Niebel, 2007)

2.1.8.1 Equipo para el Estudio de Tiempos.

El equipo necesario para realizar el estudio de tiempos incluye un cronómetro, una tabla, formas para el estudio y una calculadora de bolsillo, además se puede incluir un equipo de videograbación. (Niebel, 2007)

2.1.8.2 Inicio del Estudio.

Existen dos técnicas para registrar los tiempos, el método de *tiempos continuos* y la técnica de *regresos a cero*. El primer método es aquel que permite que el cronómetro trabaje durante todo el estudio, es decir que el analista registra el punto terminal de cada elemento mientras el tiempo sigue corriendo. La técnica de *regresos a cero* establece en restablecer el cronómetro a cero luego de registrar cada elemento. (Niebel, 2007)

2.1.8.3 Tiempo Normal y Tolerancias.

El tiempo normal (TN) es lo que tarda cada actividad en completar un ciclo, donde se incluye al tiempo de trabajo y al de inactividad. Para todas las actividades de una operación, éste siempre será el mismo. (Niebel, 2007)

Las tolerancias son un porcentaje o fracción del tiempo normal, el cual varía entre 20 y 25%. Esto incluye a los períodos para uso personal, fatiga, descansos y retrasos inevitables. (Niebel, 2007)

2.1.8.4 Tiempo Estándar.

Se refiere al tiempo requerido por un operador promedio, completamente calificado y entrenado, que se encuentra trabajando en condiciones normales para desarrollar y terminar una operación. El tiempo estándar (TS), está dado por: $TS = TN \cdot (1 + \text{Tolerancias})$. (Niebel, 2007)

2.1.9 Tamaño de muestra.

Es el número de sujetos que componen la muestra extraída de una población, lo cual es necesario para que los datos obtenidos sean representativos. Hay que tomar en cuenta algunos factores que afectan al momento de determinar el tamaño, estos son: el tipo de muestreo, el parámetro a estimar, el error muestral admisible, la varianza poblacional, y el nivel de confianza.

Los parámetros son las medidas o datos que se obtienen sobre la población, el estadístico son los datos o medidas que se obtienen sobre una muestra, el error muestral es la diferencia entre un estadístico y su parámetro, el nivel de confianza es la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad, la varianza poblacional se refiere a la homogeneidad de la población. (Cálculo del tamaño de la muestra, 2012)

Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q} \quad (2.1.9.2)$$

Donde:

n es el tamaño de la población o universo

k es una constante que depende del nivel de confianza.

p es la proporción de individuos que poseen en la característica de estudio.

q es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir $1-p$.

n es el tamaño de muestra. (Feedback Networks Technologies, 2011)

2.1.9.1 Nivel de Confianza α .

Se refiere a la probabilidad con la que se asocia una estimación de intervalo, la cual señala qué tanta certeza se tiene que la misma incluya al parámetro de la población. Se utilizan con mayor frecuencia probabilidades 90, 95 y 99%, dado que mientras más grandes sean estos porcentajes, implica una mayor confianza. (Levin, 2004, p.286)

2.1.10 Pruebas de Bondad y Ajuste.

Las pruebas de bondad y ajuste tienen por objetivo determinar si los datos se ajustan a una distribución, la cual puede estar especificada o pertenecer a una clase paramétrica.

(Montenegro, 2012)

Es importante entender el efecto del tamaño de la muestra. Si este es muy pequeño es poco probable que la prueba de bondad y ajuste rechace alguna de las distribuciones, por otro lado si el tamaño de muestra es grande, ésta prueba rechazará todas las distribuciones que se están probando. (Banks, 2005 p. 326)

2.1.10.1 Prueba Chi Cuadrado.

Esta prueba es considerada como no paramétrica, ya que mide la discrepancia entre una distribución observada a partir de la muestra y otra teórica que se supone debe seguir esa muestra, indicando en qué medida las diferencias existen entre ambas. Esta prueba formaliza la idea intuitiva de comparar el histograma de los datos, con la forma de la densidad o función de la distribución candidata. (Banks, 2005 p.327)

Esta prueba es válida para tamaños de muestras grandes, discretas y continuas. Para empezar con la prueba se empieza por dividir las n observaciones en k intervalos. La prueba estadística está dada por:

$$X_o^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.1.10.1.1)$$

Donde:

O_i es la frecuencia observada en el intervalo i ,

E_i es la frecuencia esperada en el mismo intervalo i .

La hipótesis nula de esta prueba se refiere a que no hay diferencia significativa entre la distribución muestral y la teórica, mientras que la hipótesis alternativa dice que la muestra no sigue la distribución propuesta. La hipótesis nula es rechazada si $X_o^2 > X_{\alpha, k-s-1}^2$.

(Bautista, 2010)

2.1.10.2 Prueba Kolmogorov-Smirnov.

La prueba Kolmogorov-Smirnov, se utiliza cuando el tamaño de muestra es pequeño. Esta prueba es no paramétrica y se utiliza para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí. Cuando existen parámetros estimados, se obtiene los valores críticos por medio de tablas, lo cual no sucede cuando se asume una distribución exponencial. (Banks, 2005 p.332)

Esta prueba es aplicable a distribuciones continuas. El estadístico de Kolmogorov-Smirnov está dado por:

$$D = \max_x |F_e(x) - F(x)|, \quad -\infty < x < \infty \quad (2.1.10.2.1)$$

La hipótesis nula es si la proporción de valores observados menores o iguales a x $F_e(x)$, son cercanos a la proporción real $F(x)$. Para poder rechazar o no rechazar la hipótesis

nula, se utiliza el valor de la prueba entonces si $p < \alpha$, se rechaza H_0 y si $p > \alpha$ no se rechaza. Siendo α el grado de significación es decir el nivel de rechazo para la prueba. (Cano, 2012)

El valor p es el nivel de significancia al cual se rechaza la hipótesis nula para los valores de la prueba estadística. Si este valor es alto, se dice que la distribución si se ajusta a los datos, mientras que si éste valor es muy pequeño entonces la distribución no se ajusta a los datos. (Banks, 2005 p. 333)

2.1.11 Simulación de Sistemas de Producción.

Una simulación es la imitación de un proceso real o sistema, en un tiempo determinado. Esta implica la generación de historia artificial de un procedimiento y la observación de su comportamiento, durante un tiempo establecido para conseguir características reales referentes a la operación que está siendo emulada. (Banks et al. 2005)

Es importante recalcar que realizar una simulación, produce información valiosa sobre la operación. Cambiando las entradas de la misma, se puede observar las salidas que estas nuevas condiciones generarán. Puede ser utilizada para la experimentación con nuevos diseños o políticas antes de su implementación, también para verificar soluciones analíticas. Otra cosa importante, es que los modelos de simulación permiten estudiar los diseños de operaciones, sin necesidad de generar costos o paras en el trabajo. (Banks et al. 2005)

Los sistemas que se estudian, pueden ser discretos o continuos. En la práctica pocos sistemas son completamente discretos o continuos, pero normalmente uno de éstos predomina. Un sistema discreto es aquel que las variables de estado cambian únicamente en un conjunto discreto de puntos en el tiempo. Un sistema continuo, es aquel en que las variables de estado cambian continuamente en el tiempo. (Banks et al. 2005)

Los pasos a seguir en un estudio de simulación son los siguientes:

- Formulación del Problema
- Definir objetivo y plan del proyecto
- Modelo
- Recolección de datos
- Programar el modelo
- Verificar que el programa sea factible
- Validar que el programa muestre la realidad
- Diseño de Experimentos
- Análisis estadístico de resultados
- Determinar si se deben hacer más corridas al programa
- Documentar y reportar
- Implementación. (Banks et al. 2005)

2.1.12 *Lean Manufacturing.*

El pensamiento *lean* es un método que proporciona a la empresa poder hacer más utilizando una menor cantidad de recursos, es decir menos cantidad de esfuerzo humano, equipamiento, tiempo y espacio. Asimismo, proporciona una manera de trabajar más satisfactoria debido a que se genera una retroalimentación inmediata para llegar a transformar los desperdicios en valor. (Womack & Jones 2005, p. 26)

2.1.12.1 *Sistema 5s.*

El sistema de las 5S's es un componente *lean* y su objetivo es el de disponer un lugar de trabajo limpio y en orden, además de tener únicamente lo necesario para poder proporcionar al empleado un lugar agradable de trabajo. (Hobbs, 2004)

Las 5S son las siguientes:

- *Seiri* (Organizar), es decir remover del lugar de trabajo los ítems innecesarios y que no estén siendo utilizados para la producción.
- *Seiton* (Ordenar), se refiere a identificar de forma clara cada uno de los ítems al área al que pertenecen.
- *Seiso* (Limpiar), representa a mantener el lugar de trabajo limpio, identificando fuentes de suciedad por parte del operario.
- *Seiketsu* (Estandarizar), quiere decir localizar situaciones irregulares o fuera de lugar, a través de normas simples y visibles para todos los operarios.
- *Shitsuke* (Mantener), trata sobre trabajar de acuerdo a las normas establecidas, controlando el seguimiento del sistema 5S y generando acciones de mejora continua. (Hobbs, 2004)

2.1.13 Análisis Financiero.

El análisis financiero toma en consideración la determinación de los factores y criterios económicos utilizados cuando se considera seleccionar entre una o más alternativas. Para realizar un análisis económico se debe tomar en cuenta los flujos de efectivo que son las entradas y salidas de dinero. (Blank & Tarquin, 1999, p. 9)

2.1.13.1 Análisis Beneficio / Costo.

Es el método que se utiliza para determinar la viabilidad de los proyectos tanto de manera institucional o para obras públicas. Está basado en la razón entre los beneficios y los costos que se encuentran en un proyecto en especial. Los términos que intervienen en este análisis son: Beneficios positivos (B), negativos (BN), y Costos (C). (Blank & Tarquin, 1999, p.266)

Analizando la solución obtenida de la razón, se puede determinar la factibilidad de llevar a cabo el proyecto. Al obtener un resultado mayor a 1, se establece la viabilidad del trabajo; si es menor que 1, no es factible la realización del mismo; y finalmente si se tiene una igualdad entre beneficios y costos, se obtendrá un resultado igual a uno, lo que representa que no se obtendrían ni ganancias ni pérdidas al efectuar el proyecto. (Blank & Tarquin, 1999, p.266)

2.2 Revisión Literaria

2.2.1 La utilización de la simulación para evaluar el desempeño de la línea de producción en condiciones de demanda variable. (McDonald et al. 2011)

Se realiza un modelo de simulación con el propósito de evaluar la capacidad de la línea de producción para montaje de motores, en las instalaciones de una planta industrial en Juárez, México. El modelo fue utilizado para evaluar el impacto de los diversos niveles de demanda en la producción diaria, tiempo de flujo, calidad y análisis de trabajo en los niveles de inventario. (McDonald et al. 2011)

Thomas McDonald (2011) detalla que “a través de un modelo de simulación se puede proporcionar una animación visual de la línea de producción, para observar cómo es el flujo, de esta forma analizar y desarrollar un modelo de simulación para una nueva línea de producción”.

Utilizando la información detallada y obtenida sobre la línea, un modelo de simulación fue desarrollado para determinar si la propuesta sería capaz de cumplir con un nivel de demanda de 130 motores/día. El modelo está compuesto por siete sub modelos, y también utiliza variables globales para determinar la producción diaria y el inventario de trabajos en proceso para cada componente en el modelo. De los resultados del modelo de

simulación, se identificaron posibles cuellos de botella en cada nivel de demanda. (McDonald et al. 2011)

2.2.2 Metodología para la estimación de rentabilidad máxima para un sistema de clasificación ABC de inventarios. (Martin et al. 2006)

En este artículo se desarrolla un modelo matemático con el objetivo de mejorar la gestión de un sistema de clasificación de inventarios ABC, para poder determinar los niveles de volumen de negocios más rentables. (Martin et al. 2006)

Los sistemas de clasificación de inventario ABC, son utilizados por las empresas que contengan un gran número de distintos elementos en la bodega. Warren Martin (2006) sostiene que “sin un estudio cuidadoso de los sistemas de clasificación ABC, no hay garantía de que los procesos de gestión asociados sean mejores, y estos procesos deben ser actualizados para adaptarse a la evolución de los entornos empresariales”.

Para poder generar un beneficio para la empresa en global, se debe gestionar de la mejor manera el sistema de clasificación ABC, ya que éste afecta directamente a las características de rotación de inventario del sistema. (Martin et al. 2006)

2.2.3 Un nuevo enfoque para el análisis automático y control de sistemas de manejo de materiales. (Gamberi et al. 2008)

En la mayoría de las pequeñas y medianas empresas, los costos directos de manejo de materiales no se pueden medir claramente. Existen varias razones para esto, incluyendo el gran número de diferentes tipos de productos, la complejidad de su ciclo de producción, y el cambio continuo en los mercados. Por lo tanto, se requieren de herramientas flexibles para crear un adecuado modelo de manejo de materiales, que de forma explícita y rápida calcule los índices requeridos. (Gamberi et al. 2008)

Mauro Gamberi (2008), propone que “se debe utilizar un enfoque integrado para el análisis y control de las operaciones de manipulación de materiales en una planta de fabricación industrial. Para esto, se presenta un modelo de manejo de materiales con una metodología única, el cual proporcionará a los gerentes de producción información extensa y significativa”.

Como resultado, este enfoque se concentra en determinar el espacio necesario para optimizar los requisitos del sistema de transporte, los índices de desempeño, así como el tiempo y los costos de los flujos de material empleados en el diseño. (Gamberi et al. 2008)

2.2.4 Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. (Gutiérrez, 2009)

El objetivo general es desarrollar dos métodos que permitan clasificar los productos de una bodega en inventario, dentro del almacén del Hotel Meliá Santiago de Cuba, a través de la aplicación de un enfoque multicriterio ABC. (Gutiérrez, 2009)

Óscar Gutiérrez (2009), establece que “el enfoque multicriterio en el método ABC, se inicia considerando varios criterios que son aplicados al inventario. Esto determina que un mismo producto, sea clasificado en diferentes zonas. La inclusión de parámetros en la aplicación del método, va a generar una variación en el criterio de clasificación, lo que se vería facilitado por la introducción de características de los productos, preferencias de los clientes, entre otros”.

La aplicación del enfoque multicriterio ABC y la matriz de costo de adquisición/rotación son dos métodos efectivos para la clasificación de productos en la bodega, los cuales llegan a mejorar la gestión de manejo de inventarios en las organizaciones. (Gutiérrez, 2009)

2.2.5 Mejora en la distribución física de la planta utilizando la planificación sistemática de diseño (SLP) para aumentar la productividad. (Wiyaratn et al. 2010)

El objetivo de esta investigación es estudiar la distribución de una planta de fabricación de hierro basado en la teoría del patrón de diseño de la planificación sistemática (SLP) para aumentar la productividad. El diseño de la nueva planta se compara con la distribución de la planta actual para determinar cuál es el más eficiente. (Wiyaratn et al. 2010)

Wiyaratn (2010) establece que “utilizando el método SLP y de acuerdo con el análisis del flujo de trabajo, se encontró que la distancia de movimiento desde la bodega a la línea de producción fue de 190,08 metros, con lo que la reducción estimada llegó a ser de 227,61 m. Por lo que al utilizar el nuevo *layout*, se obtuvo un menor flujo de material, resultando en una mayor tasa de producción”.

El método SLP demostró que el diseño de la nueva planta disminuye significativamente la distancia del flujo de materiales de aluminio al proceso de corte en la empresa. (Wiyaratn et al. 2010)

2.2.6 Planificación sistemática de instalaciones (SLP). (Owens, 2011)

En la mayoría de instituciones de educación en Asia, se dedican a enseñar el modelo de distribución de instalaciones SLP de Richard Muther. La aplicación del diagrama de relaciones se puede aplicar en cualquier entorno y en cualquier industria. Además, la implementación de códigos de colores y las relaciones de las diferentes áreas basadas en el nivel de importancia, proporcionan información de diseño útil y es por esto que el método SLP ha resistido la prueba del tiempo. (Owens, 2011)

Pero según Robin Owens (2011), “en la práctica se utiliza el método SLP muy pocas veces, debido mayormente a que su aplicación toma demasiado tiempo. Además, al momento

de diseñar una instalación, la mayor parte de empresas no se enfocan en optimizar la distribución de los diferentes departamentos”.

Mediante el uso de tecnología en la práctica, como por ejemplo al combinar el costo de manejo de inventarios con el *layout* de la planta dibujado a escala en Autocad ®, al momento de diseñar la distribución de instalaciones, se puede determinar en cualquier momento el tiempo, las distancias y los costos de inventarios, con lo que a través de aplicaciones tecnológicas se diseñan *layouts* de ingeniería que contribuyen de mejor manera a la industria. (Owens, 2011)

2.2.7 Algoritmo de recocido simulado para encontrar soluciones aproximadas de Pareto óptimas para el problema de una instalación multi-objetivo. (Sahin et al. 2008)

Se considera el problema de distribución de una instalación, en el cual se combina el objetivo de minimizar el costo total de manejo de materiales, y la maximización de las puntuaciones totales de la clasificación de cercanías entre departamentos. (Sahin et al. 2008)

Ramazan Sahin (2008), expone que “la optimización multi-objetivo es la mejor manera de considerar ambos al mismo tiempo. Un recocido simulado, es el algoritmo propuesto para encontrar la solución óptima al problema. Para esto, se establece una comparación entre los conjuntos óptimos de Pareto generados por el algoritmo propuesto, con las soluciones de los algoritmos para objetivos múltiples en el diseño de las instalaciones”.

Las principales dificultades que se encontraron al momento de realizar el modelo, fue al momento de seleccionar los factores que afectan de mayor manera la distribución de la planta, ya que el criterio multi-objetivo requiere generar alternativas de *layouts*, a través de la elección de los factores de mayor importancia. Los resultados arrojaron que los conjuntos

óptimos de Pareto, son en su mayoría una aproximación de todos los resultados obtenidos con anterioridad, al utilizar algoritmos con objetivos múltiples. (Sahin et al. 2008)

2.2.8 Clasificación ABC. (Arciniegas, 2002)

Esta metodología se llevó a cabo en una tesis de maestría la cual su objetivo final era: Elevar el porcentaje de disponibilidad de los repuestos en un 5% anual de John Deere de Ponce Yepes S.A. Con el fin de mejorar la disponibilidad de los repuestos de stock, se establece un plazo de dos meses para poner en marcha la reingeniería de los procesos de generación automática de pedidos para existencia y de almacenamiento de información de la demanda, tanto real como insatisfecha, de acuerdo al Sistema de Mínimo Inventario. Dentro del Sistema de Mínimos se organizó el inventario en base a esta metodología ABC, la cual busca organizar los artículos de forma que los de mayor ocupación se encuentren en lugares estratégicos para mejorar el flujo. (Arciniegas, 2002)

2.2.9 Diagramas de recorrido. (Lascano, 2010)

Los diagramas de recorrido muestran una mejor visión del proceso propuesto. Estos diagramas son utilizados para la optimización de los métodos de trabajo en el proceso de construcción de máquinas para labrar madera en la empresa Cima Castro, con la finalidad de mostrar de forma gráfica la reducción de distancias y organización de los puestos de trabajo de la propuesta realizada. (Lascano, 2010)

2.2.10 Evaluación por adyacencia entre departamentos y costo de manejo de materiales. (Tanus et al. 2005)

La evaluación por adyacencia entre departamentos califica si las relaciones de cercanía establecidas en el diagrama de relación de actividades se cumplen. Se toma como punto de referencia el puntaje posible, que se calcula para cada tipo de adyacencia. Este

método es utilizado para verificar tablas de relaciones y compararlas con otras alternativas.

(Tanus et al. 2005)

También para realizar comparaciones se utiliza la evaluación por costo de manejo de materiales que se calcula tomando en cuenta el costo total unitario para cada alternativa y así poder contrastarlas. (Tanus et al. 2005)

Estos métodos son utilizados para un análisis de factibilidad física y económica de un nuevo *layout* del proceso de la línea “*Ripping Bar*”. Los resultados obtenidos en este proyecto, fueron la minimización del tiempo total de proceso y del costo, por medio de la elección de una alternativa de rediseño de la disposición. (Tanus et al. 2005)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE CALZADO

3.1 Descripción del Proceso

Para poder determinar el enfoque de éste estudio, se debe conocer la situación actual de la empresa en general. A continuación se mostrará de manera detallada los procesos que forman parte de la fabricación de calzado en FAME S.A.

3.1.1 Cadena de Valor.

En la figura 11 se muestran los procesos gobernantes, productivos y de apoyo, de la empresa de calzado FAME S.A.

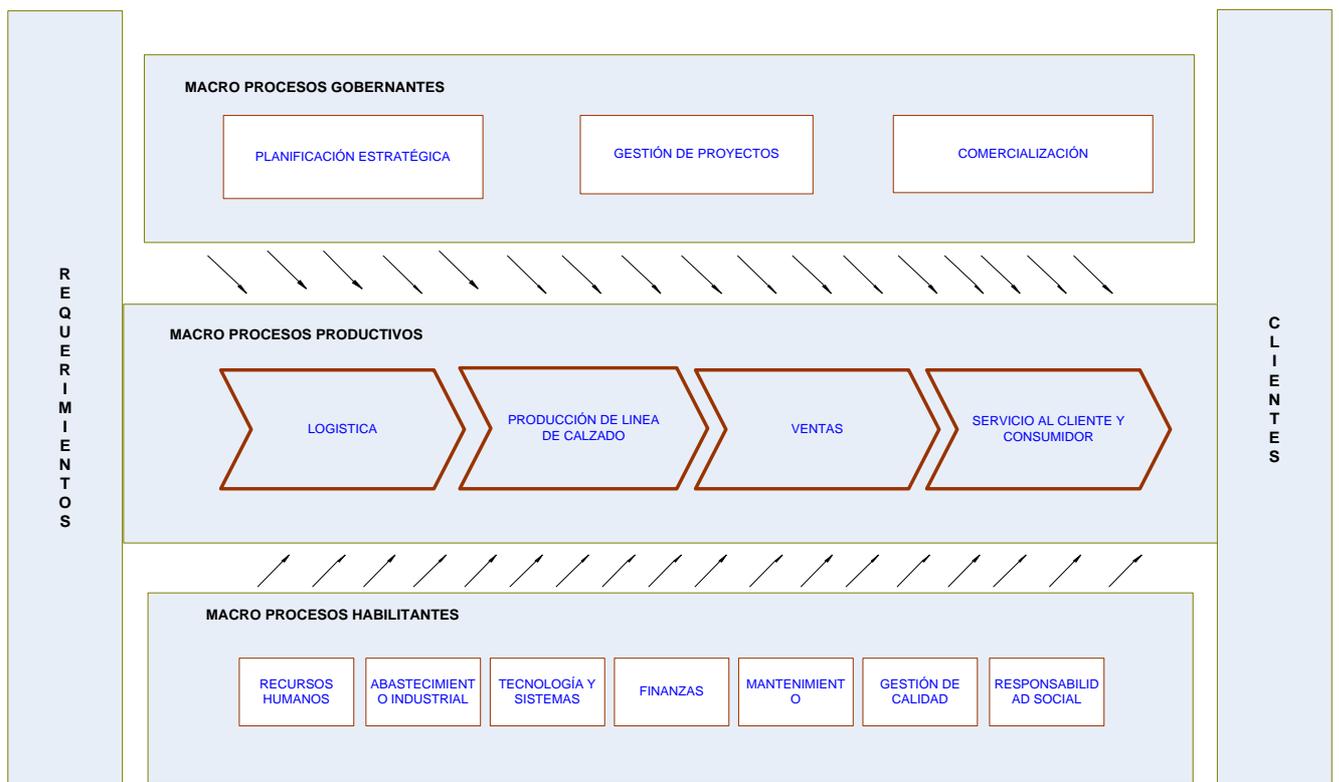


Figura 11. Cadena de Valor FAME S.A.
Elaboración propia.

La empresa contaba con una cadena de valor desactualizada, ya que incluía una gerencia corporativa como macro proceso gobernante, la cual fue inhabilitada aproximadamente cuatro años atrás. Por esto, se procedió a levantar información para definir los niveles de la cadena de valor, tal y como se encuentran en la actualidad.

3.1.2 Lista Maestra de Procesos.

A continuación en la figura 12 se describen los procesos y subprocesos dentro de la cadena de valor.

**LISTA MAESTRA DE PROCESOS
FABRILFAME - PLANTA DE CALZADO**

TIPO	PROCESOS	SUBPROCESOS	SUBPROCESOS-1 o ACTIVIDADES	
MACRO PROCESOS GOBERNANTES	Planificación Estratégica	Análisis de la Situación		
		Marco Estratégico		
		Planeamiento Operativo		
		Control		
	Gestión de Proyectos	Todos los Proyectos Dentro de la Empresa		
		Cambio de Maquinarias Procesos		
	Comercialización	Administrar Pedidos		
		Gestión de Ventas		
		Despacho		
		Entrega		
	MACRO PROCESOS PRODUCTIVOS	Logística	Tomar Pedidos	
			Programación Pedidos	
Procesamiento de Pedidos				
Servicios Generales				
Infraestructura Física				
Jardinería				
Producción de una Línea de Calzado		Corte	Cortar las Capelladas	
			Cortar las Cañas	
			Cortar las Planchas	
			Desbastar los contrafuertes y punteras	
		Aparado	Entintar las piezas	
			Codificar las Cañas	
			Costurar	
			Rivetear las cañas y fuelles	
			Pegar los forros a las capelladas	
			Perforar y colocar respiraderos	
		Armado	Pegar las orejas a las cañas	
			Urlar los Cortes Aparados	
			Cementar las salpas	
			Clavar las salpas en las hormas	
			Cementar los contrafuertes	
			Pegar los contrafuertes	
			Premoldear los cortes	
Pegar punteras a capelladas				
Humectar las capelladas				
Armar las puntas				
Good Year	Humectar los talones			
	Cementar los lados y talones			
	Pasar en tunel del horno			
	Cardar la flor del cuero de la planta			
	Sacar los clavos			
	Lijado de la planta de caucho			
	Lijado de la entresuela			
	Colocado de pega en la entresuela y salpa			
	Pegado de la entresuela y salpa			
	Extraer la horma del armado			
Poner la horma en el armado				
Reactivar las pegas				
Prensado de las plantas				
Extraer las hormas				
Pulir plantas de caucho				

		Acabados	Entintar las botas Poner las Plantillas Quemar los hilos Quitar las pegas del Calzado Abbrillantar las Botas Lacar con Soplete las Botas Colocar los Cordones Embalar en cajas de acuerdo a pedido			
	Ventas	Abastecimiento para ventas al por menor				
MACRO PROCESOS DE APOYO	Servicio al Cliente y Consumidor	Servicio al Cliente Servicio al Consumidor Administrar Quejas				
	Abastecimiento Industrial	Programar Compras Materias Primas y Repuestos Administrar Proveedores				
		Gestión de Compra	Comprar Bienes Muebles y Materiales Contratar Servicios			
		Recepcionar, Almacenar y Abastecer Materiales	Administrar Bodegas			
		Ensayos a Materia Prima	Comparar materia prima con requerimientos del cliente			
	Finanzas	Administración Información Financiera Administración Activos Fijos Administración de Recursos Financieros Administración Presupuestos Aprobación por un directorio de Holding Dine				
		Administración del Talento Humano	Administración de Estructura Ingresar Personal			
			Pagar Salarios y Compensaciones Desarrollo Humano Administración de Relaciones Laborales Responsabilidad Social Sistema de Comunicación			
			Tecnología y Sistemas	Renovación o Ampliar Capacidades	Administrar Sistemas de Protección de Datos	
				Comprar e Implementación de Aplicaciones	Administrar Hardward Administrar Servidores Administrar Redes	
	Administración de Mantenimiento			Mantenimiento Industrial	Plan de Mantenimiento Plan Correctivo Plan Preventivo	
	Responsabilidad Social		Seguridad Industrial	Equipos de proteccion		
Medio Ambiente		Identificación de Impactos Ambientales Desechos Líquidos Desechos Sólidos				
Salud Ocupacional		Médico Salud Curativa				
Gestión de Calidad	Aprobación de la Materia Prima Verificación dentro de la Línea de Producción Revisión de Producto Terminado					

Figura 12. Lista Maestra de Procesos FAME S.A.
Elaboración propia.

Los procesos gobernantes describen las actividades necesarias para poder producir los diferentes tipos de calzado, tales como gestionar los pedidos del cliente, ya que la fabricación

se realiza en base de estos. Asimismo, la gestión de proyectos y la planificación estratégica, para obtener una proyección sobre como se puede comportar la producción, y controlar la misma tomando decisiones al respecto en el momento oportuno. Los procesos productivos consisten en la manufactura del producto, mediante cinco áreas de producción, las cuales se describen en las siguientes secciones. Los procesos de apoyo sirven de complemento para coordinar las diferentes actividades con el objetivo de cumplir con lo establecido en la planificación.

3.2 Planta de Producción de Calzado

Actualmente, la planta de producción elabora cuatro tipos de calzado; las botas Patuca, zapatos de Charol, botas de Selva Marrón y la bota Industrial. Estas, se fabrican de acuerdo a los pedidos del cliente, donde las más demandadas y por ende más producidas, son las botas Patuca. En la siguiente imagen se muestra una ilustración de las botas Patuca.



Figura 13. Ilustración de las botas Patuca.

Fuente: FabrilFame S.A. 2011.

La planta está dividida en áreas, las cuales son controladas por un líder de grupo, donde se elabora el producto. Estas áreas son: corte, aparado, armado, *goodyear* y acabados.

Asimismo, la planta de calzado utiliza un sistema de producción híbrido, es decir que se tienen diferentes tipos de calzado dentro de la instalación. El proceso de corte tiene una fabricación por lotes, donde cada estación realiza su actividad y apilan los *ítems* de acuerdo al pedido antes de pasar a la siguiente línea. El procesamiento de ésta línea es la que mayor tiempo demanda, es por esto que se utilizan varias máquinas, cada una con su respectivo lote. Las demás áreas tienen un sistema de línea de producción, es decir que cada estación realiza su actividad y pasa a la siguiente, esto se debe en gran medida a que se tiene una baja variedad de productos y un alto volumen de los mismos. Pero al momento de trasladar el material de la línea de armado hacia armado, también se agrupa el producto en lotes generalmente de 100 unidades, debido a la distancia que existe entre estaciones.

Debido a que en la planta de calzado se emplea el sistema que se basa en producir una cantidad determinada de artículos bajo pedido por parte del cliente final, se maneja un criterio *pull*. Actualmente, la planta de calzado tiene la capacidad de producir una cantidad aproximada de 400 botas Patuca diariamente. Al momento de elaborar otros tipos de calzado, estos se producen en conjunto con las botas Patuca, pero bajando la cantidad de elaboración de la misma.

3.2.1 Identificación del Problema.

Junto con la gerencia se determinaron varios problemas que afectan a la producción de calzado. Se utilizó un diagrama causa-efecto para identificar las principales dificultades de éste problema. En la figura 14 se muestra el diagrama.

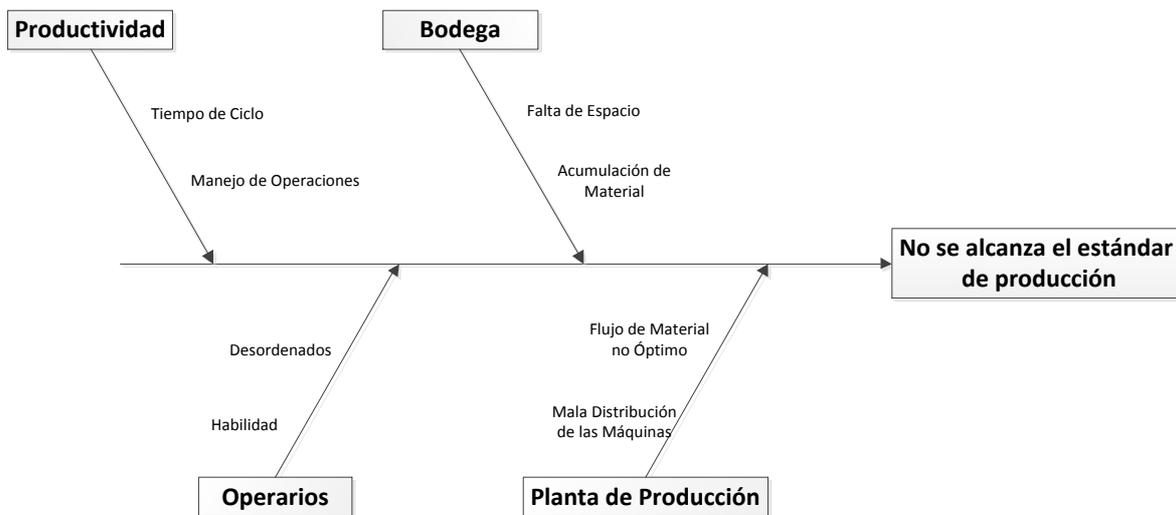


Figura 14. Diagrama de Causa-Efecto FAME S.A.
Elaboración Propia.

Debido a la mala distribución de las estaciones, se generan largos viajes de traslado de materiales, ya que las áreas que comparten flujo de materiales no están juntas, por lo que se genera un desperdicio de tiempo en el cual se podría estar realizando alguna actividad productiva para la organización. De igual manera, en la bodega hay una excesiva cantidad de materia prima, esto afecta a la línea de producción debido a que es donde se inicia la fabricación de los productos, ya que los operarios de las estaciones de corte, deben acercarse y seleccionar los *ítems* requeridos.

Con esto se concluye que el problema que afecta a la línea de producción, está dado principalmente por la manera en que está distribuida físicamente la planta.

3.2.2 Identificación de Productos Representativos.

3.2.2.1 Diagrama de Pareto.

Las diferentes líneas de producción de calzado, manejan el mismo tipo de máquina para cada operación, variando únicamente en los acabados del producto. Debido a esto se

procede a realizar un diagrama de Pareto utilizando la producción anual obtenida en el 2011.

En la figura 15 se muestra el resultado encontrado.

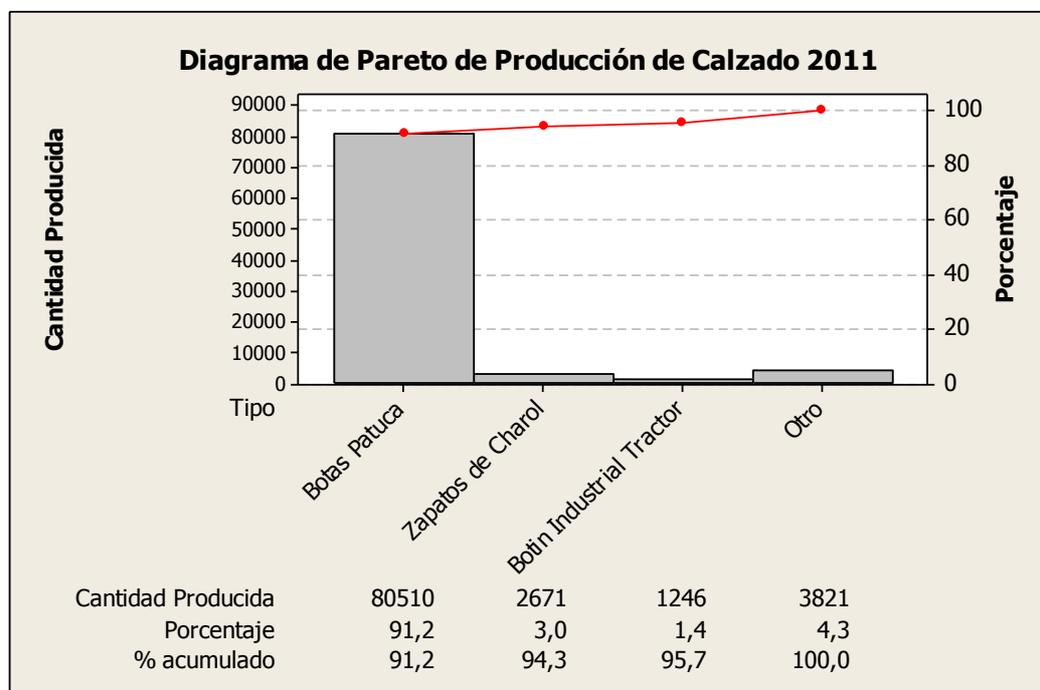


Figura 15. Diagrama de Pareto de la Producción de Calzado del año 2011.
Elaboración propia.

Observando el diagrama, se obtuvo que la bota Patuca representa aproximadamente el 91% de la producción anual total de Calzado durante el 2011. Tomando en cuenta éste resultado se decidió enfocar el estudio en la línea de producción de esta bota.

3.2.2.2 Descripción del Proceso de Elaboración de la Bota Patuca.

La planta de producción de calzado cuenta con 5 procesos principales los cuales son corte, aparado, armado, *goodyear* y acabado. El proceso inicia en la bodega de materia prima, donde el operario de corte recoge el material necesario para la producción. En esta estación de trabajo se corta el material según las especificaciones indicadas en la orden de producción. Una vez terminado el corte el material pasa a la estación de aparado, en la cual todas las partes de la bota son cosidas entre ellas y se colocan los ojalillos para los cordones. Después de coser las partes, se procede a pegar las mismas con goma industrial y también se adhieren

las entresuelas a la parte inferior de la bota, éste es el proceso de armado. A continuación se realiza el proceso *goodyear*, donde se cose la entresuela con la parte inferior de la bota y se une la suela. Por último está el proceso de acabado, en el que se saca brillo, se tintura la bota, se colocan cordones y se empacan según el pedido.

En el Anexo 2, se presenta el diagrama de flujo para la producción de la bota Patuca, debido a que es la bota más demandada y por ende de mayor producción en la planta de calzado, por esto el presente estudio se centrará en la misma.

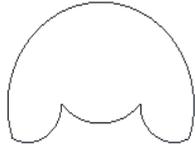
3.3 Toma de Datos del Flujo de Material

Para poder determinar la cantidad de material que se traslada de una estación a otra, se debe utilizar una tabla desde-hacia, la cual se describe en la sección 2.1.4.4.1, con lo que se puede obtener los flujos de materiales que se dirigen a las diferentes estaciones de trabajo. Además de una tabla que represente las distancias que existen entre las áreas a considerar, y los costos referentes a éstas separaciones. Con esto, se busca determinar el objetivo basado en las distancias, como se definió en la sección 2.1.6.2.1.

Es decir, la sumatoria de los productos de las matrices de flujos, distancias y costos. Para poder construir la tabla desde-hacia, se debe emplear la misma medida en cada uno de los flujos que pasan por las estaciones, entonces se determina una unidad que servirá como base al momento de obtener un valor de flujo para cada área de trabajo. Con ello, se estableció utilizar el peso en gramos que se obtiene de una plancha de cuero como unidad principal para el flujo, debido a que a partir de éste material se obtienen la mayor cantidad de partes para la elaboración de la bota Patuca. Posteriormente, se codificó y se pesó cada una de las partes que se emplean para la producción de la misma, tomando en cuenta las piezas cortadas, y los ítems que se encuentran en la bodega. Por ejemplo, el *ítem* K03 representa la

capellada de la bota, el cual proviene del cuero y tiene un peso de 40 gramos, el cual se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Codificación para la capellada, empleada para la producción de la bota Patuca.

Código	Pieza	Descripción	Material	Peso gramos
K03		Capellada	Cuero	40

Elaboración propia.

En el Anexo 3 se encuentra la descripción detallada de cada una de las piezas empleadas, con sus respectivos códigos y pesos.

Seguidamente, se procedió a codificar y describir cada una de las estaciones que forman parte de la línea de producción, y se determinó los pesos salientes en gramos de éstas, para contar con la misma unidad. Como ejemplo; la estación A3, pertenece a la línea de aparado y es donde se codifican y numeran las partes K01. En el Anexo 4 se encuentra la descripción de las diferentes actividades, con sus respectivos pesos salientes.

Una vez establecida la unidad principal, se pudo determinar una relación del peso saliente de cada una de las estaciones con respecto a la misma, para poder estimar el porcentaje que representa el producto a medida que se lo va elaborando con respecto al peso de la plancha de cuero inicial. Por ejemplo, el peso del *ítem* K03, representa el 1,65% de la unidad, es decir 44g de 2666.67g totales. En el Anexo 5 se presenta en detalle la tabla de equivalencias.

3.4 Medición Cualitativa del Flujo

Este método se fundamenta en el objetivo basado en la adyacencia, el cual se describe en la sección 2.1.6.2.1. Por lo que solo se tiene en cuenta el flujo que existe entre las

estaciones que se encuentran contiguas unas con otras. Para ello es necesaria la elaboración de una tabla de relaciones de actividades, donde se debe establecer una calificación de cercanía entre las diferentes áreas a través del flujo de materiales, así como determinar códigos para el flujo de información entre ellas. En las tablas 6 y 7 se encuentra el significado de los valores de cercanía y los códigos de las razones respectivamente.

Tabla 6. Códigos de cercanía en la tabla de relaciones.

VALOR	CERCANÍA
A	Absolutamente necesaria
E	Muy importante
I	Importante
O	Está bien una cercanía normal
U	No es importante
X	No es conveniente

Elaboración propia.

Tabla 7. Significado de cada código en la tabla de relaciones.

CÓDIGO	RAZÓN
1	Flujo de información alto
2	Flujo de información medio
3	Flujo de información bajo

Elaboración propia.

Las cantidades de proximidad están dadas de acuerdo al flujo que existe entre las diferentes estaciones de trabajo, es por esto que se determinó un rango de pesos para poder asignar una letra de valor de cercanía a cada uno de los flujos salientes de cada área. Estos fueron establecidos por medio de las cantidades existentes en la tabla desde-hacia, teniendo en cuenta un máximo de 4600 gramos y un mínimo de 0,8 gramos, y debido a la gran variedad de datos, no se puede designar rangos de igual tamaño, por lo que se asignó frecuencias que reflejen la importancia de cercanía de acuerdo a los pesos existentes. En la tabla 8 se describe la cantidad correspondiente a cada uno de los códigos de proximidad.

Tabla 8. Cantidad de flujo de materiales correspondiente a cada valor de cercanía.

VALOR (gramos)	LETRA
1000 en adelante	A
Desde 300 hasta 999	E
Desde 80 hasta 299	I
Desde 10 hasta 79	O
Desde 0,1 hasta 9,99	U
Igual a 0	X

Elaboración propia.

Finalmente, se obtuvo que la cantidad a producir diariamente de cada uno de los productos por parte de la empresa, es decir el flujo de información, se originen únicamente desde la bodega hacia cada una de las áreas de producción. Por esto, se estableció un valor de 1 para éste flujo, debido a la gran cantidad de información existente, y 3 para el enlace entre las diferentes áreas de trabajo entre sí, ya que el flujo presente es bajo o nulo. En el Anexo 6 se encuentra la tabla de relaciones de actividades.

En éste, se observa que figuran una mayor cantidad de valores con la letra X, lo que significa que no existe flujo de materiales entre estas estaciones. Además, la materia prima saliente desde la bodega #1 hacia los procesos de corte, es la que genera el mayor valor de peso saliente, por lo que estas áreas tienen un valor de cercanía de A.

3.5 Medición Cuantitativa del Flujo

A partir del flujo de material entre las estaciones, descrito en la sección 3.3, se procedió a elaborar la tabla desde-hacia, utilizando como base los pesos obtenidos que salen de cada una de las áreas de trabajo, de tal manera que se pueda cuantificar el flujo entre las diferentes zonas. En el Anexo 7 se encuentra la tabla desde-hacia y en el Anexo 8 la matriz triangular de la misma, donde se puede apreciar, por ejemplo, que el flujo entre la estación R18b (armado) y G16 (*goodyear*), es de 241 gramos. Donde, se tiene un peso máximo de 4,6

kg y un mínimo de 0,8 gramos, lo que significa que el flujo entre estas áreas no es de gran importancia.

Finalmente, para poder minimizar la suma de los flujos por las distancias y los costos, descrito en la ecuación 2.1.6.2.1.1, es necesario elaborar una tabla que exponga las separaciones entre las estaciones de trabajo. Para ello, se dibujó el *layout* actual de la planta y se lo dividió en cuadrículas de 1 metro por 1 metro mediante el programa Autocad 2012®, para de esta forma poder determinar los centroides de las diferentes áreas y obtener la distancia que existe entre ellas. En el Anexo 9 se muestra el *layout* actual de la planta dividido en cuadrículas de 1 m x 1 m. Los centroides fueron calculados de acuerdo al punto medio del área que dispone cada estación, en la figura 16 se muestra dicho cálculo, las cuáles en su mayoría tienen forma rectangular, pero muchos de éstos no coinciden con la cuadrícula, por lo que se determinó las distancias que apartan a los centroides con cada una de las líneas obtenidas, y así poder calcular las separaciones entre estaciones y establecer los tiempos que recorren los operarios a través de éstas distancias y obtener un costo asociado. Como por ejemplo, la estación C1 de la línea de corte, está a 0,76 y 0,49 metros en los ejes x y y respectivamente, de la cuadrícula.

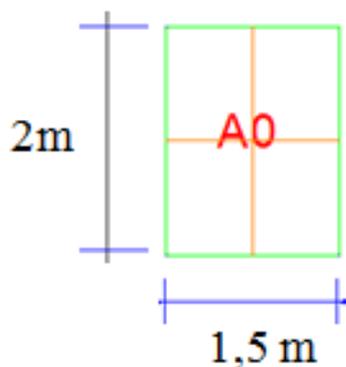


Figura 16. Ejemplo de cálculo de centroide para la estación A0.
Elaboración Propia.

Una vez obtenidas las distancias que existen entre las estaciones en metros, se obtuvo la tabla de distancias que se encuentra en el Anexo 10 y su matriz triangular en el Anexo 11.

3.5.1 Análisis del estudio del *layout* actual.

Para saber de qué manera afectan los tiempos de traslado de materiales a la empresa, en el Anexo 12 se muestra un diagrama de espagueti donde se puede ver el recorrido que realiza el material durante todo el proceso productivo. Algunas de las distancias que transita el producto en proceso son muy largas, como se mostró en la tabla desde-hacia. Éstas distancias son recorridas a pie por los trabajadores de la planta, lo que genera pérdida de dinero para la empresa debido al tiempo innecesario que se genera, en los que se podría estar manufacturando el producto, y que no agregan valor a la operación, por lo que deben ser reducidos.

En el Anexo 13 se puede encontrar el costo relacionado con esta pérdida de tiempo por cada una de las distancias caminadas de los trabajadores, el cual se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Costo = \frac{(\$SD)}{8h} \cdot \left(\frac{1h}{3600s} \right) \cdot Tt \cdot VE \quad (3.5.1.1)$$

Siendo:

SM = Salario mensual del operador en \$. Teniendo en cuenta todos los beneficios de ley, tales como: décimos terceros, décimos cuartos, vacaciones, fondos de reserva e IESS.

Tt = Tiempo de traslado entre estaciones en segundos.

VE = Valor equivalente a una plancha de cuero.

La ecuación 3.5.1.1 representa el salario del operario dividido para las ocho horas laborables por el tiempo de traslado entre estaciones y el valor que representa a una plancha de cuero. Por ejemplo, para calcular el costo de manejo del material desde la bodega#1 hacia

la estación C1, se tiene un tiempo de traslado a pie de 12,26 segundos, y un valor equivalente a 1/6, debido a que un rollo de cuero contiene seis planchas.

A continuación se procedió a calcular el costo total relacionado a la unidad principal de equivalencias, es decir la plancha de cuero, mediante la ecuación 2.1.6.2.1.1, es decir la suma producto de las matrices de distancias, flujos y costos, presentadas en los anexos 7, 10 y 13 respectivamente, dando un resultado igual a \$43878. Este valor representa el costo referente a traslados del personal de un área a otra, en costo/horas hombre. Esta es una cantidad muy alta, por lo que se concluye que existe una gran distancia entre las estaciones de trabajo, dado que implican una gran cantidad de viajes por parte de los operarios para trasladar el material entre las diferentes áreas de trabajo, es decir pérdida de tiempo en actividades que no son necesarias, lo que resulta en costos innecesarios para la organización.

Para poder estimar el objetivo basado en adyacencias, descrito en la sección 3.4, se determinó las estaciones que están juntas dentro de disposición actual y se les asignó un valor $x_{ij} = 1$, lo que se puede observar en el Anexo 14, y utilizando los valores de flujo de la tabla desde-hacia, mediante la ecuación 2.1.6.2.1.2.

El resultado obtenido es de 12115 gramos, lo que significa que en la disposición actual muchas de las estaciones que se encuentran adyacentes no comparten flujo entre ellas, que representa desperdicio de movimientos por parte de los operarios, ya que las estaciones que comparten flujo de materiales no están juntas, produciendo traslados innecesarios, lo que resulta en desperdicio de tiempo en el cual se podría estar realizando alguna actividad productiva para la organización.

Seguidamente, se procedió a determinar la eficiencia de la estructura existente en la actualidad, mediante el uso de la siguiente ecuación para la calificación de adyacencia normalizada:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} x_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij}} \quad (3.5.1.2)$$

(Tompkins et al. 2006, p. 312)

Con lo que se obtuvo un valor $z = \frac{12115}{58067.54}$, es decir $z = 20.86\%$ de eficiencia, lo que representa el cociente entre el flujo existente entre las estaciones que están juntas entre ellas, y el total de toda la línea de producción. El porcentaje obtenido es una cantidad sumamente baja para la disposición actual, por lo que se tiene un gran potencial para realizar mejoras. Además, la distribución actual de la planta genera viajes no necesarios para el traslado de *ítems*, materia prima, inventario en proceso y producto terminado, que son actividades que no agregan valor al producto, y se ven reflejados en desperdicios de tiempos, los cuales generan un costo innecesario para la empresa, ya que disminuyendo las distancias de estos traslados, se podría aumentar la productividad.

Una vez que se ha realizado un análisis de los datos obtenidos, se procederá a elaborar propuestas de mejoramiento que ayuden a mitigar los problemas identificados en la situación actual de la organización, tales como las distancias a recorrer por parte de los operarios entre estaciones para elaborar el producto. Para ello, se expondrán propuestas tanto para la línea de producción, como para la bodega, con lo que se logrará una mejora en la distribución física de la planta, que disminuya las distancias de traslado de materiales, incrementando la productividad de la planta y sobre todo reduciendo los costos del manejo de la materia prima e inventario en proceso.

3.6 Rediseño de la Planta de Calzado

Para realizar un nuevo diseño de la distribución física de la línea de producción de la empresa, es necesario considerar y disponer como datos iniciales: el flujo total entre cada una

de las estaciones, las distancias que existan entre las mismas, y un costo asociado al manejo de materiales entre estaciones que comparten flujo, los cuales fueron determinados con anterioridad en la sección 3.5.1. Con ello, se obtuvo un costo referencial de \$43878, que se comparará con cada una de las propuestas de mejoramiento.

De esta forma, se emplearán tanto algoritmos de diseño como de mejoramiento del *layout* actual, teniendo como prioridad éstos últimos, ya que se dispone de una distribución física de la planta ya estructurada, con lo que es mucho más factible para la empresa realizar mejoras a las instalaciones actuales que elaborar una desde cero. Cabe recalcar, que el resultado de un nuevo diseño no se debe descartar para poder hacer una comparación entre la distribución actual y el *layout* óptimo de la empresa, debido que construir una distribución física de la planta desde cero, implica una gran inversión por parte de la organización, pero a pesar de esto, se pueden generar mayores ingresos a futuro, y una optimización del espacio de la instalación.

El mejoramiento de la planta existente, se realizará mediante la aplicación de tres procedimientos: SLP, CRAFT y MÚLTIPLE, los cuáles generarán disposiciones alternas y un costo asociado que se comparará con el inicial. Además, se empleará un algoritmo de diseño, el cual emplea la programación entera mixta (PEM) descrita en la sección 2.1.6.2.6, con lo que se planteará el modelo de acuerdo a las necesidades de la empresa y se lo correrá en el lenguaje de programación AMPL (*A Mathematical Programming Language*)¹, debido a la complejidad del modelo y la cantidad de restricciones que se generan.

De esta forma, el objetivo es obtener varias alternativas de la distribución de la planta de calzado, con sus respectivos costos y hacer una comparación con el *layout* existente y los

¹ AMPL: Robert Fourer, David M. Gay and Brian W. Kernighan de: <http://www.ampl.com/>

beneficios que generarían, para con ello escoger la que se consideraría la mejor propuesta a optar por la empresa.

3.6.1 Procedimiento SLP.

Esta metodología se basa en el diagrama presentado en la sección 2.1.6.1, en la que es necesaria la utilización de los datos iniciales de flujo de materiales, el cual está representado en la tabla desde-hacia, así como las relaciones que existen entre las diferentes actividades, los cuales se muestran en la sección 3.5.

A partir de los datos obtenidos de la planta actual, se procede a realizar un análisis de cada una de las estaciones para poder ubicarlas en el espacio disponible, en el caso de FAME Calzado, se utilizará la ubicación que actualmente disponen cada una de las áreas. Con esto, se elabora el diagrama de relaciones, en el cual se incluye las ubicaciones de cada una de las estaciones, sin usar su tamaño real y se conectan mediante líneas de diferente grosor, de acuerdo al flujo que existe entre ellas. En la figura 17 se muestra una parte del diagrama de relaciones, y la totalidad del mismo, se presenta en el Anexo 15.

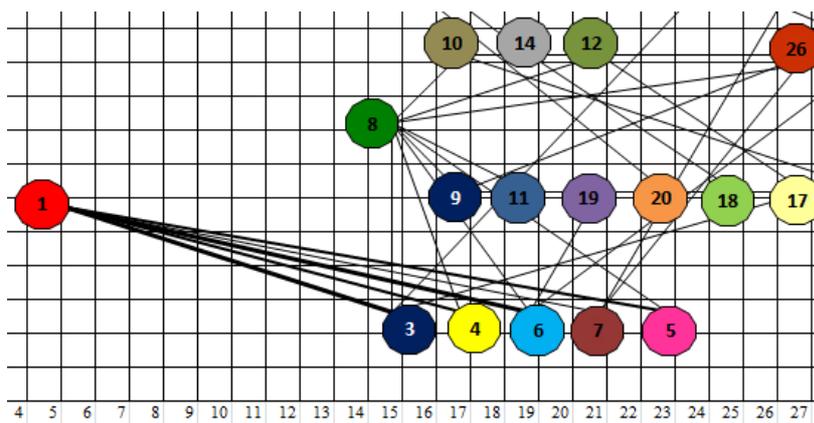


Figura 17. Diagrama de relaciones de actividades entre la bodega#1 y estaciones de corte (3,4,5,6,7).

Elaboración propia.

En éste, se observa que la mayor cantidad de flujo de materiales se produce entre la bodega#1 y las estaciones de corte, donde se transportan entre 2000 y 4600 gramos de materia prima, que representa el peso de cada plancha. De igual manera entre la estación A31 (que es donde se colocan los ojajillos en la caña de la bota en la sección de aparado), en la que primero se acumula un lote con un total de 100 botas y se traslada el mismo al área R26, donde se da forma a los talones en la línea de armado. Este lote representa una gran cantidad de peso, representando un total de 19100 gramos.

Una vez que se determinó dónde ubicar cada una de las áreas, se procede a establecer el espacio físico disponible en la instalación, frente al que se utilizará por parte de las diferentes estaciones dentro de la línea de producción. Para esto, se obtiene cada una de las dimensiones reales que disponen las áreas actualmente y se las sobrepone al diagrama de relaciones obtenido anteriormente. Con esto, se consigue la cantidad de espacio que deben ocupar los diferentes lugares de trabajo, lo cual se observa en el diagrama de relaciones de espacio que se encuentra en el Anexo 16. Donde, ya se puede apreciar el tamaño real de cada una de las estaciones, distribuidas como están en la actualidad y sin tomar en cuenta aún las demás áreas de la planta. En la siguiente figura se muestra una parte del diagrama.

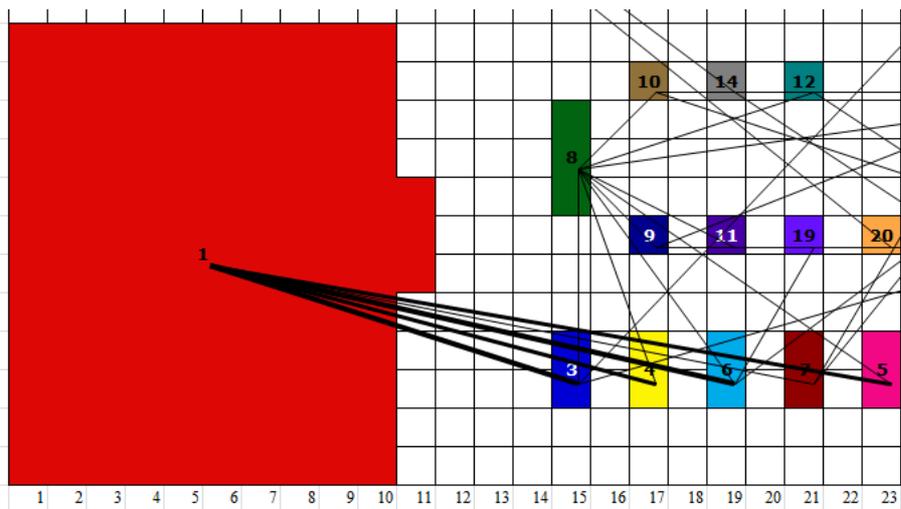


Figura 18. Diagrama de relaciones de espacio entre la bodega#1 y estaciones de corte (3,4,5,6,7).
Elaboración propia.

A continuación, se pueden generar varias alternativas de disposiciones físicas para la empresa, a partir de asignar una distancia corta a aquellas áreas que compartan un flujo de materiales alto. Debido a que se requiere generar una alternativa de mejoramiento de *layout*, se procede a aproximar las estaciones que tengan mayor cantidad de flujo, disminuyendo las distancias que las separan. Además, debido a que algunas máquinas se encuentran unidas unas con otras o son manipuladas por el mismo operador, no se las puede separar y se las unificó como una sola, con lo que se obtuvo un total de 46 lugares de trabajo, en vez de los 49 originales. Por ejemplo, en el caso de las estaciones G18a y G18b de la línea de *goodyear*, donde se coloca la suela a la bota primero manualmente y luego con maquinaria, respectivamente, ambas actividades son realizadas por el mismo operario y dependen una con la otra, por lo que no se pueden separar.

Los cambios más representativos se hicieron al mover las estaciones de corte que tienen un mayor flujo de materiales con la bodega #1, es decir C1, C4 y C5, ubicándolas cerca de la misma. Esto genera que el operador encargado en recoger los rollos de la bodega

para empezar el proceso de corte, tenga que recorrer una menor distancia hacia su estación de trabajo.

Además, los lugares de trabajo G7 y G11 referentes al área de *goodyear*, actualmente están ubicados en la parte superior de la instalación cercanos a la línea de acabados, lo que representa el mayor problema de flujo de inventario en proceso debido a que se deben transitar por ambas estaciones y regresar a la línea de *goodyear*. Por esto, se decidió situar ambos lugares de trabajo de forma adyacente a dicha área de producción. Esto genera la eliminación de viajes innecesarios por parte de los operadores, lo que se ve reflejado en una disminución de tiempo y de costos para la manufactura del producto. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se procedió a elaborar una propuesta de *layout* de la planta de calzado utilizando el procedimiento SLP, el cual se encuentra en el Anexo 17.

Dentro de éste diagrama, se especifican cada una de las zonas de la planta, donde algunas de ellas se encuentran numeradas, por lo que en la siguiente tabla se indica el significado de las codificaciones para cada una de ellas.

Tabla 9. Significado de las numeraciones para las estaciones.

Numeración	Estación
47	Máquinas de <i>Goodyear</i>
48	Pasillos
49	Máquinas de Aparado
50	Máquinas de Corte
51	Inventario en Proceso
53	Almacenamiento de Hormas
60	Estanterías

Elaboración propia.

Una vez obtenida la distribución de la planta de calzado mediante esta metodología, se procedió a determinar primeramente las distancias que existirían entre las estaciones que comparten flujo entre ellas, para con esto establecer los tiempos de recorrido y los costos

asociados, y así estimar la función objetivo de esta propuesta, y compararla con la obtenida en la planta actual.

Las distancias se las estableció calculando las trayectorias entre centroides de las diferentes estaciones, descrito en la sección 3.5, a través del *layout* de la planta dividido en cuadrículas de 1 metro por 1 metro. En el Anexo 18 se encuentran las distancias entre áreas para el procedimiento SLP, en la que se observa una disminución de las separaciones entre las áreas que comparten un mayor flujo de materiales, como por ejemplo; las estaciones A31 y R26, están alejadas por 16,58 metros en la planta actual, mientras que en el procedimiento SLP, la misma se reduce a 10,50 metros. Asimismo, se determinaron los costos relacionados a los tiempos de traslado de una estación a otra, haciendo uso de las distancias entre ellas, mediante la ecuación 3.5.1.1, los mismos que se muestran en el Anexo 19.

Una vez obtenidos estos datos, se calculó el objetivo basado en las distancias descrito en la sección 3.3, con el cual se obtuvo un costo de \$31400, el cual representa que el costo referente a traslados de materiales entre estaciones, es menor que el obtenido con la planta actual. De igual manera, se estimó la eficiencia del *layout* para usarlo como indicador y hacer una comparación con la planta actual. Mediante la misma ecuación 3.5.1.2, se obtuvo:

$$z = \frac{20338,33}{59629,54}, \text{ se tiene una eficiencia de } 34,11\% \text{ que representa un valor mayor al}$$

calculado para la disposición inicial, pero aún bajo y no necesariamente el óptimo, por lo que se lo comparará con los valores de las demás propuestas.

3.6.2 Método CRAFT.

La segunda propuesta de *layout*, tiene que ver con un algoritmo de mejoramiento, es decir que es necesaria una disposición inicial para poder llevarlo a cabo. Por esto, se utilizará

como base la instalación actual de la planta de calzado, así como los datos de flujos y costos, previamente establecidos en la sección 3.5.

Una vez que se cuenta con la información inicial como son la tabla desde – hacia y los costos de manejo o movimiento de materiales, se procede a utilizar un complemento (*add in*) para *layouts* de instalaciones en *Microsoft Excel*. El mismo fue desarrollado por la Universidad de Texas en Austin², para poder facilitar en gran medida el uso del algoritmo que utiliza el método CRAFT, y de esta forma ingresar los datos iniciales tales como: número y nombre de estaciones, la dimensión de la instalación, unidad de escala, largo y ancho de cada una de las áreas de trabajo, además determinar si son fijos o variables los departamentos, con lo que se puede definir de la mejor manera la disposición y obtener una nueva planta. En la siguiente figura, se presenta los datos iniciales para el complemento.

Layout Data

Problem Name:	Tesis
Number Depts.:	50
Fixed Points:	0
Dimension:	m.

 Define Facility

Facility Information

Scale-m/unit	1	Cells
Length-m	36	36
Width-m	50	50
Area-sq.m	1384	1384

Department Information

	Name	F/V	Area	Cells
Dept. 1	Bo. #1	F	122,83	122,83
Dept. 2	Bo. #2	F	98,54	98,54
Dept. 3	C1	V	1,5	1,5
Dept. 4	C3	V	1,5	1,5
Dept. 5	C4	V	1,5	1,5
Dept. 6	C5	V	1,5	1,5
Dept. 7	C14	V	1,5	1,5
Dept. 8	A0	V	3	3
Dept. 9	A1	V	0,75	0,75
Dept. 10	A2	V	0,75	0,75
Dept. 11	A3	V	0,75	0,75
Dept. 12	A12	V	0,75	0,75
Dept. 13	A18	V	0,75	0,75
Dept. 14	A19	V	0,75	0,75
Dept. 15	A27	V	0,75	0,75
Dept. 16	A31	V	0,75	0,75
Dept. 17	A39	V	0,75	0,75
Dept. 18	A40	V	0,75	0,75
Dept. 19	A41	V	0,75	0,75
Dept. 20	A43	V	0,75	0,75
Dept. 21	A44	V	0,75	0,75
Dept. 22	A45	V	0,75	0,75
Dept. 23	A47	V	0,75	0,75
Dept. 24	A48	V	0,75	0,75
Dept. 25	A50	V	0,75	0,75

	Name	F/V	Area	Cells
Dept. 26	P1	V	0,75	0,75
Dept. 27	P2	V	0,75	0,75
Dept. 28	R2	V	1,5	1,5
Dept. 29	R3	V	3	3
Dept. 30	R6	V	1,5	1,5
Dept. 31	R7	V	1,5	1,5
Dept. 32	R15	V	1,5	1,5
Dept. 33	R18	V	3	3
Dept. 34	R24	V	1,5	1,5
Dept. 35	R26	V	1,5	1,5
Dept. 36	G7	V	1,81	1,81
Dept. 37	G14	V	2,98	2,98
Dept. 38	G16	V	2,98	2,98
Dept. 39	G15	V	2,98	2,98
Dept. 40	G11	V	1,81	1,81
Dept. 41	G18	V	2,98	2,98
Dept. 42	AC1a	V	2,28	2,28
Dept. 43	AC1b	V	2,28	2,28
Dept. 44	AC2a	V	2,28	2,28
Dept. 45	AC2b	V	2,28	2,28
Dept. 46	AC3	V	2,28	2,28
Dept. 47	Máquinas de Goodgear	V	18	18
Dept. 48	Pasillos	F	624	624
Dept. 49	Máquinas de Aparado	V	5	5
Dept. 50	Máquinas de Corte	V	12	12

Figura 19. Datos iniciales para el método CRAFT.

Fuente: Jensen, 2004.

² Add in obtenido de: http://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/omie/computation/unit/lay_add/lay_add.html

Una de las limitaciones que tiene éste método, es que en cada iteración intercambia departamentos que se encuentren adyacentes, es decir que estén uno al lado del otro, y de igual manera solo toma en cuenta si tienen el mismo tamaño para realizar el cambio. De la misma forma, tiene la condición de aceptar un máximo de 50 áreas de trabajo, lo que es bastante limitado al momento de establecer la planta actual.

Considerando esto, se procede a definir la instalación inicial, es decir la que se tiene actualmente. Para ello, al igual que en la metodología SLP, se cuenta con 46 estaciones definidas, de las cuales se conoce todas sus dimensiones en metros. Con ello, se establece que la escala a utilizar es de uno, dividiendo el *layout* en cuadrículas de 1 metro por 1 metro. A partir de que se tiene un límite de estaciones, se utiliza las 4 restantes con áreas que se puedan intercambiar por parte del algoritmo, estas son: las máquinas de corte, aparato y *goodyear*, así como los pasillos, y se procede a definir el área que ocupan cada una de ellas, lo que será representado en un número establecido de cuadros. Asimismo, el movimiento o cambio de lugar de las bodegas, es irreal para la propuesta, es por esto que se establecen como fijas ambas áreas para que no sean intercambiadas por el algoritmo. Utilizando las tablas de flujo y de costos, ya definidas con anterioridad en la sección 3.5, se procede a definir la instalación, lo cual se muestra en la siguiente figura.

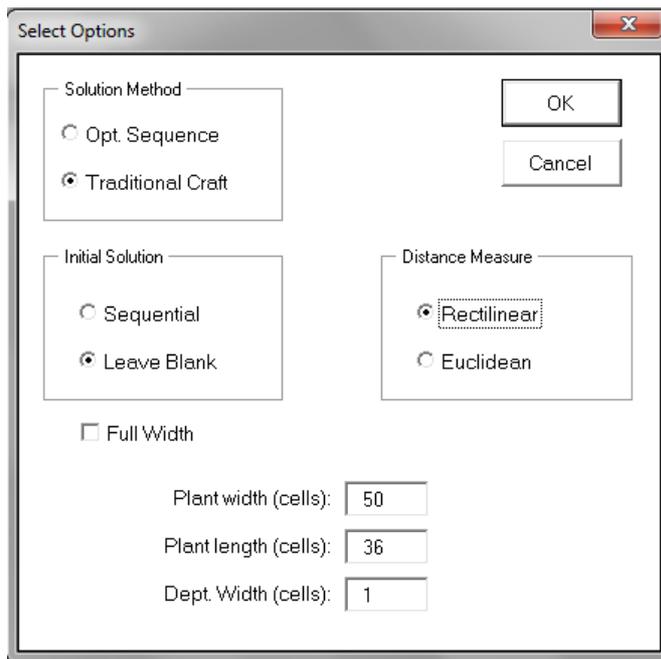


Figura 20. Definir la instalación utilizando el complemento para CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

Como se puede observar para las opciones, primeramente se escoge la metodología CRAFT y se selecciona una solución inicial en blanco, justamente para plantear el *layout* de la planta actual de calzado. Además, se observa que la instalación tiene una dimensión de 50 metros por 36 metros, y la distancia calculada por el algoritmo debe ser la misma que la basada en la función objetivo utilizada para las demás propuestas, es decir una trayectoria rectilínea entre los centroides de los distintos departamentos.

Una vez definida la instalación, se ubica cada una de las estaciones dentro del área asignada, lo que se observa en la siguiente figura.

Tabla 10. Resultados del método CRAFT.

Método CRAFT				
Costo Inicial:	\$ 43.878,50			
Iteraciones	Tipo	Acción	Estaciones	Costo
1	Cambio:	16 con 25	A31 con A50	\$ 27.476,54
2	Cambio:	29 con 42	R3 con AC1a	\$ 24.711,81
3	Cambio:	3 con 5	C1 con C4	\$ 23.073,17
4	Cambio:	3 con 28	C1 con R2	\$ 22.394,02
5	Cambio:	30 con 36	R6 con G7	\$ 21.888,17
6	Cambio:	13 con 17	A18 con A39	\$ 21.582,82
7	Cambio:	31 con 40	R7 con G11	\$ 21.395,50
8	Cambio:	11 con 26	A3 con P1	\$ 21.243,98
9	Cambio:	4 con 6	C3 con C5	\$ 21.159,27
10	Cambio:	9 con 13	A1 con A18	\$ 21.020,77
11	Cambio:	37 con 41	G14 con G18	\$ 20.959,07
12	Cambio:	19 con 26	A41 con P1	\$ 20.901,39
13	Cambio:	33 con 39	R18 con G15	\$ 20.871,79
14	Cambio:	10 con 18	A2 con A40	\$ 20.860,60
15	Cambio:	23 con 27	A47 con P2	\$ 20.852,68
16	Cambio:	12 con 15	A12 con A27	\$ 20.846,73
17	Cambio:	34 con 40	R24 con G11	\$ 20.842,97
18	Cambio:	9 con 20	A1 con A43	\$ 20.839,97
19	Cambio:	11 con 12	A3 con A12	\$ 20.837,25
20	Cambio:	15 con 20	A27 con A43	\$ 20.835,14
21	Cambio:	30 con 31	R6 con R7	\$ 20.833,03
22	Cambio:	38 con 41	G16 con G18	\$ 20.831,96
23	Cambio:	15 con 24	A27 con A48	\$ 20.831,35
24	Cambio:	14 con 18	A19 con A40	\$ 20.831,21
25	Cambio:	14 con 20	A19 con A43	\$ 20.830,95
26	Cambio:	43 con 44	AC1b con AC2a	\$ 20.830,89

Fuente: Jensen, 2004.

Se puede observar, que el cambio más representativo se realiza al momento de intercambiar las estaciones A31 con A50, debido a que A31 es el último lugar de trabajo de la línea de armado, y donde se acumula el lote de producto que representa gran cantidad de flujo, para dirigir el mismo hacia la estación R26 de armado, por lo que se reduce la distancia entre ambas áreas con este cambio. El costo final obtenido por éste algoritmo, es de \$20831.

Lo cual representa una baja considerable a la primera propuesta y a la obtenida en la instalación actual, es decir que se produjo una reducción entre las separaciones que existen entre las áreas que comparten flujo, disminuyendo tiempos de manejo de materiales, los cuales son innecesarios. En el Anexo 21 se encuentra el diagrama de la instalación del método CRAFT, en el que se observa que existió la limitación al realizar intercambios de estaciones que están juntas o que tienen la misma superficie, ya que se pudo haber utilizado los espacios de los pasillos, o de las máquinas no utilizadas, para situar las áreas de trabajo y reducir las separaciones entre las mismas, para optimizar espacio, tiempo y recursos de la organización. Debido a estas limitaciones, el costo obtenido no es el óptimo, con lo cual se espera que mejorará en las siguientes propuestas que no estén atadas a dichas condiciones.

Para comparar las diferentes propuestas, además de la función representada en el objetivo basado en las distancias de la sección 3.3, se calculó la eficiencia de la segunda propuesta, mediante la ecuación 3.5.1.2, la cual se muestra a continuación:

$$z = \frac{30180,73}{59629,54}, \text{ se obtiene una eficiencia de } 50,61\% \text{ que constituye un valor mucho}$$

mayor a los calculados tanto para la disposición inicial, como para la primera propuesta, el cual representa que se juntaron de mayor forma las estaciones que comparten flujo de materiales entre ellas. Pero debido a las limitaciones del procedimiento, se espera obtener un mejor valor para las siguientes metodologías y tomar una decisión sobre la mejor propuesta de instalación para la empresa.

3.6.3 MÚLTIPLE.

Este algoritmo es muy parecido al método CRAFT, ya que necesita como datos iniciales, los flujos entre estaciones, representados en la tabla desde – hacia, así como la tabla

de costos entre las diferentes áreas, la cual está definida en función de las distancias entre los departamentos, y también es un algoritmo de intercambio pareado.

Inicialmente, fue desarrollado para disposiciones con varios pisos, pero también puede ser utilizado para instalaciones con únicamente una planta baja, como es el caso de la organización actual. (Tompkins et al. 2006, p. 344)

Además, MÚLTIPLE no tiene las limitaciones que se presentaron en el método CRAFT, es decir que los departamentos no deben tener obligatoriamente una forma rectangular, y el intercambio puede ser entre cada una de las estaciones, sin importar que sean adyacentes o que tengan el mismo tamaño. (Tompkins et al. 2006, p. 344)

Asimismo, esta metodología requiere de las llamadas “curvas para llenar el espacio”, es decir el trazo de una línea que atraviesa cada cuadrado de la instalación exactamente una vez. La más conocida es la curva de Hilbert, y es utilizada para ubicar las estaciones una a continuación de otra, a través de una secuencia de llenado y el área que ocupan cada uno de los departamentos, la misma que se describe en la sección 2.1.6.2.5. (Hobson, 1950)

Para esto, se utilizará el mismo complemento para *Microsoft Excel*, empleado para realizar el método CRAFT, pero con la opción de llenado secuencial para utilizar el algoritmo MÚLTIPLE. La secuencia de llenado para la disposición está dada por el orden en que se encuentran las estaciones ubicadas por zonas en la actual disposición, es decir empezando con las bodegas, siguiendo con las líneas de corte, aparado, armado, *goodyear* y finalizando con acabados, cada una con su respectivo número de cuadros, para ubicarlos en el *layout* cuadrado de 1 metro por 1 metro, tal cual los anteriores procedimientos. Esta secuencia se describe en la siguiente tabla.

Tabla 11. Secuencia de la disposición inicial para MÚLTIPLE.

Secuencia de llenado para el algoritmo MÚLTIPLE			
Estación	Secuencia	Área (m²)	Número de Cuadrados
Bodega #1	1	122,83	123
Bodega #2	2	98,54	99
C1	3	1,5	2
C3	4	1,5	2
C4	5	1,5	2
C5	6	1,5	2
C14	7	1,5	2
A0	8	3	3
A1	9	0,75	1
A2	10	0,75	1
A3	11	0,75	1
A12	12	0,75	1
A18	13	0,75	1
A19	14	0,75	1
A27	15	0,75	1
A31	16	0,75	1
A39	17	0,75	1
A40	18	0,75	1
A41	19	0,75	1
A43	20	0,75	1
A44	21	0,75	1
A45	22	0,75	1
A47	23	0,75	1
A48	24	0,75	1
A50	25	0,75	1
P1	26	0,75	1
P2	27	0,75	1
R2	28	1,5	2
R3	29	3	3
R6	30	1,5	2
R7	31	1,5	2
R15	32	1,5	2
R18	33	3	3
R24	34	1,5	2
R26	35	1,5	2
G7	36	1,81	2
G14	37	2,98	3

G16	38	2,98	3
G15	39	2,98	3
G11	40	1,81	2
G18	41	2,98	3
AC1a	42	2,28	3
AC1b	43	2,28	3
AC2a	44	2,28	3
AC2b	45	2,28	3
AC3	46	2,28	3

Elaboración propia.

Como se puede observar, se cuenta con las 46 estaciones iniciales, ya que no hay la necesidad de ubicar las restantes, debido al método de llenado que tiene el algoritmo. De igual manera, se establece como fijas ambas bodegas, para obtener una instalación resultante más realista y que se pueda acoplar a la actual. Obteniendo esto, se procede a establecer los datos iniciales para el complemento, los cuales se muestran en el Anexo 22. Con esto, se procede a definir la instalación, tal y como se muestra en la siguiente figura.

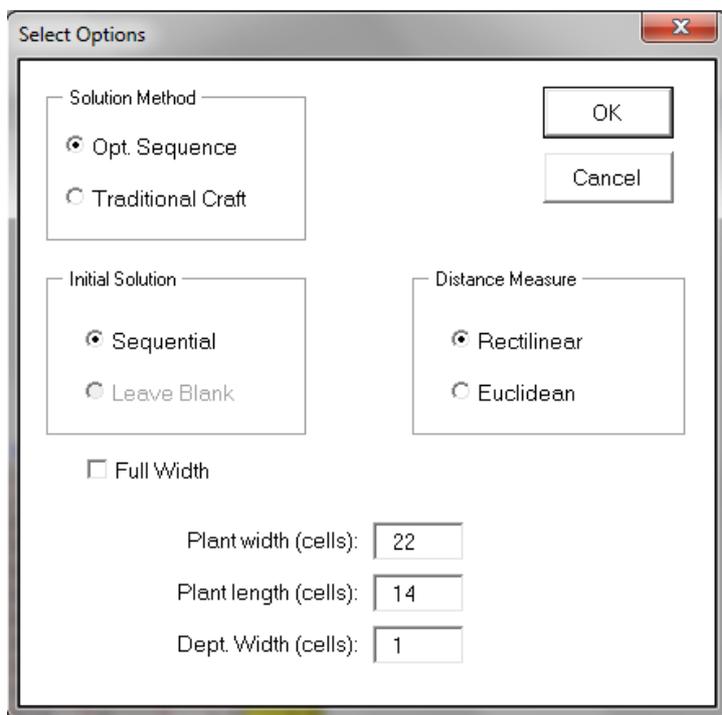


Figura 22. Definir la instalación utilizando el complemento para MÚLTIPLE.

Fuente: Jensen, 2004.

Como se puede observar para las opciones, primeramente se escoge el método de solución de buscar la secuencia óptima, esto genera que el algoritmo cree una curva para la instalación, descrita en la sección 2.1.6.2.5. Además de esto, se observa que la instalación tiene una dimensión de 22 metros por 14 metros, la cual está dada para abastecer el área total de las estaciones, sin tomar en cuenta el espacio total de la disposición actual, debido a que si se incluyen pasillos o zonas de abastecimiento, el algoritmo las agruparía como una sola área, lo cual no tendría sentido. Finalmente, la distancia calculada por el método debe ser la misma que la basada en la función objetivo utilizada para las demás propuestas, es decir una trayectoria rectilínea entre los centroides de los distintos departamentos.

La curva inicial definida por el algoritmo se muestra en la siguiente figura.

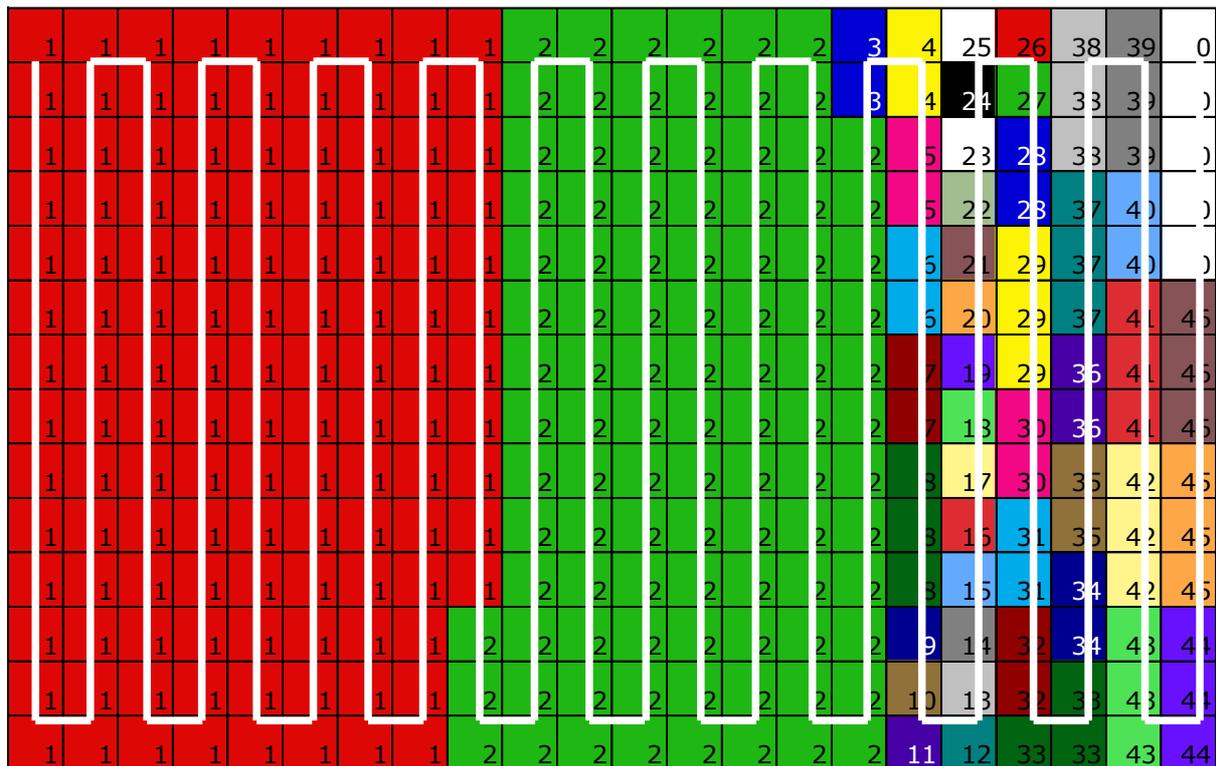


Figura 23. Curva definida por el algoritmo para MÚLTIPLE.
Fuente: Jensen, 2004.

Se puede observar que las estaciones se van ubicando de acuerdo al recorrido de la línea y a la secuencia de llenado. Con lo que no se toma en cuenta los pasillos ni las distancias entre estaciones, por esto la función objetivo inicial basada en las distancias definida en la sección 3.3, es de \$15152, la cual se expresa en términos de las distancias entre centroides de las estaciones, flujos inventario en proceso entre las mismas, y costos referentes a los tiempos de traslado del material. Debido a que las áreas se encuentran mucho más cercanas entre ellas, se obtiene un costo menor. Posteriormente, se procede a buscar una solución mediante el algoritmo donde se corre el modelo, y una vez finalizado, resultaron un total de 29 iteraciones, las cuales se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 12. Resultados con la curva inicial para MÚLTIPLE.

MÚLTIPLE para la curva inicial				
Costo Inicial:	\$ 15.151,54			
Iteraciones	Tipo	Acción	Estaciones	Costo
1	Cambio:	8 con 3	A0 con C1	\$ 12.913,61
2	Cambio:	35 con 3	R26 con C1	\$ 11.433,74
3	Cambio:	4 con 8	C3 con A0	\$ 11.257,40
4	Cambio:	26 con 18	P1 con A40	\$ 11.102,10
5	Cambio:	42 con 30	AC1a con R6	\$ 10.986,99
6	Cambio:	3 con 7	C1 con C14	\$ 10.781,84
7	Cambio:	20 con 13	A43 con A18	\$ 10.695,53
8	Cambio:	38 con 34	G16 con R24	\$ 10.632,81
9	Cambio:	41 con 29	G18 con R3	\$ 10.569,31
10	Cambio:	40 con 28	G11 con R2	\$ 10.546,48
11	Cambio:	18 con 10	A40 con A2	\$ 10.529,46
12	Cambio:	29 con 34	R3 con R24	\$ 10.517,63
13	Cambio:	39 con 37	G15 con G14	\$ 10.508,11
14	Cambio:	43 con 34	AC1b con R24	\$ 10.503,41
15	Cambio:	10 con 21	A2 con A44	\$ 10.499,65
16	Cambio:	16 con 9	A31 con A1	\$ 10.496,22
17	Cambio:	24 con 22	A48 con A45	\$ 10.493,05
18	Cambio:	14 con 12	A19 con A12	\$ 10.490,66
19	Cambio:	46 con 44	AC3 con AC2a	\$ 10.488,44
20	Cambio:	37 con 29	G14 con R3	\$ 10.486,85
21	Cambio:	45 con 30	AC2b con R6	\$ 10.485,46
22	Cambio:	44 con 30	AC2a con R6	\$ 10.479,58
23	Cambio:	46 con 45	AC3 con AC2b	\$ 10.477,95
24	Cambio:	27 con 21	P2 con A44	\$ 10.477,24
25	Cambio:	11 con 18	A3 con A40	\$ 10.476,59
26	Cambio:	15 con 12	A27 con A12	\$ 10.476,13
27	Cambio:	16 con 35	A31 con R26	\$ 10.475,93
28	Cambio:	24 con 10	A48 con A2	\$ 10.475,80
29	Cambio:	14 con 18	A19 con A40	\$ 10.475,73

Fuente: Jensen, 2004.

Se observa que el intercambio más representativo se da entre las estaciones A0 de la línea de aparado, con C1 de el área de corte. Esto se debe a que la bodega#1 tiene un mayor flujo con las estaciones de corte, por lo que debe disminuir la distancia a su centroide. Al final, se obtuvo un costo referencial de \$10476, generado por la curva obtenida con el

algoritmo. En la siguiente imagen se encuentra la distribución de la planta una vez hechas las iteraciones.

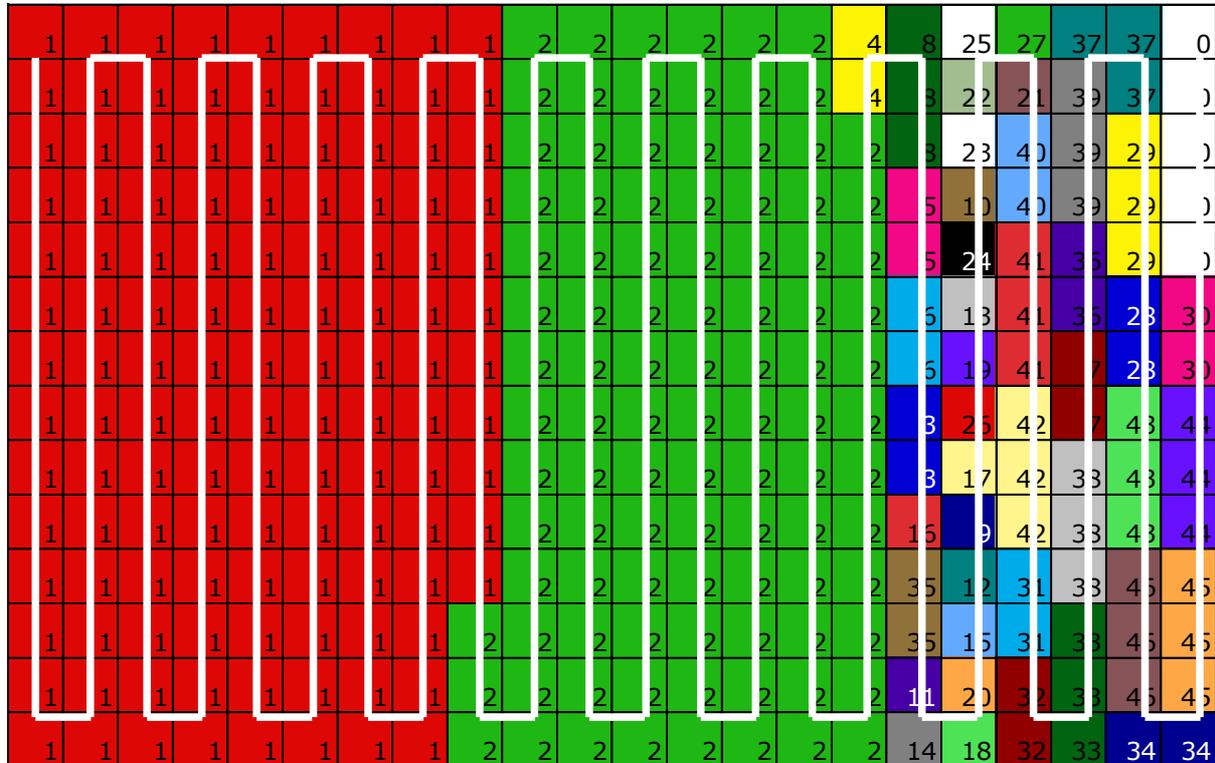


Figura 24. Resultado obtenido por la curva definida por el algoritmo para MÚLTIPLE.
Fuente: Jensen, 2004.

Como se observa en la figura, esta solución no es la más recomendable, debido a que las bodegas están ubicadas una a continuación de la otra, es decir que la bodega #1 no es adyacente a ninguna de las demás estaciones, debido a que la forma de la curva generada por el algoritmo no es la más adecuada para encontrar la distribución óptima.

A partir de esto, se procedió a elaborar una curva por cuenta propia, primeramente a mano, y luego de varios intentos se generó una alternativa a la primera curva obtenida para utilizarla y comparar los resultados con los obtenidos. Seguidamente, a través de la secuencia de llenado se procedió a ubicar cada una de las estaciones dentro del diagrama. A

continuación, se muestra una imagen con la nueva curva establecida y los departamentos ubicados dentro de la misma.

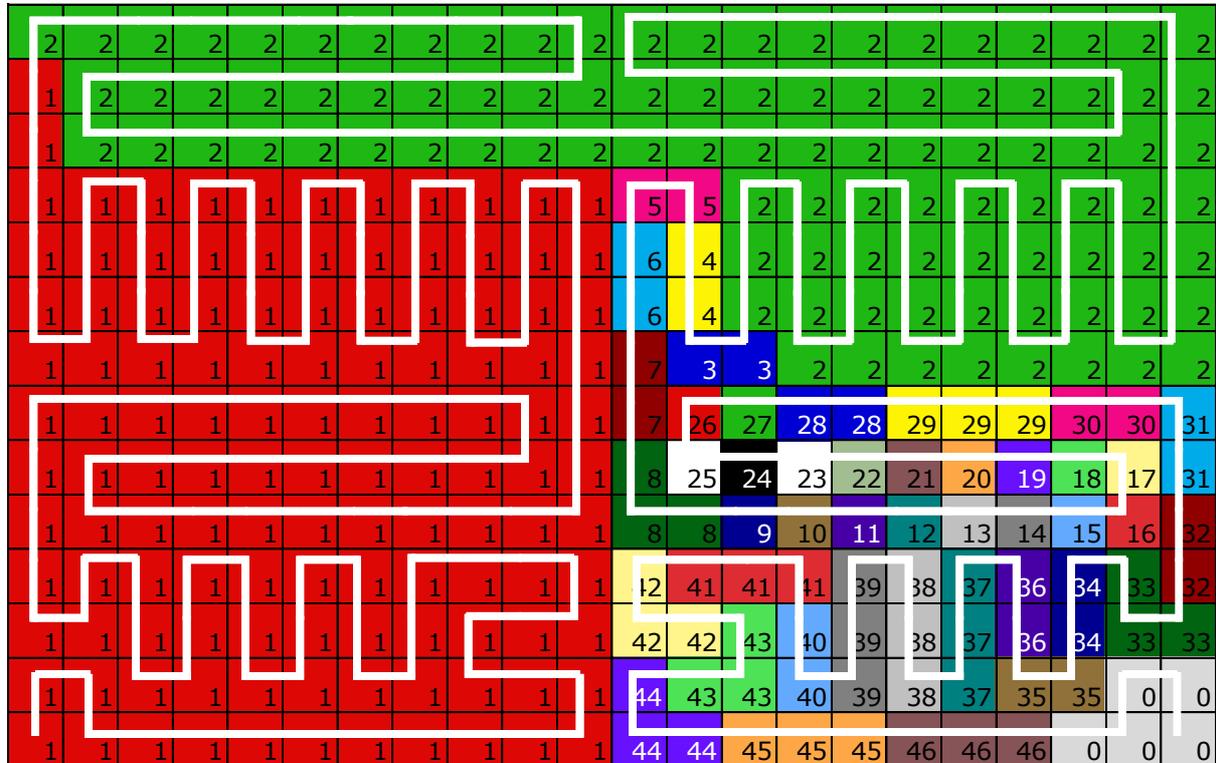


Figura 25. Curva definida manualmente para MÚLTIPLE.
Fuente: Jensen, 2004.

Donde se observa que en esta disposición, ambas bodegas tienen adyacencias con las estaciones y es mucho más viable para representarla en el *layout*. Conocido esto, se procede a correr el modelo definiendo las mismas características que el anterior. El principal cambio es que la función objetivo inicial basada en las distancias, definida en la sección 3.3, es menor que el obtenido con la curva inicial. Se obtiene un costo inicial de \$14015, debido en gran parte a que las distancias entre centroides están más cercanas entre ellas.

Seguidamente, se procede a correr el modelo, donde una vez finalizado se obtienen un total de 22 iteraciones, lo cual es menor al obtenido al anterior resultado. En la tabla 13 se muestra el total de iteraciones obtenidas.

Tabla 13. Resultados con la curva definida manualmente para MÚLTIPLE.

MÚLTIPLE para la curva definida manualmente				
Costo Inicial:	\$ 14.015,20			
Iteraciones	Tipo	Acción	Estaciones	Costo
1	Cambio:	32 con 35	R15 con R26	\$ 9.822,07
2	Cambio:	17 con 27	A39 con P2	\$ 9.391,15
3	Cambio:	3 con 26	C1 con P1	\$ 9.157,45
4	Cambio:	5 con 7	C4 con C14	\$ 8.769,36
5	Cambio:	3 con 25	C1 con A50	\$ 8.519,09
6	Cambio:	8 con 3	A0 con C1	\$ 8.294,71
7	Cambio:	4 con 25	C3 con A50	\$ 8.183,74
8	Cambio:	8 con 4	A0 con C3	\$ 7.925,22
9	Cambio:	4 con 6	C3 con C5	\$ 7.664,26
10	Cambio:	9 con 17	A1 con A39	\$ 7.550,63
11	Cambio:	7 con 28	C14 con R2	\$ 7.474,93
12	Cambio:	7 con 9	C14 con A1	\$ 7.406,80
13	Cambio:	13 con 24	A18 con A48	\$ 7.334,70
14	Cambio:	36 con 40	G7 con G11	\$ 7.291,84
15	Cambio:	19 con 23	A41 con A47	\$ 7.251,49
16	Cambio:	37 con 39	G14 con G15	\$ 7.232,46
17	Cambio:	7 con 13	C14 con A18	\$ 7.218,40
18	Cambio:	4 con 7	C3 con C14	\$ 7.175,15
19	Cambio:	25 con 26	A50 con P1	\$ 7.143,89
20	Cambio:	43 con 36	AC1b con G7	\$ 7.140,76
21	Cambio:	29 con 38	R3 con G16	\$ 7.127,50
22	Cambio:	43 con 36	AC1b con G7	\$ 7.130,62

Fuente: Jensen, 2004.

Aquí se observa que el intercambio de las estaciones de armado R15 y R26 generan un menor costo, ya que junta a las áreas A31 con R26, que es donde se produce el lote de productos, disminuye la distancia entre estos lugares de trabajo donde se genera un alto flujo de materiales. Al final, se obtuvo un costo de \$7131, generado por la curva diseñada por nosotros los analistas, que es menor a lo obtenido anteriormente, el cual representa que las distancias entre áreas que comparten flujo es mucho menor, lo que disminuye los viajes de

transporte de materiales, así como los tiempos y los costos asociados. En la siguiente imagen se muestra la distribución de la instalación una vez terminadas las iteraciones.

2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28	28	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	26	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	8	25	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	8	4	13	9	38	38	38	30	30	31
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	4	19	22	21	20	23	18	27	31
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	17	10	11	12	24	14	15	16	35
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42	41	41	41	37	29	39	40	34	33	35
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42	42	43	43	37	29	39	40	34	33	33
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	44	36	36	43	37	29	39	32	32	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	44	44	45	45	45	46	46	46	0	0	0

Figura 26. Resultado obtenido por la curva definida manualmente para MÚLTIPLE.

Fuente: Jensen, 2004.

Una vez establecido el resultado, se debe comparar con las demás propuestas, para esto es necesario obtener la disposición del diagrama, tomando en cuenta pasillos y otras áreas que no se tomaron en cuenta al momento de realizar el algoritmo MÚLTIPLE. Para esto, se toma la disposición inicial graficada en Autocad 2012®, y se procede a mover las estaciones de acuerdo a la figura 26.

Asimismo, se establece a las bodegas en los mismos lugares que estaban ubicadas inicialmente, y las áreas que estaban ocupadas por maquinarias innecesarias, o zonas exclusivamente dedicadas a almacenamiento de inventario en proceso, son movidas a otros sitios para permitir ubicar las estaciones de manera más cercana.

A partir de esto, se estableció un nuevo *layout* para la planta de calzado, cambiando todas las ubicaciones de las estaciones, a excepción de las bodegas. La disposición de la instalación utilizando el algoritmo MÚLTIPLE, se muestra en el Anexo 23. En éste, se observa que no existen limitaciones para la ubicación de las diferentes áreas. Por ello, se procedió a mover los lugares designados para almacenamiento de inventario en proceso, al igual de las maquinarias innecesarias, para situar las estaciones de trabajo dentro de la instalación. Asimismo, se utilizaron los espacios designados para pasillos en la planta actual, para poder ubicar las áreas de manera que estén cercanas y el manejo o traslado de materiales sea mínimo, con lo que se disminuyan tiempos de traslados y emplearlo en la manufactura del producto.

Para poder comparar con las demás propuestas, es necesario obtener la función objetivo que se basa en las distancias, descrita en la sección 3.3, para ello se dividió el *layout* en cuadrículas de 1 metro por 1 metro para poder determinar los centroides de cada una de las estaciones. El diagrama de la disposición dividido en cuadros se encuentra en el Anexo 24.

Una vez obtenido las ubicaciones de los departamentos, se procede a determinar las distancias existentes entre las mismas. Para ello, se emplea el mismo procedimiento que se utilizó para obtener la función objetivo en la disposición inicial, es decir las separaciones que existen entre centroides. Estos, fueron calculados de acuerdo al punto medio del área que dispone cada estación, las cuáles en su mayoría tienen forma rectangular. En el Anexo 25 se localiza la tabla de distancias entre estaciones para el algoritmo MÚLTIPLE. En la misma, se observa una gran reducción entre las distancias que comparten un mayor flujo de materiales. Es el caso de las estaciones de corte C1, C3 y C5, donde las distancias con la bodega #1, disminuyeron 1,5; 4,25 y 3,5 metros respectivamente, en relación a la planta actual. Asimismo, las estaciones A31 de armado y R26 de armado, se encuentran juntas, lo que

quiere decir que el tiempo de traslado de materiales es mínimo, lo cual aumenta la productividad y disminuye los costos. De igual manera, se estableció los costos asociados a las separaciones que existen entre áreas, el cual se describe en el Anexo 26.

Así, se puede determinar que la función objetivo basada en distancias, descrita en la sección 3.3, es de \$12458, lo que representa una menor distancia entre áreas que comparten flujo de materiales, disminuyendo la cantidad de viajes por parte de operarios, resultando en la reducción de actividades que no agregan valor al producto. Asimismo, se calculó la eficiencia de la tercera propuesta, la cual se basa en la ecuación 3.5.1.2, que se muestra a continuación:

$$z = \frac{48817,67}{59629,54}, \text{ se obtiene una eficiencia de } 81,87\% \text{ que constituye el valor más alto}$$

alcanzado entre las diferentes propuestas hasta ahora, lo que constituye que una gran parte de estaciones que comparten flujo entre ellas, están ubicadas una junta a la otra. Esto genera, que el manejo de materiales sea mínimo y no existan desperdicios de tiempo, lo cual aumenta la productividad de la organización disminuyendo costos innecesarios. Esta alternativa se comparará finalmente con lo obtenido en el modelo de la programación entera mixta, y se tomará la mejor propuesta para la empresa.

3.6.4 Programación Entera Mixta (PEM).

La cuarta propuesta de diseño de instalación, se basa en utilizar un modelo de optimización de *layout*, pero para la creación de una disposición desde cero. En el mismo, es necesario contar con departamentos que tengan formas rectangulares, lo cual se cumple con todas las áreas de la planta de calzado. Debido a esto, las dimensiones de cada lugar de trabajo junto con sus centroides, definirán por completo la ubicación de cada una de las estaciones. (Tompkins et al. 2006, p. 333)

El modelo a utilizar, está definido en la sección 2.1.6.2.6, el cual debe tener algunas adaptaciones para adecuarlo de mejor manera a la planta de calzado. Para esto, se definirán cada una de las variables a utilizar, así como de la función objetivo y las restricciones a las que está sujeta.

Detalle de los parámetros del problema:

B_x = Longitud de la planta, a través de la coordenada x .

B_y = Ancho de la planta, a través de la coordenada y .

$Largo_i$ = Longitud del departamento i .

$Ancho_i$ = Ancho del departamento i .

M = es un número muy grande, por lo que se le asigna un valor de 100000.

Variables de Decisión:

α_{ij} = Distancia no negativa entre los departamentos i y j en la coordenada x .

β_{ij} = Distancia no negativa entre los departamentos i y j en la coordenada y .

x_i = Es la coordenada x del lado izquierdo (oeste) del departamento i .

$x1_i$ = Es la coordenada x del lado derecho (este) del departamento i .

y_i = Es la coordenada y de la parte inferior (sur) del departamento i .

$y1_i$ = Es la coordenada y de la parte superior (norte) del departamento i .

$z1_{ij}$ = Es igual a 1 si el departamento i está estrictamente al este del departamento j y 0 de lo contrario.

$z2_{ij}$ = Es igual a 1 si el departamento i está estrictamente al norte del departamento j , y 0 de lo contrario. (Heragu et al. 1991)

Debido a que las estaciones ya tienen un área definida dentro de la instalación, no es necesario utilizar el parámetro del área, y de igual manera se elimina la restricción de la misma.

Como fue descrito anteriormente, se utilizará el lenguaje de programación AMPL, para facilitar los cálculos y obtener los resultados de manera más eficiente. Para ello, este programa utiliza un *solver* llamado cplex, el cual resuelve modelos de PEM. La función objetivo del modelo de programación entera mixta para diseño de *layouts*, se muestra a continuación:

$$\text{Min } z = \sum_i \sum_j f_{ij} c_{ij} (|\alpha_i - \alpha_j| + |\beta_i - \beta_j|)$$

Para definir el valor absoluto en AMPL, existe la dificultad que al definir la función, el programa la identifica como no negativas las variables y no resuelve el modelo. Es por esto, que se elevará al cuadrado la diferencia de las coordenadas de los centroides para no tener éste inconveniente. (Tobar, 2011 p.126)

Además, se utilizó la formulación del modelo de PEM, para la ubicación de máquinas dentro de una instalación, es decir en vez de utilizar variables en la dimensión i , se la utilizará en ij , como lo explican los autores Chung y Tanchoco (2010), en su *paper* del problema para la disposición de doble fila, para resolver el problema de negatividad del modelo.

Replanteando el modelo, quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Min } z = \sum_i \sum_j f_{ij} c_{ij} \left((\alpha_{ij})^2 + (\beta_{ij})^2 \right) \quad (3.6.4.2)$$

Sujeto a:

$$x1_i - x_i = \text{largo}_i \text{ para toda } i \quad (3.6.4.3)$$

$$y1_i - y_i = \text{ancho}_i \text{ para toda } i \quad (3.6.4.4)$$

$$0 \leq x_i \leq x1_i \leq B_x \text{ para toda } i \quad (3.6.4.5)$$

$$0 \leq y_i \leq y1_i \leq B_y \text{ para toda } i \quad (3.6.4.6)$$

$$\alpha_{ij} = 0.5x_i + 0.5x1_i \text{ para toda } i \quad (3.6.4.7)$$

$$\beta_{ij} = 0.5y_i + 0.5y1_i \text{ para toda } i \quad (3.6.4.8)$$

$$x1_j \leq x_i + M(1 - z1_{ij}) \text{ para todas } i \text{ y } j, i \neq j \quad (3.6.4.9)$$

$$y1_j \leq y_i + M(1 - z2_{ij}) \text{ para todas } i \text{ y } j, i \neq j \quad (3.6.4.10)$$

$$z1_{ij} + z1_{ji} + z2_{ij} + z2_{ji} \geq 1 \text{ para todas } i \text{ y } j, i < j \quad (3.6.4.11)$$

$$\alpha_{ij}, \beta_{ij} \geq 0 \text{ para toda } i \quad (3.6.4.12)$$

$$x_i, x1_i, y_i, y1_i \geq 0 \text{ para toda } i \quad (3.6.4.13)$$

$$z1_{ij}, z2_{ij} \text{ binarios para todas } i \text{ y } j, i \neq j \quad (3.6.4.14)$$

El par de restricciones 3.6.4.3 y 3.6.4.4, aseguran que las coordenadas este - oeste, y norte – sur del departamento i , estén separadas por lo que mide el largo y ancho respectivamente de la estación. Las siguientes 3.6.4.5 y 3.6.4.6, establecen que los departamentos estén dentro del límite de la longitud y del ancho de la instalación. Las restricciones 3.6.4.7 y 3.6.4.8 definen las coordenadas x y y de los centroides de cada estación. Las ecuaciones 3.6.4.9 y 3.6.4.10, aseguran que no se sobrepongan las estaciones en las coordenadas x y y . Posteriormente, 3.6.4.11 establece que no existan traslapes entre áreas. Las siguientes 3.6.4.12 y 3.6.4.13, son de no negatividad y finalmente la restricción 3.6.4.14 afirma que se trata de variables que pueden tomar únicamente los valores de cero y uno.

Una vez definido el modelo a utilizar, se procede a aplicarlo en el programa AMPL. Para esto, se cuenta con dos tipos de archivos de entrada, en el primero se plantea el modelo con los parámetros y variables, junto con la función objetivo y sus respectivas restricciones, el cual se muestra en la siguiente imagen.

```

set estaciones;

param Bx;
param By;
param largo{estaciones};
param ancho{estaciones};
param f{estaciones, estaciones};

var a{estaciones, estaciones};
var be{estaciones, estaciones};
var x{estaciones}>=0;
var y{estaciones}>=0;
var x1{estaciones}>=0;
var y1{estaciones}>=0;
var z1{estaciones, estaciones}, binary;
var z2{estaciones, estaciones}, binary;

minimize obj: sum {i in estaciones, j in estaciones: f[i,j]>0} f[i,j] * ((a[i,j])^2 + (be[i,j])^2);

subject to

rest1 {i in estaciones}: x1[i]-x[i]-largo[i]=0;
rest2 {i in estaciones}: y1[i]-y[i]-ancho[i]=0;
rest3 {i in estaciones}: x[i]+x1[i]-Bx<=0;
rest4 {i in estaciones}: y[i]+y1[i]-By<=0;
rest5 {i in estaciones, j in estaciones}: a[i,j]-0.5*x[i]-0.5*x1[i]+0.5*x[j]+0.5*x1[j]=0;
rest6 {i in estaciones, j in estaciones}: be[i,j]-0.5*y[i]-0.5*y1[i]+0.5*y[j]+0.5*y1[j]=0;
rest7 {i in estaciones, j in estaciones: i!=j}: x1[j]-x[i]-100000*(1-z1[i,j])<=0;
rest8 {i in estaciones, j in estaciones: i!=j}: y1[j]-y[i]-100000*(1-z2[i,j])<=0;
rest9 {i in estaciones, j in estaciones: i<j}: z1[i,j]+z1[j,i]+z2[i,j]+z2[j,i]-1>=0;

```

Figura 27. Modelo de PEM ingresado en AMPL.

Elaboración propia.

El segundo archivo de entrada, es donde se asigna valores a cada uno de los parámetros ingresados. Para esto, debido a la cantidad de restricciones y a la complejidad del modelo que se generaría al ingresar las 46 estaciones iniciales, se procedió a agruparlas de acuerdo a secciones, lo que se observa en la siguiente tabla.

Tabla 14. Definición de Áreas para AMPL.

Estaciones agrupadas para el modelo de AMPL	
Área	Estaciones comprendidas
Bodega #1	
Bodega #2	
Corte 1	C1
Corte 2	C3 y C5
Corte 3	C4 y C14
Aparado 1	A1, A3, A41, A43, A40, A39 y A48
Aparado 2	A0, A2, A19, A12, P1, A18, A50 y A27
Aparado 3	P2, A45, A44, A47 y A31
Armado	R2, R26, R3a, R3b, R6, R7, R15, R24, R18a y R18b
Goodyear 1	G14, G16, G15, G18a y G18b
Goodyear 2	G11 y G7
Acabados	AC1a, AC1b, AC2a, AC2b, AC3

Elaboración Propia.

Se definió un total de 12 áreas, en las cuales se agrupan las estaciones tal y como están comprendidas actualmente. Con ello, se determinó una superficie alrededor de cada área, que abarque todas las estaciones, además de pasillos alrededor de la misma, porque el modelo puede ubicar los lugares uno a continuación de otro, sin considerar áreas de tránsito. Por esto, se elaboró la siguiente tabla donde se asignan el largo y ancho de cada zona, tomando en cuenta pasillos.

Tabla 15. Definición de las dimensiones de cada área para AMPL.

Área	Largo (metros)	Ancho (metros)
Bodega #1	12,28	10
Bodega #2	10	9,85
Corte 1	3,13	2,04
Corte 2	4,18	3,13
Corte 3	4,18	3,13
Aparado 1	14,67	2,56
Aparado 2	21,65	3,33
Aparado 3	9,56	2,56
Armado	18,80	3,02
Goodyear 1	8,22	3,93
Goodyear 2	5,81	3,10
Acabados	7,81	7,06

Elaboración Propia.

Seguidamente, se elaboró el archivo donde se asignan los valores de los parámetros, el cual se observa en la siguiente imagen.

```

set estaciones:= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12;
param Bx:= 50;
param By:= 36;
param largo:=
1 12.283
2 10
3 3.1344
4 4.1813
5 4.1813
6 14.6689
7 21.6547
8 9.5576
9 18.8019
10 8.2222
11 5.8086
12 7.8125;
param ancho:=
1 10
2 9.854
3 2.035
4 3.1344
5 3.1344
6 2.5641
7 3.3352
8 2.5641
9 3.0219
10 3.931
11 3.1049
12 7.064;
param f:
1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12:=
1 0 0 118.30 415.97 292.13 0 0,0001 0,004 0,1 0 86.07 0 0
2 0 0 0 0 0 0 54.29 15.99 0 0 0 0 117.33
3 0 0 0 0 0 0 0 343.71 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0 157.23 0 11.40 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0 4.36 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 0 0 0 0,23 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0 0 1802.89 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 59.17 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 154.99 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5.71 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;

```

Figura 28. Parámetros del modelo de PEM ingresado en AMPL.
Elaboración propia.

De esta forma, para establecer la tabla desde – hacia, se sumó todos los flujos respectivos de cada área, la cual se describe en el Anexo 27. Por ejemplo; para el área de corte 2, se sumaron los flujos comprendidos entre las estaciones C3 y C5, es decir 2666,67 y 4166,67 gramos respectivamente, dando un total de 6833,33 gramos. De igual manera con la tabla de costos, que se muestra en el Anexo 28, las cuales se calcularon de acuerdo a las distancias de traslado entre estaciones que comparten flujo, para establecer un tiempo de viaje, el cual genera un costo asociado. Para facilitar el planteamiento del modelo y de la función objetivo, se procedió a crear una tabla flujo-costo, es decir la multiplicación de cada valor i, j con su respectivo, para de esta manera contar con una sola matriz. Esta fue ingresada en AMPL como parámetro f y se encuentra en el Anexo 29.

Una vez planteado el modelo y las restricciones, se procedió a correr el modelo. Debido al número de restricciones, la versión estudiantil del AMPL no es suficiente para

correr el mismo, por lo que se utilizó la versión profesional del programa. El planteamiento, se encuentra en la siguiente figura.

```

sw: ampl
ampl: option solver cplex;
ampl: model modelo5.mod; data modelo5.dat;
ampl: option cplex_options 'mipgap 0 mipdisplay 2 mipinterval 100';
ampl: solve;
CPLEX 11.2.1: mipgap 0
mipdisplay 2
mipinterval 100
MIQP Presolve eliminated 258 rows and 234 columns.
MIQP Presolve modified 1036 coefficients.
Reduced MIQP has 358 rows, 316 columns, and 1132 nonzeros.
Reduced MIQP has 252 binaries, 0 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Reduced MIQP objective Q matrix has 40 nonzeros.
Clique table members: 122.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: none, using 1 thread.
Root relaxation solution time = -0.00 sec.

```

Figura 29. Corrida del modelo de PEM en AMPL.

Elaboración propia.

Debido a la cantidad de restricciones y tamaño del modelo, el programa tarda aproximadamente 15 minutos en correr. Luego de transcurrido éste tiempo, se encontraron los siguientes resultados.

```

Elapsed time = 846.27 sec. (tree size = 2.31 MB)
666100 320 85294.1479 53 85306.5292 85294.1479 7497104 0.01%
666200 234 cutoff 85306.5292 85297.7847 7497916 0.01%
666300 160 cutoff 85306.5292 85300.4294 7498738 0.01%
666400 89 cutoff 85306.5292 85303.0269 7499257 0.00%
666500 74 cutoff 85306.5292 85303.0269 7499930 0.00%
666600 4 cutoff 85306.5292 85305.9796 7500689 0.00%

Implied bound cuts applied: 440
Flow cuts applied: 102
CPLEX 11.2.1: optimal integer solution; objective 85306.52919
7500713 MIP simplex iterations
666608 branch-and-bound nodes
Tried aggregator 2 times
No basis.
102 flow-cover cuts
440 implied-bound cuts
AMPL: display x;
x [*] :=
1 18.8019
2 0.91555
3 15.6675
4 22.9094
5 18.728
6 14.0611
7 12.6368
8 4.50348
9 0
10 2.69335
11 4.18502
12 10.9155
;

AMPL: display y;
y [*] :=
1 2.5641
2 13.073
3 6.0371
4 12.5641
5 12.5641
6 0
7 15.6985
8 0.4511
9 3.0152
10 9.142
11 6.0371
12 8.0721
;

AMPL: display x1;
x1 [*] :=
1 31.0849
2 10.9155
3 18.8019
4 27.0907
5 22.9093
6 28.73
7 34.2915
8 14.0611
9 18.8019
10 10.9155
11 9.99362
12 18.728
;

AMPL: display y1;
y1 [*] :=
1 12.5641
2 22.927
3 8.0721
4 15.6985
5 15.6985
6 2.5641
7 19.0337
8 3.0152
9 6.0371
10 13.073
11 9.142
12 15.1361
;

AMPL:

```

Figura 30. Resultados del modelo de PEM en AMPL.

Elaboración propia.

La función objetivo obtenida, es de \$85307. Esta no es comparable con los demás modelos, debido a que representa la suma producto del flujo de entre estaciones, por el costo

de traslado de los materiales, por las distancias entre los centroides de los departamentos elevadas al cuadrado. Para esto, se deben utilizar las coordenadas, dadas por el modelo, para de esta forma ubicar cada una de las estaciones, determinar sus centroides y las distancias entre los mismos. Las coordenadas de las diferentes áreas se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 16. Coordenadas para las áreas calculadas por AMPL.

Área	Coordenada x lado izquierdo (oeste)	Coordenada x lado derecho (este)	Coordenada y lado izquierdo (oeste)	Coordenada y lado derecho (este)
Bodega #1	18,80	31,08	2,56	12,56
Bodega #2	0,92	10,92	13,07	22,93
Corte 1	15,67	18,80	6,04	8,07
Corte 2	22,91	27,09	12,56	15,70
Corte 3	18,73	22,91	12,56	15,70
Aparado 1	14,06	28,73	0	2,56
Aparado 2	12,64	34,29	15,70	19,03
Aparado 3	4,50	14,06	0,45	3,02
Armado	0	18,80	3,02	6,04
Goodyear 1	2,69	10,92	9,14	13,07
Goodyear 2	4,19	9,99	6,04	9,14
Acabados	10,92	18,73	8,07	15,14

Elaboración Propia.

Para ubicar cada una de las coordenadas, se utilizó el programa Autocad 2012®, para colocar cada una de las áreas, dentro de la instalación. Esto se puede observar en el Anexo 30, donde se muestra, la ubicación de cada una de las zonas establecidas con anterioridad, en la cual las mismas están ubicadas una junta a la otra, por lo que al momento de asignar las áreas tomando en cuenta los pasillos fue lo más conveniente. A continuación, se procedió a ubicar cada uno de los departamentos dentro de las zonas establecidas, lo que se muestra en el Anexo 31, en la cual se observa que existe la distancia suficiente para transitar entre cada una de las estaciones, ya que hay la debida separación para ubicar los pasillos.

Para poder determinar la función objetivo basada en distancias, descrita en la sección 3.3, y comparar con las demás propuestas, es necesario establecer las separaciones entre

centroides. Por ello, se dividió al *layout* obtenido en cuadrículas de 1 metro por 1 metro, que se muestra en el Anexo 32.

Una vez determinado esto, se procede a calcular las distancias entre centroides, de las diferentes estaciones. Esto se describe en el Anexo 33, donde se observa que las distancias entre las estaciones ubicadas en las mismas zonas son las mismas, ya que se mantuvieron igual que la instalación actual. En cambio, las separaciones entre áreas de diferentes lugares disminuyeron, como el caso de G7 a G18, donde en la instalación actual están a 22,35 metros, disminuyendo la misma a 3,33 metros. Asimismo, mediante los tiempos de traslado entre los lugares de trabajo se estableció los costos correspondientes, que se muestran en el Anexo 34. Mediante los datos obtenidos, se puede determinar la función objetivo basada en distancias, detallada en la sección 3.3, la cual es de \$11990. Este costo obtenido es el menor de todas las propuestas, el cual representa que las distancias entre estaciones que tienen flujo entre ellas son menores, lo que genera menos viajes innecesarios y por lo tanto un menor tiempo desperdiciado, pero para llevar a cabo este procedimiento se tendría que cambiar las ubicaciones de todas las áreas de la planta actual, inclusive ambas bodegas.

Asimismo, se calculó la eficiencia de la cuarta propuesta, con la ecuación 3.5.1.2, la cual se muestra a continuación:

$$z = \frac{41704,07}{59629,54}, \text{ se obtiene una eficiencia de } 69,94\%, \text{ el cual quiere decir que no todas}$$

las áreas que comparten flujo de materiales están ubicadas juntas, debido en mayor parte, a que se agruparon las estaciones de acuerdo al *layout* actual, por lo que no necesariamente es la distribución óptima.

3.7 Análisis de los resultados del rediseño de la planta de calzado

Comparando los resultados obtenidos en las diferentes propuestas, se tiene dos tipos de indicadores para seleccionar la opción más adecuada. En la siguiente tabla se muestra el objetivo basado en las distancias, de las cuatro propuestas.

Tabla 17. Función objetivo de las propuestas.

Propuesta	Valor de la Función Objetivo
SLP	\$ 31.400
CRAFT	\$ 20.831
MÚLTIPLE	\$ 12.458
PEM	\$ 11.990

Elaboración Propia.

Con lo que se puede observar que las propuestas de MÚLTIPLE y PEM representan un menor costo referente a la reducción de las distancias entre estaciones y al manejo de materiales dentro de la instalación, al ser una actividad que implica traslados innecesarios y pérdida de tiempo, ya que no agrega valor al producto. El segundo indicador muestra las eficiencias de las estaciones, es decir la adyacencia de las estaciones que comparten flujo.

Tabla 18. Eficiencia de las propuestas.

Propuesta	Eficiencia de la Instalación
SLP	34,11%
CRAFT	50,61%
MÚLTIPLE	81,87%
PEM	69,94%

Elaboración Propia.

Observando la tabla, se puede concluir que el MÚLTIPLE representa la mejor propuesta para la disposición, debido a que es el que reduce de mayor manera las distancias entre estaciones que comparten flujo, y agrupa a las áreas que trasladan materiales entre ellas,

significando una menor inversión que el algoritmo PEM, ya que las bodegas se mantienen en la ubicación que se encuentran en la actualidad.

Por lo tanto, la recomendación a plantearse a la empresa sería de la disposición obtenida con el algoritmo MÚLTIPLE. Además, se considera que el rediseño de las instalaciones de la planta de calzado no es suficiente para el mejoramiento de las operaciones en FAME S.A, ya que se debe tener en cuenta una disminución de cuellos de botella e inventarios en proceso (WIP), para poder aumentar aún más la eficiencia obtenida. Para esto, se procede a plantear una simulación de línea de producción de la planta, la cual se detalla en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE CALZADO

4.1 Descripción del Sistema de Producción de la planta de calzado FAME S.A.

Como se describió anteriormente en la sección 3.2, la empresa de calzado FAME S.A. cuenta con cinco zonas dedicadas a la manufactura del producto. Inicialmente, la materia prima para la elaboración de la bota Patuca, parte de las bodegas hacia las diferentes estaciones de la planta, esto se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 19. Materia prima utilizada para la fabricación de la bota Patuca y las estaciones hacia donde son dirigidas.

Materia Prima	Área	Estación
Plancha cuero	Corte	C1, C3, C4 y C5
Plancha lona	Corte	C5
Plancha tela	Corte	C14
Plancha cerfil	Corte	C14
Plancha tafilete	Corte	C1
Ribete	Aparado	A19
Respiraderos	Aparado	A27
Ojalillos	Aparado	A31
Reata	Aparado	A43
Entresuela	<i>Goodyear</i>	G16
Suela	<i>Goodyear</i>	G18a
Cordones	Acabados	AC3

Elaboración Propia.

A partir de esto, se procede con el corte de las diferentes planchas, de acuerdo a las piezas descritas en la sección 3.3 y presentadas en el Anexo 3. Una vez que se cortan las planchas, se procede a agrupar las partes en lotes, de acuerdo al pedido. Posteriormente, para pasar al proceso de aparado, los operarios retiran las piezas agrupadas y dependiendo del proceso, que se describe en la sección 3.2.2.2, se van uniendo las diferentes partes pasando de

una estación a otra, es decir de manera lineal. Finalizado el proceso de armado, se agrupa un lote de producto, el cual de igual manera varía de acuerdo al pedido, y es transportado en carritos hacia la sección de armado. En esta área, los productos a fabricar pasan de igual manera en línea entre estaciones, y de la misma manera a la siguiente zona que es *goodyear*. En esta línea, debido a la disposición física de la planta, dos estaciones están ubicadas en otra área, estas son G7 y G11, lo que afecta a la línea de producción, ya que para pasar a estas estaciones se deben agrupar lotes en carritos, debido a la distancia existente. Finalmente, se traslada el producto en proceso de manera lineal hacia la zona de acabados, donde termina la elaboración del mismo.

4.2 Recolección de Tiempos para la Simulación

Para iniciar con la simulación de la planta de producción se necesitan los tiempos de operación de cada una de las estaciones de trabajo. Primero se procedió a identificar las actividades que se van a medir, éstas serían todas las que son parte de la elaboración de la bota Patuca ya que éste es el proceso que se está analizando. Se debe seleccionar un operador que tenga habilidad, deseo de cooperación y experiencia, esto no fue un problema debido a que todos los operadores tienen por lo menos 5 años realizando el mismo trabajo, y ninguno de ellos se vio afectado por el análisis. Además, es necesario anotar que no se tomó en cuenta los tiempos cuando el operador dejaba el puesto de trabajo para retirar material de la bodega o era distraído por conversar con otro operador.

Para el estudio se utilizó un cronómetro de vuelta a cero, que no permitió que exista un intervalo entre repeticiones de operaciones. También se utilizó una hoja de observaciones donde se registró los resultados obtenidos, el formato se muestra en el Anexo 35, y una tabla electrónica de tiempos donde se fue insertando los datos observados y por medio de ésta se

obtuvo automáticamente el tiempo y la desviación estándar de cada operación, se utilizaron las fórmulas de *Excel* para sacar cada una. A continuación se muestra un ejemplo del formato utilizado.

Tabla 20: Formato para la recolección de datos en el área de corte.

Estación	Tiempo Estándar	Desviación Estándar	Tamaño de Muestra		
			Fórmula	Tabla	
C1	=PROMEDIO(=DESVEST(
C3					
C4					
C5					
C14					

Elaboración Propia.

La tabla completa se puede observar en los Anexos 36 y 37.

Los tiempos son variables dependiendo de la estación, por lo que se procedió a obtener el tamaño de muestra apropiado para cada una de ellas. Basándose en los primeros datos recolectados en cada estación, el tamaño se obtuvo por medio de la tabla 21 que se muestra a continuación, cuando los datos iniciales tienen una desviación estándar baja, es decir menor a un segundo, ya que la tabla muestra un número de observaciones que se deben tener para la toma de datos dependiendo del tiempo en el que se desarrolla una operación.

Tabla 21. Número recomendado de ciclos de observación.

Tiempo de ciclo en segundos	Número recomendado de ciclos
6	200
15	100
30	60
45	40
60	30
120	20
120-300	15
300-600	10
600-1200	8
1200-2400	5
2400 o más	3

Fuente: *Time Study Manual de los Erie Works en General Electric Company*. (Niebel, 2007, p. 394)

Por otro lado, si los datos obtenidos tenían una desviación estándar mayor a 1, se procedió a utilizar la siguiente fórmula que permite tener un resultado más preciso.

$$n = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 \quad (4.1.1)$$

Donde: \bar{x} = media,

s = desviación estándar,

t = distribución para muestras pequeñas ($n < 30$),

k = una fracción aceptable de \bar{x} . (Niebel, 2007, p. 394)

Por ejemplo, para la estación A1 se obtuvo una desviación estándar de 0,582 y un tiempo promedio de 3,44 segundos, en este caso se utilizó la tabla 21, de *General Electric Company*, para obtener el tamaño de muestra, y da como resultado 200.

Por otro lado, la estación A48 obtuvo una desviación estándar de 2,219, por lo que se utilizó la fórmula 4.1.1 para determinar el número total de datos. Se determina un n inicial de 15, el cual dio como resultado un tiempo estándar de 8,81 segundos, y se aplicó una probabilidad de error de 5% por lo tanto se tiene que $t = 2,145$.

Entonces:

$$n = \left(\frac{2,145 * 2,219}{0,05 * 8,81} \right)^2 = 116,68 \approx 117$$

El resultado fue de 116,68, por lo que se aproximó a un total de 117. El número de muestras obtenidas para cada estación se muestra en el Anexo 38.

Con estos datos se procedió a finalizar la toma de tiempos requeridos para cada estación, los más altos se registraron en la sección de corte, mientras que los demás varían entre 1 a 60 segundos. En el Anexo 39, se muestran los tiempos.

Dentro de la planta de calzado, existen también tiempos relacionados con el movimiento del material de una estación a otra, el cual influye al ciclo de producción de la bota Patuca. Se obtuvieron estos datos dependiendo de las distancias recorridas a lo largo de la planta, debido a la poca frecuencia de esta actividad. Por lo que se tomó como base el tiempo de traslado de la estación G15 a la G11, ya que fue la más concurrente, y se concluyó que a lo largo de éstas hay un total de 19,20 metros y los operarios se demoran 17,76 segundos en trasladar material, con este dato se procedió a calcular los tiempos de recorrido de un puesto de trabajo al siguiente. Los datos más altos se observaron cuando los traslados son entre diferentes secciones, como por ejemplo; de la estación A31 de aparado, hacia R26 que es parte de la zona de armado, este tiempo es de 43,03 segundos. Los datos se encuentran en la tabla 22.

Tabla 22. Tiempos de caminatas entre estaciones en la planta actual.

<u>Caminar o Delays en segundos</u>					
Bodega1 - C1	Bodega1 - C3	Bodega1 - C4	Bodega1 - C5	Bodega1 - C14	Bodega2 - A19
12,25	14,10	19,65	15,95	17,80	21,38
Bodega2 - A27	Bodega2 - A31	Bodega2 - A43	Bodega2 - G16	Bodega2 - G18a	Bodega2 - AC3
34,33	43,31	29,47	28,81	31,99	45,54
C1 - A0	C1 - A39	C1 - AC1a	C3 - A0	C4 - A0	C5 - A0
7,05	15,19	51,73	7,97	13,52	9,82
C5 - A18	C5 - A41	C14 - P1	C14 - R2	A0 - A3	A0 - A12
16,84	5,97	13,10	17,65	5,65	7,49
A0 - A18	A1 - P1	A1 - A48	A2 - P1	A2 - A48	A12 - A39
14,89	18,25	11,09	14,79	14,55	9,00
A19 - A40	A27 - P1	A31 - R26	A44 - P2	A50 - P2	R2 - R26
9,00	5,54	43,03	3,69	3,46	6,03
R18b - G16	G7 - G18b	G7 - AC1a	G15 - G11	G11 - G18a	
4,17	18,85	5,51	17,76	16,19	

Elaboración Propia.

4.3 Determinación de Distribuciones de los Procesos

Las distribuciones se obtuvieron por medio de Arena® *Input Analyzer*, el cual permite ingresar datos almacenados en el *bloc* de notas, estas son en base a los tiempos de operación tomados que se muestran en la sección 4.3. En el Anexo 40 se muestran las distribuciones obtenidas, donde la mayoría de ellas siguen una distribución BETA, la cual es flexible y se usa para modelar variables aleatorias acotadas, lo que significa que los datos obtenidos tienden a ser variables entre sí. (Banks, 2005, p.316)

Se realizaron pruebas de bondad y ajuste para asegurar la confiabilidad de las distribuciones obtenidas. Estas pruebas son Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov. La primera se utiliza únicamente para tamaño de muestras grandes, en este caso se optó por utilizarla cuando el número de muestra es mayor o igual a 100, ya que el máximo de tamaño de muestras es de 200. Las hipótesis de ésta son las siguientes:

H₀: No hay diferencia significativa entre la distribución muestral y la teórica.

H_A: La muestra no sigue la distribución propuesta.

La hipótesis nula es rechazada si $X_o^2 > X_{\alpha, k-s-1}^2$ o cuando el valor $p \leq \alpha$.

Por otro lado, la prueba Kolmogorov-Smirnov se utilizará para muestras menores a 100, y las hipótesis son las mismas que se utiliza para la prueba Chi-cuadrado.

Estas, utilizarán un nivel de confianza de 0,05, y se rechazará la prueba si se tiene un valor p menor a este nivel, ya que entonces los resultados no son lo suficientemente confiables. En la tabla 23 se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 23. Pruebas de Bondad y Ajuste para cada una de las Distribuciones.

Estación	Distribución	Prueba	Valor P
C1	25 + 4.64 * BETA (1.13, 0.87)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
C3	38 + 12 * BETA (1.25, 1.09)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
C4	39 + 12 * BETA (1.25, 1.09)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
C5	108 + 5.8 * BETA (1.18, 0.668)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
C14	UNIF (388, 428)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A0	2.61 + 2.31 * BETA (1.5, 1.34)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A1	2.45 + 1.88 * BETA (0.846, 0.756)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A2	2.67 + 1.04 * BETA(1.61, 1.78)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A3	2.67 + 1.04 * BETA(1.61, 1.78)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A12	10.4 + 5.61 * BETA(1.7, 1.74)	Chi Cuadrado	= 0.502
A18	5.51 + 3.29 * BETA (1.6, 1.65)	Chi Cuadrado	=0.301
A19	2 + 1.72 * BETA(1.34, 1.52)	Chi Cuadrado	=0.388
A27	1 + 1.99 * BETA(1.4, 1.83)	Chi Cuadrado	=0.284
A31	9.79 + 2.22 * BETA(1.23, 1.23)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A39	7.55 + LOGN (2.29, 1.91)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A40	4.34 + 2.05 * BETA (1.62, 1.67)	Chi Cuadrado	=0.352

A41	7.29 + ERLA (0.416, 5)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A43	7 + 2 * BETA(1.25, 1.52)	Chi Cuadrado	=0.571
A44	71 + EXPO(5.69)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A45	67 + WEIB (9.2, 1.76)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
A47	13 + 1.78 * BETA (1.13, 1.33)	Chi Cuadrado	=0.405
A48	4 + 8 * BETA (1.12, 1.3)	Chi Cuadrado	=0.271
A50	10 + 3.53 * BETA (0.702, 1.07)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
P1	76 + 8 * BETA (0.669, 0.721)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
P2	38 + 7.88 * BETA (1.02, 1.1)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
R2	10 + 2.59 * BETA (1.15, 1.62)	Chi Cuadrado	=0.37
R3a	17.1 + 4.89 * BETA (1.34, 1.35)	Chi Cuadrado	=0.266
R3b	9 + 2.36 * BETA (1.33, 1.45)	Chi Cuadrado	=0.324
R6	16.2 + 3.48 * BETA (1.51, 1.94)	Chi Cuadrado	=0.191
R7	25 + 26 * BETA(1.44, 1.58)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
R15	16 + 2.96 * BETA (1.16, 1.37)	Chi Cuadrado	=0.67
R18a	6.8 + 1.44 * BETA (1.65, 1.72)	Chi Cuadrado	=0.484
R18b	10 + ERLA (0.392, 3)	Chi Cuadrado	=0.0985
R24	NORM (43.3, 1.23)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
R26	19 + 19 * BETA(0.935, 0.921)	Chi Cuadrado	>0.75
G7	47 + 5 * BETA (1.01, 1.39)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
G14	7.29 + 2.24 * BETA (1.52, 1.52)	Chi Cuadrado	=0.113
G16	17.4 + 2.61 * BETA (1.4, 1.08)	Chi Cuadrado	=0.522
G15	6 + 8.8 * BETA (1.31, 1.4)	Kolmogorov-Smirnov	=0.213
G11	15 + 2.67 * BETA (1.88, 1.97)	Chi Cuadrado	=0.347
G18a	23.1 + 3.61 * BETA (0.891, 0.662)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
G18b	UNIF (39, 42)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
AC1a	10.2 + LOGN (0.476, 0.413)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
AC1b	10 + 4.62 * BETA (1.47, 1.35)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
AC2a	33 + 2.45 * BETA (0.88, 0.686)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15
AC2b	2 + 2 * BETA (2.27, 2.36)	Chi Cuadrado	=0.213
AC3	25 + 4.74 * BETA (1.13, 0.87)	Kolmogorov-Smirnov	>0.15

Elaboración propia.

Como se puede apreciar que todas las distribuciones son aceptadas, ya que obtienen un valor p mayor a 0,05 que es el grado de confiabilidad que se toma en cuenta para este estudio, lo que significa que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Además, para las distribuciones Erlang y Normal, obtenidas en las estaciones

A41, R18b y R24, se procedió a truncarlas, es decir cortar las colas izquierda y derecha de la distribución, para que la misma no considere los valores negativos.

4.4 Construcción del Modelo

Para la construcción del modelo se utilizó el software Arena® 13. Este permite encontrar soluciones organizando todos los procesos existentes de una empresa.

Dentro del programa, se modelaron todos los procesos que forman parte de la línea de producción de calzado, incluyendo a la bota Patuca, zapato de Charol, bota de Selva Marrón y bota Industrial. A continuación se detalla la construcción del modelo.

1. Definición de Entidades: el primer paso fue definir las entidades que entrarán al sistema, esto se realiza por medio del ícono *Create* de *Arena Software* ®. Se crean 4 de estas, que son bota Patuca, zapato de Charol, bota de Selva Marrón y bota Industrial. A continuación se muestra la figura señalando las entidades que se crearon.

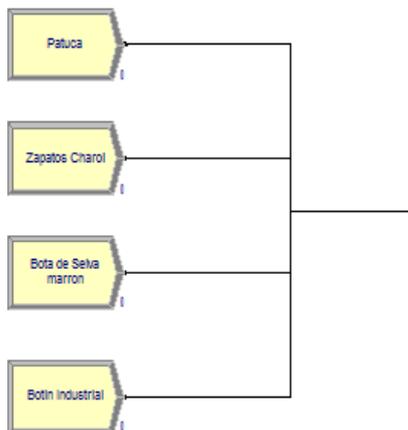


Figura 31. Creación de entidades en *Arena Software* ®.
Fuente: *Arena Software* ®.

Para cada una de estas entidades entrantes, se debe definir un intervalo de tiempo en el que ingresa y además la cantidad de la misma. Como se mencionó anteriormente, la bota Patuca es la de mayor producción, y se desea conseguir un

total de producción de 500 pares diarios, por lo que se ingresa material a la planta para fabricar la misma, pero la cantidad producida no es igual. Es por esto que se define un total de 500 pares de entidades entrantes al sistema, cada 8 horas. Para el zapato de Charol, ingresan 200 pares, cada 8 días. La bota de Selva Marrón tendrá un total de 300 pares, cada 10 días. Y por último, la bota Industrial ingresa 100 pares cada 15 días. Todos los datos se definieron por la cantidad de material que ingresa a la planta para la fabricación, y debido a la frecuencia actual de cada uno de los productos.

2. Proceso de Corte: una vez definidas las entidades, pasan al proceso de corte. Este se divide en 5 estaciones las cuales trabajan paralelamente, debido a que no procesan los mismos materiales, para poder simularlas, se procedió a colocar una decisión para que así las entidades ingresen al proceso adecuado. A continuación se muestra un diagrama del subproceso de corte.

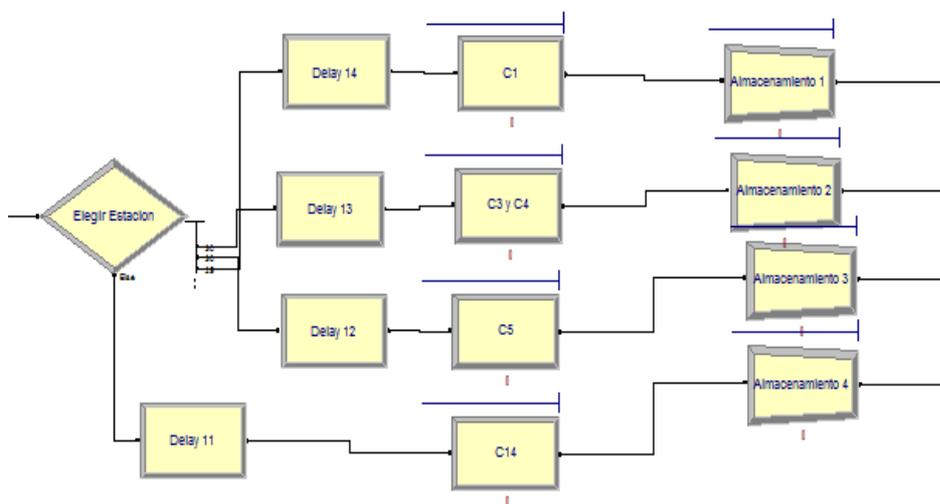


Figura 32. Subproceso de corte.

Fuente: Arena Software ®.

La decisión utiliza porcentajes de 30% para los verdaderos, y 10% para el falso, esto se define debido a la cantidad de demanda de cada uno de los

materiales que se procesan en cada estación. Una vez realizada la decisión, existe el ícono *Delay*, como se puede ver en la figura 32, ésta se utiliza para simular la caminata existente de bodega hacia el lugar de trabajo correspondiente, para ello se utiliza la tabla 22 de tiempos de caminatas entre estaciones en la planta actual, que se encuentra en la sección 4.2. Lo siguiente, fue crear la operación de corte, para esto se juntó la estación C3 y C4 debido a que estas dos realizan la misma operación, las demás estaciones son individuales y se ingresaron a cada una las distribuciones obtenidas en la tabla 23 de la sección 4.2. Para finalizar, se coloca un ícono *Batch* después de las operaciones, ya que este permite juntar unidades, y en el proceso real se almacena 60 unidades antes de pasar a la siguiente estación.

3. Pintura: una vez que la entidad sale del proceso de corte, se dirigen a pintura la cual forma parte de la sección de armado. Se coloca un retraso por la caminata desde corte, hasta armado. También se coloca el ícono *Separate*, que permite al *Batch* anteriormente definido, separarse para pasar al proceso de pintura por unidad y no por lote. La figura que describe esto se ve a continuación.

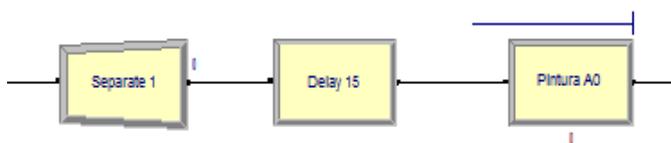


Figura 33. Traslado de corte a pintura.

Fuente: Arena Software ®.

4. Aplanar y Numerar: cuando termina el proceso de pintura, se realiza una decisión antes de pasar a las siguientes operaciones que son, aplanado, numerado y armado. La decisión define la cantidad de material que va a estas actividades, ya que no todas las entidades deben pasar por estas. Se ingresan porcentajes de 20%

para dos verdaderos y de 60% para el falso, el cual es aparado y la mayoría de entidades pasan directamente a este proceso. Los porcentajes se definieron por medio de la tabla desde-hacia definida en la sección 3.5, en la cual se puede ver que el mayor flujo va de la estación de pintura hacia A41, que es la primera del submodelo de Aparado 1. Para esta parte, también se utilizaron tiempos de traslados para cada estación, como se ve en la siguiente figura.

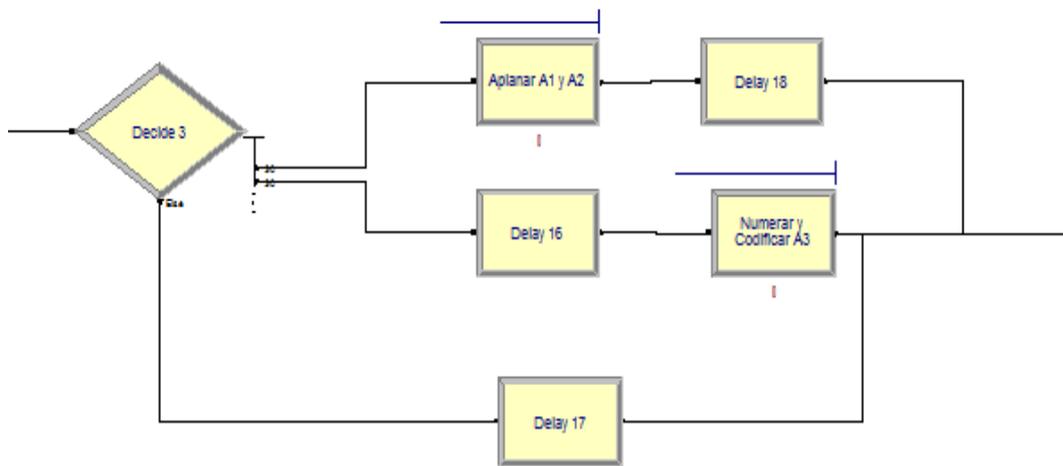


Figura 34. Procesos de Aplanado y de Numeración.
Fuente: Arena Software ®.

5. Aparado: después se divide la sección de aparado en tres partes, ya que se realizan diferentes tipos de procesos en cada una. Estas contienen submodelos. El primero cuenta con estaciones desde A41 hasta A48, el segundo de A18 y P1 hasta A50 y, el tercero desde la estación P2 a A31, donde finaliza la sección de aparado. Dentro de cada submodelo, se definen tiempos de traslados, por medio del ícono *Delay* y se ingresan las distribuciones obtenidas en cada operación. Esta división del proceso se muestra en la figura 35.



Figura 35. Proceso de Aparado.
Fuente: Arena Software ®.

Los submodelos de estos se muestran en el Anexo 41.

6. Armado: luego de armado, se crea un *Batch* de 100 entidades antes de pasar a la sección de armado, también se define un tiempo de traslado por medio de *Delay*. Una vez en armado, se crea un proceso con cada estación perteneciente a ésta sección y al igual que en las demás, existen traslados de material. A continuación se ve el submodelo de armado.

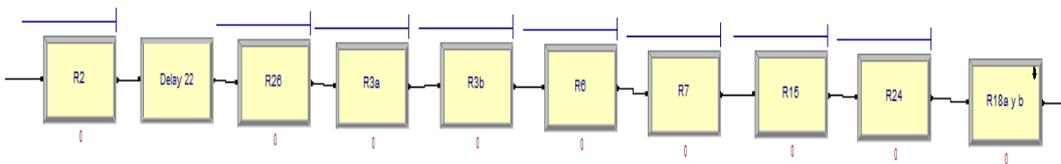


Figura 36. Submodelo de la sección de armado.
Fuente: Arena Software ®.

7. *Goodyear*: Desde la estación R18 b de armado hacia la G14, hay traslados de material. La sección de *goodyear* empieza en G14 y termina en G7, entre éstas existen tiempos de recorrido de material ya que no se encuentran adyacentes la una con la otra. La siguiente figura muestra esta sección.

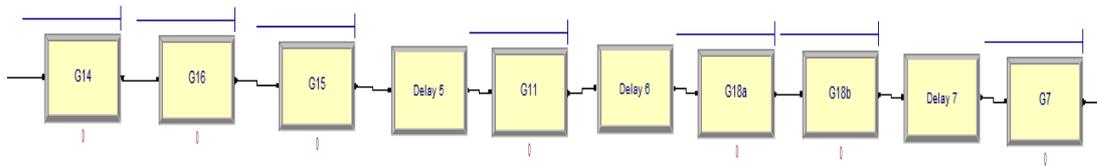


Figura 37. Sección de Goodyear.

Fuente: Arena Software ®.

8. Acabados: una vez terminado la sección de *goodyear*, se continúa con la última que es acabados. Se crea un *Delay* para simular el recorrido del material entre éstas. Existen tres operaciones que se realizan en acabados, entre éstas no existen distancias recorridas por el material, ya que se encuentran una junto a la otra. Una vez finalizado la operación en AC3, la entidad sale del sistema al almacenamiento.



Figura 38. Final del Proceso.

Fuente: Arena Software ®.

El modelo completo se observa en el Anexo 42. Una vez finalizada la construcción del mismo, se define que se utilizará 8 horas diarias para cada réplica.

4.4.1 Determinación del número de réplicas para la simulación.

Una vez finalizado el ingreso de datos a cada una de las estaciones del modelo, se determinó un número de réplicas adecuadas para correrlo, calculado con la siguiente ecuación.

$$R \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2} S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (4.2.1.2.1)$$

Siendo:

$Z_{\alpha/2}$ = Valor crítico para una distribución normal con parámetros (μ, σ) de $(0,1)$.

S_0 = Es la desviación estándar.

La desviación estándar se calculó con la siguiente ecuación.

$$S_0 = \frac{H\sqrt{R_0}}{t_{\alpha/2, R_0-1}} \quad (4.2.1.2.2)$$

Siendo:

H = *Half width*.

R_0 = Número de replicaciones inicial. (Banks et al. 2005)

Los datos que se utilizaron fueron los obtenidos con 10 replicaciones primeramente, debido a que se debe inicializar el modelo con un número pequeño, y se toma la medida del tiempo de espera, ya que esta es la más crítica para el sistema. Estos fueron los resultados:

	Promedio (Horas)	Half Width (Horas)	Promedio mínimo (Horas)	Promedio máximo (Horas)
Botas	0.8972	0.06	0.3747	12.690

Así se obtuvo que la desviación estándar es de 19,29, donde; $t_{\alpha/2, R_0-1} = 2,262$ y por lo tanto se alcanza que:

$$R \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2} S_0}{\varepsilon} \right)^2 = \left(\frac{1,96 * 19,29}{3,5} \right)^2 = 116,72 \approx 117$$

Siendo $\varepsilon = 3,5$ minutos. Esta tolerancia representa cuanto estamos dispuestos a aceptar de error en el tiempo de demora en el sistema.

4.5 Resultados de la Simulación

Después de correr el modelo en Arena® con 117 replicaciones, se obtuvieron los siguientes resultados.

El número de entidades promedio que salieron del sistema en un día de trabajo es de 232, éstas se dividen en: 63,47 de bota Industrial, 56,95 de bota Marrón, 388,58 de bota

Patuca y 20,98 de zapato de Charol. Este número nos permite validar el modelo, ya que en la empresa se producen entre 350 y 400 pares de botas Patuca diariamente. Es importante recalcar que no todo el material que ingresa al sistema, sale el mismo día. A continuación se muestra el total de material que se ingresó al sistema.

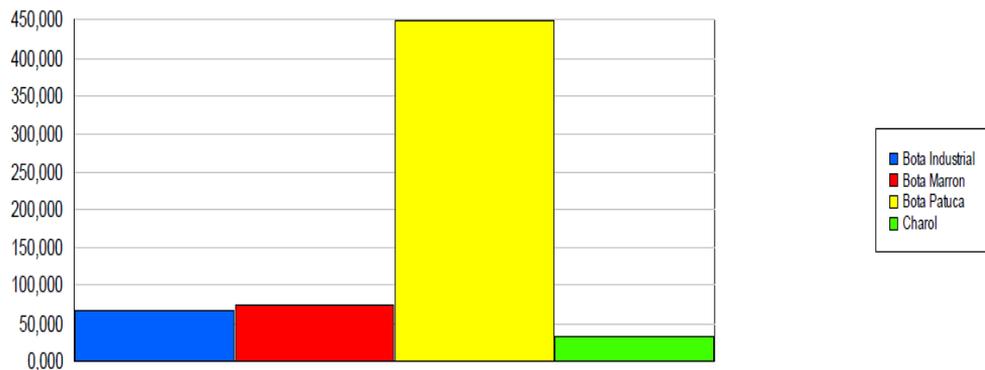


Figura 39. Gráfica de Numero Total de Botas que Ingresan al Sistema de Producción de Calzado.
Fuente: Resultados de Simulación en Arena Software ®.

Se tiene un total de 448,93 entidades de botas Patuca que ingresan en el sistema y únicamente salen 388, mientras que existe un total de 66 botas Industriales, 74 botas Marrón y 32 zapatos de Charol, como se observa, las entidades tienen cierta pérdida en el total de botas procesadas, donde la diferencia más notoria es en la bota Patuca, debido a la cantidad que se produce. Por lo tanto se concluye que en el sistema actual de producción existe WIP, ya que en algunas estaciones se queda acumulado el material y no puede ser procesado en un día.

Se pudo identificar estaciones cuello de botella que retrasan la producción entre ellas, como el área *Batch5*, que se refiere al almacenamiento realizado una vez que se finaliza el proceso de armado. También se encontró la estación C5, la cual es una máquina de corte. Estas dos obtuvieron el tiempo más alto de espera y el mayor número de entidades haciendo cola para ser procesadas, cada una con 1,14 y 1,51 horas de espera respectivamente, y una

cantidad promedio de 46,46 y 23,50 de pares de botas en cola, diariamente. Los tiempos de espera en cada estación, se puede ver en el Anexo 43.

Asimismo, se observa que la máquina de coser 11 es la más utilizada con un promedio de 78% de uso, y esta pertenece a la estación de armado. Por otro lado, existen recursos en los que el promedio de utilización es muy bajo, como es el caso del codificador 1, con un promedio de uso de 0,09% horas. Arena® genera una utilización instantánea tomando un intervalo en la simulación, donde crea una fracción del total de máquinas ocupadas sobre las disponibles. La utilización de las máquinas en el proceso se pueden ver en el Anexo 44, para esto hay que tomar en cuenta que todas las máquinas de coser pertenecen a la sección de armado, todas las troqueladoras a la sección de corte, las pegadoras a armado y también a *goodyear*.

Por último, los resultados mostraron un total de entidades procesadas en cada recurso. La que más se procesó fue el trabajador 6 con un promedio de 481,90 productos, y al contrario, el recurso 1, únicamente saco un promedio de 63,299 de zapatos. A continuación se muestra una gráfica, describiendo el total de productos atendidos por cada recurso.

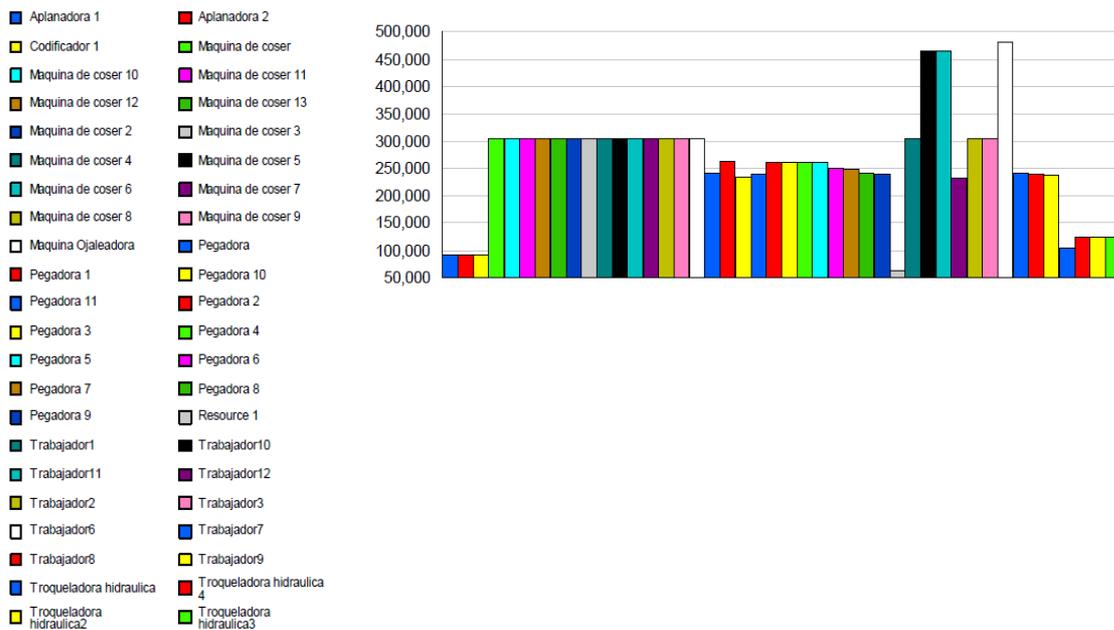


Figura 40. Gráfica de Numero Total de Productos Atendidos por cada Recurso.

Fuente: Resultados de Simulación en Arena Software ®.

Los resultados obtenidos en la simulación permiten encontrar problemas de cuellos de botella, en dos estaciones y estos a su vez crean mayor utilización en ciertas máquinas. Es por esto que se encuentra esencial, poder generar una propuesta que permita eliminar los cuellos de botella, ya que la empresa requiere alcanzar un objetivo de producción de 500 botas Patuca diariamente y únicamente se producen 388 aproximadamente.

4.6 Propuestas de Mejoramiento

Como se mencionó anteriormente la simulación ha permitido identificar los cuellos de botella del sistema de producción que se maneja actualmente, estos se dan especialmente dentro de la zona de corte, lo que ocasiona demoras en la línea de producción y por lo tanto no se cumple con el objetivo de 500 pares diarios, e implica costos hora/hombre, por esto se realiza una propuesta de mejora.

- 1) Para empezar, se va a realizar una simulación tomando en cuenta la propuesta obtenida por medio del algoritmo MÚLTIPLE del cual se habla en la sección 3.6.3, ya que fue elegida como la mejor y que se ajusta de mejor manera con la realidad de la empresa. El modelo de Arena® nos permite ver los procesos en base al tiempo de producción que tiene cada una de las estaciones, por lo que modificar la distribución de la planta no es factible, es por esto que se procedió a obtener tiempos en base a las nuevas distancias que muestra el MÚLTIPLE, tomando como base el tiempo que se demora un operador en trasladar un material a lo largo de G15 a G11, como se explicó anteriormente en la sección 4.2. En la siguiente tabla se pueden observar los cambios en estos tiempos.

Tabla 24. Tiempos de caminatas entre estaciones.

<u>Caminar o Delays en segundos</u>					
Bodega1 - C1	Bodega1 - C3	Bodega1 - C4	Bodega1 - C5	Bodega1 - C14	Bodega2 - A19
10,86	21,68	15,72	12,81	18,14	35,93
Bodega2 - A27	Bodega2 - A31	Bodega2 - A43	Bodega2 - G16	Bodega2 - G18a	Bodega2 - AC3
38,09	40,10	31,27	29,42	26,08	30,00
C1 - A0	C1 - A39	C1 - AC1a	C3 - A0	C4 - A0	C5 - A0
11,75	7,52	2,62	6,61	6,89	9,35
C5 - A18	C5 - A41	C14 - P1	C14 - R2	A0 - A3	A0 - A12
11,81	10,32	7,51	6,94	14,80	16,99
A0 - A18	A1 - P1	A1 - A48	A2 - P1	A2 - A48	A12 - A39
8,44	13,27	8,45	15,33	6,45	7,05
A19 - A40	A27 - P1	A31 - R26	A44 - P2	A50 - P2	R2 - R26
4,93	25,81	2,49	8,21	19,69	34,93
R18b - G16	G7 - G18b	G7 - AC1a	G15 - G11	G11 - G18a	
17,58	5,57	7,16	2,83	14,86	

Elaboración Propia.

Una vez obtenido el tiempo de recorrido entre las estaciones, se procedió a ingresar los nuevos tiempos en Arena®, específicamente en todos los traslados de material de una estación a otra, que se simularon anteriormente, únicamente se reemplazó con los nuevos datos. El sistema actual muestra dos cuellos de botellas como se mencionó anteriormente, que son C5 y *Batch5*. Por otro lado, en el modelo propuesto con MÚLTIPLE, la estación *Batch5* se elimina ya que las estaciones A31 y R26 se encuentran juntas y el material pasaría de manera más rápida y por unidad, ya no por lotes. Este cambio en el modelo se puede ver en el Anexo 45. Algunos tiempos aumentan con esta nueva distribución del *layout*,

como por ejemplo, el traslado de bodega 1 a C3, el cual inicialmente tenía un tiempo de 14,10 segundos y con las nuevas distancias aumentó a 21,68 segundos. Una vez finalizado esto, se corrió el modelo con las 117 replicaciones que se utilizan para el modelo actual. Y se obtuvo un total de 440 pares de botas Patuca que salieron del sistema, este resultado muestra mejoras en la producción y por lo tanto en los tiempos de producción. Sin embargo, el modelo sigue mostrando como cuello de botella a la estación C5, con un tiempo de espera de 1,5 horas diarias. Es por esto que se decidió analizar la posibilidad de realizar una automatización en la sección de corte, que ayudaría a eliminar este cuello de botella y mejoraría el flujo de material, reduciendo el costo de producción.

- 2) Para empezar con la propuesta, se buscó máquinas que puedan realizar el corte de los materiales, de forma más rápida y precisa. Se analizaron 3 tipos de máquinas automatizadas, pero debido a que la máquina *Elitron*, es la más utilizada a lo largo del mundo, la más barata y la única que corta cuero, el cual es el material principal de la producción, se decidió integrarla a la propuesta. Esta se observa en la figura 41.



Figura 41. Máquina ELITRON, Booster de corte automatizado.
Fuente: Elitron, 2012.

Esta máquina tiene un área de trabajo de 3000 mm por 1100 mm, permite un corte de 70 metros por minuto cuando trabaja al 100%. Trabaja por medio de un software llamado Domino, el cual coordina toda la información, desde cantidad, formas, materiales y tamaño. Este *software* también planifica las actividades de una o más unidades de corte. Algo importante que añadir de la máquina, es que permite cortar diferentes formas en una sola plancha, y con esto se optimiza la utilización del material. Esto se acopla en gran medida al proceso de corte que se realiza en FAME, ya que se cortan diferentes tipos de productos. *Elitron*, también contiene diferentes herramientas para cortar, las cuales se ajustan dependiendo del material que se está cortando y a su espesor. Los instrumentos no son intercambiables, y existen siete herramientas calibradas dentro de la máquina.

Esta, se la fabrica en España y es distribuida por la misma empresa alrededor de todo el mundo. La máquina tiene una garantía de 5 años, en los que si existe algún problema la compañía proporciona un técnico y repuestos. (*Elitron*, 2012)

Se decidió modificar el proceso, quitando cuatro de las máquinas de corte, ya que la nueva máquina permitiría trabajar más rápido y se las podría sustituir. Esto no afectaría a los operarios de estas estaciones, debido a que se los puede capacitar para hacer uso de la máquina, y además son poli funcionales, para realizar otras tareas en las diferentes áreas de la empresa donde se necesite mayor apoyo.

Para modelar la máquina en Arena®, se procedió a eliminar las estaciones C1, C3, C4 y C5, dejando únicamente a la estación C14, debido a que ésta corta el cerfil, el cual es un material duro, que no se cortaría en la máquina, debido a que ésta no tiene la capacidad para realizarlo. Este cambio se muestra en el Anexo 46. Entonces, el tiempo que se utilizó para simular la estación de *Elitron* es de una distribución uniforme que varía entre 10 y 15 segundos por par de botas. El mismo se definió en base a la velocidad máxima que posee la máquina al momento de realizar la operación de corte.

Lo siguiente fue correr el nuevo sistema con 117 replicaciones. Los resultados obtenidos fueron: 415 de pares promedio, donde existe un total de 79 botas Industriales, 93 botas Marrón, 555 botas Patuca y 40 zapatos de Charol.

El número de material que se ingresó al sistema, se muestra a continuación.

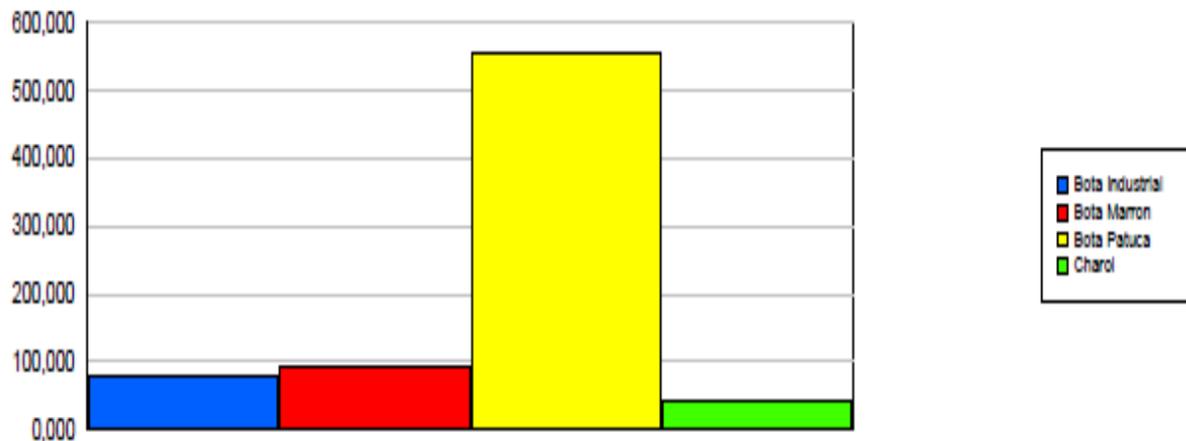


Figura 42. Gráfica de Número Total de Botas que Ingresan al Sistema de Producción de Calzado para la Propuesta de Automatización.

Fuente: Resultados de Simulación Propuesta en Arena Software®.

Como se puede ver en la gráfica, el total de botas Patuca ingresadas al sistema es de 555, por lo que se concluye que todo el material que entra va a salir en el mismo día, reduciendo así el WIP en las estaciones. Esto, mejoraría la producción, y no se acumularía trabajo para el siguiente día.

Debido a que el estudio se basa en la fabricación de la bota Patuca, los 555 pares indican lo que la planta podría producir si se trabaja al 100%, pero teniendo en cuenta que la empresa requiere producir un total de 500 botas Patucas diarias para satisfacer a su cliente y no se quiere sobre producir, se propone que la cortadora opere únicamente al 90% de su capacidad y así alcanzará un total de 500 pares diarios, y si es necesario elevar su producción hasta 555. Llegar a una utilización de 100%, en la maquinaria provocaría sobreproducción y un mayor control en la producción de la cortadora.

Sin embargo la automatización, obtuvo como cuello de botella a la misma máquina *Elitron*, con un total de tiempo de espera de 0,3844 horas, el cual es menor al cuello de botella inicial provocado por la estación C5 que fue de 1,51 horas. Esto indica que la sección

de corte es la más ocupada en todo un día. Las demás estaciones obtuvieron tiempos bajos de espera, aproximadamente de 0,01 horas de espera, las cuales se muestran en el Anexo 47.

4.6.1 Costos Relacionados con la Propuesta de Automatización.

Para verificar si la propuesta de automatización es factible, se analizan los costos relacionados con esta inversión. Es importante saber la utilidad que se obtiene por la venta de un par de botas, esto se ve en la siguiente tabla.

Tabla 25. Utilidad de bota Patuca.

Par de Botas Patuca	
Costo	\$ 24
Precio de Venta	\$ 38
Utilidad	\$ 14
Ganancia diaria por 500 botas	\$ 7.000

Fuente: Gerencia FAME S.A.

En la tabla se muestra una ganancia diaria, que se refiere al ingreso que se obtiene si se producen los 500 pares de botas diarias. A continuación se verán los beneficios obtenidos por la máquina *Elitron* y los costos que se generarían.

Tabla 26. Análisis beneficio costo.

BENEFICIOS	COSTOS
Ganancia de \$7 000 diarios por 500 pares de botas producidas.	Compra de máquina <i>Elitron</i> : \$14 000
Venta de máquinas viejas: \$2 000, por cada una.	Mantenimiento: \$980 mensuales.
	Capacitación del personal: \$4 000 cada 6 meses.

Elaboración propia.

Una vez conocido esto, se llevará a cabo un análisis beneficio/costo, descrito en la sección 2.1.13.1, mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios} - \text{desbeneficios} - \text{costos de mantenimiento}}{\text{Inversión Inicial}} \quad (4.6.1.1)$$

(Blank & Tarquin, 1999, p.320)

A partir de esto, se debe utilizar el mismo período de estudio para evaluar esta razón. Se calcula el valor presente de cada uno de los valores para poder compararlos y utilizar la ecuación. Para esto, es necesario establecer la tasa de interés con lo que se realizarán los cálculos. Mediante la *web* del Banco Central del Ecuador se determinó una tasa de interés de 8,17% anual, obtenida para el mes de mayo de 2012. (Banco Central del Ecuador, 2012)

El período a utilizar es de 12 meses, por lo que se debe estimar el valor de la tasa de interés de manera mensual. Para ello, se emplea la siguiente ecuación:

$$i = (1 + i_a)^{1/m} - 1 \quad (4.6.1.2)$$

Siendo:

i_a = tasa de interés nominal anual.

m = número de períodos.

i = tasa de interés efectiva. (Blank & Tarquin, 1999, p.131)

Realizando el cálculo, se obtiene:

$$i = (1 + 0,0817)^{1/12} - 1 = 0,0066 = 0,66\% \text{ mensual.}$$

La ganancia diaria de \$7000 obtenida, se la multiplica por 22 días laborables mensuales, con lo que se obtiene un valor de \$154000 utilidad al mes. El 60% de este valor, se utiliza para cubrir los salarios del personal, suministros, inventarios, impuestos, entre otros, con lo que la empresa genera 30% netos de esta utilidad, el cual es de \$46200 mensual.

Por consiguiente, se procede a determinar los valores presentes tanto de la ganancia mensual, como los costos de mantenimiento y de capacitación, mediante la siguiente ecuación:

$$(P/A, i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (4.6.1.3)$$

(Blank & Tarquin, 1999, p.58)

Con lo que se obtiene:

$$\text{Para la ganancia y el mantenimiento: } (P/A, i, n) = \frac{(1+0,0066)^{12} - 1}{0,0066(1+0,0066)^{12}} = 11,50$$

$$\text{Para la capacitación: } (P/A, i, n) = \frac{(1+0,0066)^2 - 1}{0,0066(1+0,0066)^2} = 1,98$$

El análisis beneficio/costo estaría dado por:

$$\frac{B}{C} = \frac{\$46200(11,50) - \$4000(1,98) - \$980(11,50)}{\$14000} = 36,6$$

Dado que el valor obtenido es mayor que 1, la inversión es justificada en el período de un año.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

5.1 Almacenamiento

Al momento de describir el problema que se genera en el área de producción, se pudo identificar que las bodegas de materia prima forman parte de éste, ya que es donde inicia el flujo de materiales para la fabricación de la bota Patuca.

Existe tiempo perdido por los operarios de corte, al momento de buscar material dentro del almacenamiento, debido a la falta de organización.

5.1.1 Descripción de las Bodegas de Materia Prima.

Debido a cuestiones de espacio, la empresa cuenta con dos bodegas para el almacenamiento de materia prima. La más utilizada es la bodega 1, en la que se guarda el producto principal, que es el cuero, y por donde empieza el flujo de materiales hacia la línea de producción. En la bodega 1 se puede encontrar otros materiales diferentes del cuero que son utilizados tanto como para la bota Patuca, como para los diferentes tipos de calzado que se produce. Estos, van en su mayoría a la estación de corte, como es el caso de la gabardina, y otras como los cambriones se dirigen a la respectiva estación donde se las procesa. Estos materiales y el puesto de trabajo donde son procesadas, se numeran a continuación:

Tabla 27. Estaciones donde son procesados los materiales.

Material	Estación
Gabardina	C1
Lona Sport	A12
Láminas Agarde	C3
Cambriones de Acero	R18b
Puntas de acero	R3
Tafílete	C1
Charol	C3
Tela Toalla	C14
Forro Malla	C1
Mascarillas	Operarios en Armado
Tapones	Operarios
Guantes	Operarios en <i>Goodyear</i>

Elaboración propia.

Por otro lado en la bodega número 2, se almacenan materiales relacionados con la producción de la bota Patuca, pero estos pasan directamente a las diferentes estaciones a lo largo de la línea de producción. Los *ítems* que se encuentran en ésta bodega se describen en la siguiente tabla.

Tabla 28. Estaciones donde se dirigen los materiales de la bodega #2.

Material	Estación
Cordones	AC3
Suela	G18a
Entresuela	G16
Ojalillos	A31
Respiraderos	A27
Reata Ancha	A43
Reata Delgada	A43
Ribete	A19

Elaboración propia.

A continuación en la tabla 29 se muestra el detalle del material que se utiliza para la producción de la bota Patuca y su demanda total en el año 2011.

Tabla 29. Cantidad Total de Materiales.

Cantidad Total de Materiales (Producción 2011)				
Material	Cantidad requerida para producir una bota	Producción Anual	Cantidad Total	Unidad
Reata Ancha	27	80510	21737,7	m
Reata Delgada	15	80510	12076,5	m
Ribete	24	80510	19322,4	m
Fleje Plástico	0,0024	80510	3,86448	m ²
Láminas Agarde	0,015	80510	24,153	m ²
Cambriones de Acero	1	80510	161020	u
Cuero	20	80510	32204	m²
Tafilete	16	80510	25763,2	m ²
Cordones	1	80510	80510	u
Entresuela	1	80510	80510	u
Suela	1	80510	80510	u
Respiraderos	2	80510	161020	u
Ojalillos	16	80510	1288169	u

Fuente: Salazar, 2012.

Como se puede observar en la tabla, el cuero es el material que más se utiliza para la producción de la bota Patuca.

La bodega 1 tiene material mezclado en todas partes y no se tiene un lugar fijo para todos los materiales, estos se los coloca donde haya espacio. La distribución existente en esta se muestra a continuación.



Figura 43. Layout Actual de la Bodega#1 de Materia Prima de la Planta de Calzado de FAME S.A. Elaboración Propia.

Todo el material se encuentra en los pallets o estanterías mezclado, como por ejemplo el cuero se encuentra distribuido entre los dos tipos de almacenamiento.

Mientras que en la bodega de materia prima 2, se tiene acumulado material de suelas y entresuelas, a continuación se muestra la distribución de la misma.

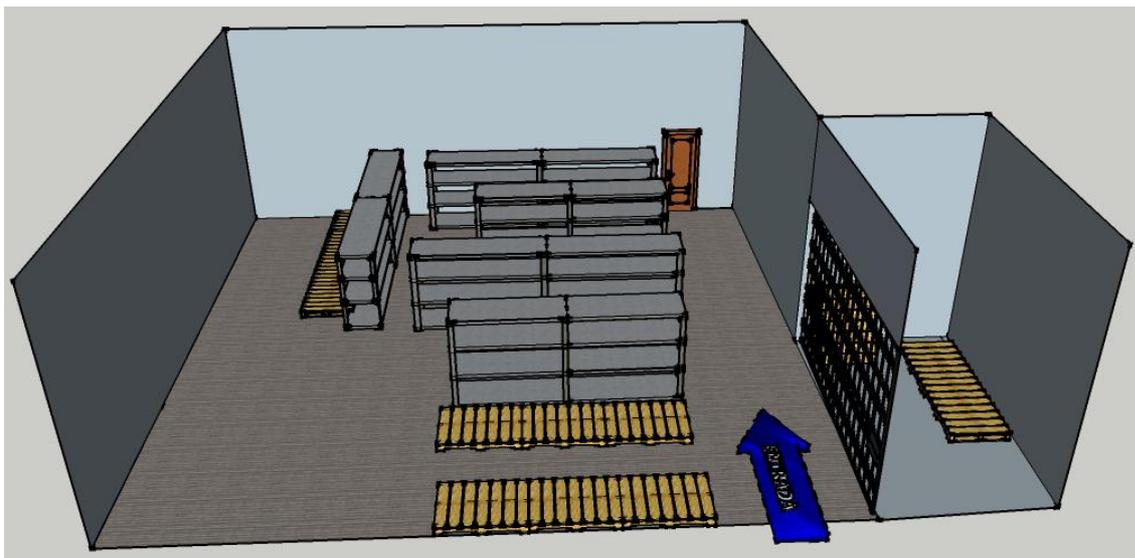


Figura 44. Layout Actual de la Bodega#2 de Materia Prima de la Planta de Calzado de FAME S.A. Elaboración Propia.

En todo el piso donde se ve vacío, se almacena las suelas y entresuelas, esto genera confusión al momento de recolectar el material que ingresa a la producción.

5.1.2 Sistema de Manejo de Inventarios.

Actualmente las bodegas de materia prima cuentan con una capacidad limitada, es por esto que se han dividido todos los componentes de la bota Patuca entre ellas. Las características de estos materiales son variables, y por esto se las ordena de acuerdo a la cantidad de espacio disponible.

Para el manejo de las dos bodegas, la empresa dispone de un sistema de control de inventarios que se actualiza automáticamente al momento que ingresan o salen artículos de las mismas, con este método se conoce la cantidad de materia prima que se encuentra dentro de la misma. Este procedimiento se basa en agregar el total de material solicitado al proveedor y en retirar la cantidad que vaya a requerir producción.

El tamaño de carga unitaria que se opera varía dependiendo del tipo de material que se está movilizand. Los materiales grandes como el cuero, tafilete, tela y similares, se almacenan en la bodega 1 por rollos, los cuáles se manejan en una unidad estándar de decímetros cuadrados, y se localizan en zonas bajas de fácil acceso, mientras que los materiales pequeños como los cordones, suelas, ojalillos, y parecidos se almacenan en la bodega 2 y son localizados en estanterías de 4 niveles. A pesar de que está designado un lugar para cada *ítem*, los materiales están mezclados entre sí, y la cantidad almacenada en estas perchas es alta debido a su tamaño.

Los pedidos que se realizan a la bodega dependen de las ventas. Por esto, al momento que se efectúa una venta, la persona encargada en el área de abastecimiento inmediatamente hace un pedido dependiendo de la cantidad de material necesaria para elaborar el total de

producto requerido. En la tabla 29 se muestra la cantidad de material que se necesita para la fabricación de una bota Patuca. También existen ocasiones en las que la persona encargada pide el material basándose en pronósticos realizados por su experiencia, pero estas cantidades son mínimas y varían de un mes al otro.

Usualmente la recepción de la materia prima es diaria, a la hora que el proveedor le parezca conveniente durante la jornada de trabajo.

A continuación se muestra la descripción del proceso realizado en la bodega.

- Consolidación de material: para este proceso, la persona encargada de bodega se basa en una orden de trabajo que es remitida por el departamento de producción. Esta orden únicamente contiene información de la cantidad de botas que se producirán ese día. El encargado de bodega tiene en el sistema el número necesario de cada material que se requiere para la fabricación de una bota. Con esta información, se procede a recolectar los materiales necesarios, comenzado por la primera bodega donde se corta la cantidad necesaria de cada material.
- Rotación del Inventario: como se especificó anteriormente la rotación del inventario se basa en el sistema *First in First out*. Esta operación se realiza diariamente. La localización del material dentro de la bodega depende de la manera en la que entra, las que ingresan primero se las localiza cerca de la puerta de producción, mientras que el material que después entra, se localiza cerca de la puerta de embarque. El sistema de inventarios, se actualiza automáticamente cuando el departamento de ventas hace un pedido y producción ingresa una orden de trabajo, por lo que el material en la bodega debe corresponder con la especificada en el sistema, esto se comprueba por

medio de conteo físico, el cual es realizado por el encargado de bodega cada seis meses.

5.1.3 Identificación de problemas.

En las visitas realizadas a la bodega de materia prima y mediante entrevistas al encargado, se pudieron identificar varios problemas:

- Los materiales utilizados para la producción de la bota Patuca se encuentran en diferentes bodegas. Debido al espacio limitado, y el exceso de materia prima se ha optado por distribuir el material en dos bodegas. Esta decisión genera que los componentes utilizados para la elaboración de la bota Patuca se encuentren almacenados en diferentes zonas y por lo tanto provoca desorden en la recolección de material.
- Demoras en la consolidación de material. Dentro de las zonas de almacenamiento existe un orden específico de localización para la materia prima, pero se puede observar que existen estanterías subutilizadas y los *ítems* más grandes se los coloca en el piso. Como consecuencia, se crean demoras en la identificación de la materia prima.
- Demoras en traslado de material a la planta de producción. Este se produce por el tiempo innecesario que se pierde en consolidar la materia prima.

5.2 Levantamiento de Información de las Bodegas de Materia Prima

Dentro de la bodega 1 y 2 se procedió a obtener datos que permitan conocer sobre su funcionamiento y el material almacenado a cada una de ellas. Como se mencionó anteriormente, la bodega 1 contiene el material principal que es el cuero, mientras que en la bodega 2, se encuentran mayormente suelas y entresuelas que también pertenecen a la

producción de bota Patuca. En la sección 5.1.1 se especifica los materiales disponibles en cada una de las bodegas.

Además se levantó información actualizada de la cantidad de materia prima disponible en cada una de las bodegas. Esta información es válida para rediseñar la bodega, ya que se mantuvo una conversación con los encargados de la bodega y de adquisiciones, donde se verificó que las cantidades dentro de la misma no varían significativamente entre meses. Es por esto que se utilizarán los datos pertenecientes al mes de marzo del 2011, debido a que tiene el nivel más alto de inventario almacenado durante todo el año. A continuación, se transformó los datos a volumen para poder comparar los materiales entre sí. No se utilizó otro parámetro, ya que el espacio que ocupa cada material permite localizarlos con más facilidad, y además hay volúmenes muy altos de materiales y otros muy bajos que no deberían mezclarse. Para poder realizar esto, primero se obtuvieron las dimensiones que ocupa cada material dentro de la bodega de materia prima. Una vez recolectados, se procedió a conseguir el volumen de cada uno de los materiales. Las dimensiones de los rollos de cuero tienen un diámetro de 0,2m y un alto de 1,47m, y debido a que se trata de un cilindro, se calculó su volumen por medio de la siguiente fórmula.

$$V_{cuero} = \pi r^2 h = \pi * (0,1)^2 * 1,47 = 0,0461m^3 \quad (5.2.1)$$

(Estrada et al, 2005 p.240)

Una vez calculado el volumen que ocupa el cuero, se procedió a multiplicar por la cantidad de este que existe en la bodega, con lo que se obtuvo:

$$V_{totalcuero} = 0,0461m^3 * 371 = 17,12m^3 \quad (5.2.2)$$

Así se procedió a calcular el espacio que ocupan cada uno de los materiales, utilizando la fórmula del volumen de cilindro para todos los rollos y la fórmula de volumen de un cuerpo cúbico para todas las cajas, como es el caso del hilo donde:

$$V_{hilo} = x * y * z = 0,46 * 0,42 * 0,30 = 0,058m^3 * 19 = 1,10m^3 \quad (5.2.3)$$

A continuación se muestra una tabla con los datos obtenidos y el cálculo de volumen para cada material.

Tabla 30. Volumen que ocupa cada material en la bodega.

MATERIA PRIMA	X (m)	Y (m)	Z (m)	CANTIDAD	UNIDAD	VOLUMEN TOTAL	UNIDAD
CUERO	0,2	1,47		371	Rollos	17,12	m ³
LONA	0,26	1,48		189	Rollos	14,84	m ³
ENTRESUELA	0,29	0,51	0,27	377	Cajas	15,05	m ³
SUELAS	0,27	0,43	0,26	1363	Cajas	41,14	m ³
TAFILETE	0,26	1,3		75	Rollos	5,17	m ³
CERFIL	1,01	1,44	0,01	83	Unidades	1,21	m ³
GABARDINA	0,36	0,78		20	Rollos	1,59	m ³
CHAROL	0,26	1,48		18	Rollos	1,41	m ³
PUNTAS DE ACERO	0,35	0,31	0,31	33	Cajas	1,11	m ³
OJALILLOS	0,26	0,37	0,23	47	Cajas	1,04	m ³
LIJA	0,31	0,31	0,31	18	Cajas	0,54	m ³
HILO	0,46	0,42	0,3	19	Cajas	1,10	m ³
CORDONES	0,49	0,92	0,24	12	Cajas	1,30	m ³
CAMBRIÓN	0,3	0,31	0,19	15	Cajas	0,27	m ³
CUERO HIDROFUGADO	0,22	1,11		4	Rollos	0,17	m ³
CHINCHES	0,23	0,4	0,15	9	Cajas	0,12	m ³
PUNTERA	0,29	0,33	0,23	6	Cajas	0,13	m ³
CLAVOS	0,25	0,25	0,12	5	Cajas	0,04	m ³
RESPIRADEROS	0,27	0,38	0,21	9	Cajas	0,19	m ³
REATA	0,05	0,27		33	Rollos	0,02	m ³
PVC	0,56	0,74	0,08	5	Cajas	0,17	m ³

Elaboración propia.

Se observa que el cuero es el material que mayor volumen ocupa, esto se debe a la cantidad de rollos acumulados que se encuentran en la bodega.

A continuación, en las figuras 45 y 46 se puede ver el diseño de las estanterías y pallets que se utilizan, éstas cambian en sus medidas como ya se mostrará en las tablas 31 y 32.



Figura 45. Diseño de estanterías.
Fuente: Vitrinas Corona, 2008.



Figura 46. Diseño de pallets.
Fuente: Tropical Pallets, 2012.

Asimismo, se procedió a medir las estanterías, pallets y objetos existentes en las dos bodegas. Con estas se calculó el respectivo volumen que ocupan y el volumen disponible para almacenamiento. A continuación se muestran los valores obtenidos.

Tabla 31. Volumen de zonas de almacenamiento disponible existentes en la bodega #1.

BODEGA 1							
	X	Y	Z	CANTIDAD	UNIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
ESTANTERIAS	377	61,5	194	4	u	4,50	m ³
PALLETS	102	150	120	21	u	1,84	m ³
PALLET	100	150	120	1	u	1,80	m ³
TOTAL						8,13	m³

Elaboración propia.

Tabla 32. Volumen de zonas de almacenamiento disponible existentes en la bodega #2.

BODEGA 2							
	X	Y	Z	CANTIDAD	UNIDAD	VOLUMEN	UNIDAD
ESTANTERIAS tipo 1	485	61	200	2	u	5,92	m ³
ESTANTERIAS tipo 2	377	61,5	194	3	u	4,50	m ³
PALLETS tipo 1	118	159	120	6	u	2,25	m ³
PALLETS tipo 2	102	150	120	6	u	1,84	m ³
TOTAL						14,50	m³

Elaboración propia.

La bodega 1 cuenta con una oficina para el encargado de bodega y su ayudante, por lo que hay 2 escritorios, también existe una mesa para hacer comprobaciones de calidad. Las dimensiones de los pallets y las estanterías permiten conseguir un volumen total, que permite ubicar una cantidad limitada de ellos en cada una de las bodegas. El volumen calculado proporciona información de la cantidad de material que se puede ubicar en estos tipos de almacenamiento.

5.3 Propuesta de Rediseño de la Bodega

Las bodegas de materia prima forman parte del proceso productivo de calzado, es por esto que es necesario rediseñarlas. Como se mencionó anteriormente, la distribución de material dentro de ellas, no se encuentra estandarizada. En la sección 5.2 se muestran los datos obtenidos que se utilizarán para el rediseño.

5.3.1 Clasificación ABC.

Como paso inicial, se procedió a analizar la cantidad de espacio que utiliza cada uno de los materiales, sin diferenciar la bodega en la que se encuentra. Para esto se realizó un diagrama de Pareto, que se presenta a continuación.

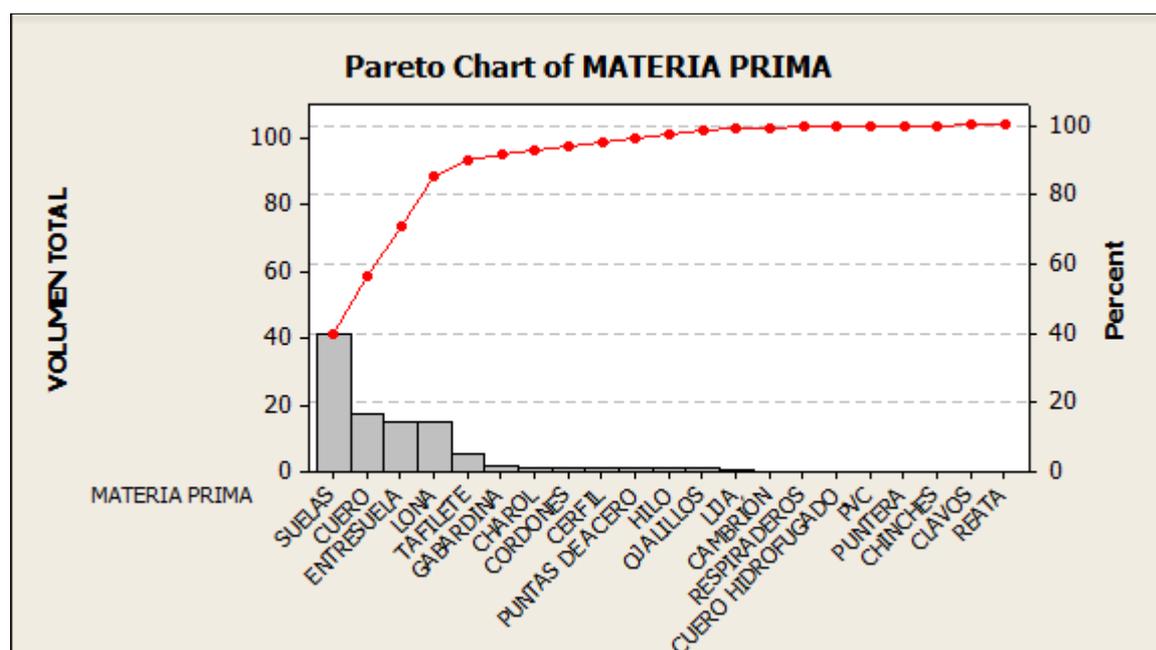


Figura 47. Diagrama de Pareto del Volumen de Material Almacenado en la Bodega de Materia Prima.

Elaboración propia.

Como se puede ver en el diagrama, la materia prima que representa el 80% del espacio son: las suelas con el 40%, el cuero con 18%, la entresuela con 16% y la lona con el 16%. Tomando en cuenta estos datos, se procedió a designar como productos A, aquellos que

ocupan el mayor volumen dentro de las bodegas. Se utilizó el siguiente criterio para asignar una categoría a cada material:

$$A \geq 14,84 m^3$$

$$14,84m^3 > B \geq 0,54m^3$$

$$C < 0,54m^3$$

Basándose en este criterio, los materiales fueron designados de la siguiente manera:

Tabla 33. Clasificación ABC para cada material.

MATERIA PRIMA	CLASIFICACIÓN
CUERO	A
LONA	A
ENTRESUELA	A
SUELAS	A
TAFILETE	B
CERFIL	B
GABARDINA	B
CHAROL	B
PUNTAS DE ACERO	B
OJALILLOS	B
LIJA	B
HILO	B
CORDONES	B
CAMBRIÓN	C
CUERO HIDROFUGADO	C
CHINCHES	C
PUNTERA	C
CLAVOS	C
RESPIRADEROS	C
REATA	C
PVC	C

Elaboración Propia.

Una vez identificado la categoría a la cual pertenece cada material, se determinó el número de estanterías o de pallets que se necesita para almacenar cada una de éstas. Se

procederá a apilar todo tipo de rollos en pallets, y también el cerfil y PVC, que por sus dimensiones, también serán apilados en estos, y por otro lado, las cajas se las colocará en las estanterías. Para proceder con esta asignación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\#Pallets - Estanterías = \frac{Volumen\ Total\ del\ Material}{Volumen\ del\ Pallet\ o\ Estantería} \quad (5.3.1.1)$$

(Estrada et. al, 2005 p.240)

El volumen total de los pallets o de las estanterías se muestra en las tablas 31 y 32, donde se utilizó el volumen promedio de estos para realizar el cálculo, y así se puede localizar el material en cualquiera de ellos. Utilizando la fórmula se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 34. Número de pallets y estanterías necesarias.

MATERIA PRIMA	UNIDAD	# DE PALLETS/ESTANTERÍAS
CUERO	Rollos	9
LONA	Rollos	8
ENTRESUELA	Cajas	3
SUELAS	Cajas	7
TAFILETE	Rollos	3
CERFIL	Unidades	1
GABARDINA	Rollos	1
CHAROL	Rollos	1
PUNTAS DE ACERO	Cajas	25%
OJALILLOS	Cajas	23%
LIJA	Cajas	12%
HILO	Cajas	24%
CORDONES	Cajas	29%
CAMBRIÓN	Cajas	6%
CUERO HIDROFUGADO	Rollos	4%
CHINCHES	Cajas	3%
PUNTERA	Cajas	3%
CLAVOS	Cajas	1%
RESPIRADEROS	Cajas	4%
REATA	Caja	0,4%
PVC	Cajas	4%

Elaboración Propia.

Los porcentajes que se muestran en la tabla 34 indican el espacio que utiliza el material dentro de la estantería o pallet. Estos porcentajes nos dan como resultados 2 estanterías y un pallet. Se concluyó que para almacenar todo el material, se necesitan un total de 24 pallets y 12 estanterías, éstas serán distribuidas entre las dos bodegas disponibles de materia prima. En la primera de ellas, se colocará los productos con clasificación A, debido a la cantidad de espacio que éstos ocupan. Mientras que en la segunda, se almacenarán los materiales con clasificación B y C, ya que son los de menor volumen. En el Anexo 48, se muestra la distribución propuesta de la bodega 1 y de la bodega 2. En éstas se puede ver la

localización propuesta del material asignado a los pallets y las estanterías identificadas por color, a continuación se muestra el material almacenado en cada estantería, pallet y bodega.

Tabla 35. Material asignado en la bodega 1.

Bodega 1	
Material	Pallet/Estantería
Cuero	Pallet
Lona	Pallet
Suelas	Estantería Azul
Entresuelas	Estantería Verde Oscuro

Elaboración Propia.

Tabla 36. Material asignado en la bodega 2.

Bodega 2	
Material	Pallet/Estantería
PVC, Cerfil, Gabardina, Charol, Cuero Hidrofugado, Tafiote, Charol	Pallets
Suelas	Estanterías Azul
Cordones, Cambriones, Punteras, Clavos, Respiraderos, Reata	Estantería Verde
Puntas de Acero, Ojalillos, Lijas, Hilo	Estantería Amarilla

Elaboración Propia.

Se puede ver que dentro de la bodega dos se almacenaron más materiales, pero son los de menor volumen por lo que no se ve afectada por material excesivo dentro de ella. Por otro lado, el volumen total de las suelas, no permitió colocar todas las estanterías necesarias para almacenarlas dentro de la bodega 1, por lo que se optó por colocar dos de ellas en la bodega 2, la cual contaba con espacio disponible, esto generaría movimientos entre las bodegas, pero se justifica por la organización y la facilidad de encontrar el material.

5.3.2 Sistema de Almacenamiento.

Como parte de la propuesta dentro de la bodega, se busca estandarizar la organización de los materiales almacenados. Se quiere localizar cada material en un lugar específico dentro ella, utilizando el concepto de las 5S's, definidas en la sección 2.1.12.1, para así poder identificar la materia prima con mayor facilidad, y mantener un mejor control de la misma.

Para comenzar, se propone identificar cada zona en la que se encuentra un pallet o una estantería, mediante un letrero colgado en el techo, en el cual se indique el material almacenado en esa zona y un símbolo que identifique el material, como se muestra a continuación:

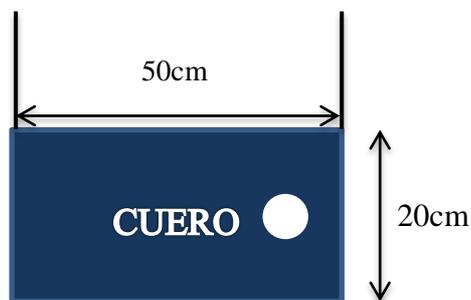


Figura 48. Letrero para identificar material en zonas de la bodega.
Elaboración propia.

Este letrero permitirá identificar cada zona con facilidad, estará colgado a 30 cm del techo y tendrá las dimensiones indicadas en la figura 48. En el caso de las estanterías que se encuentran en la bodega 2, en las cuales se almacenan más de un producto, las dimensiones cambiarían:

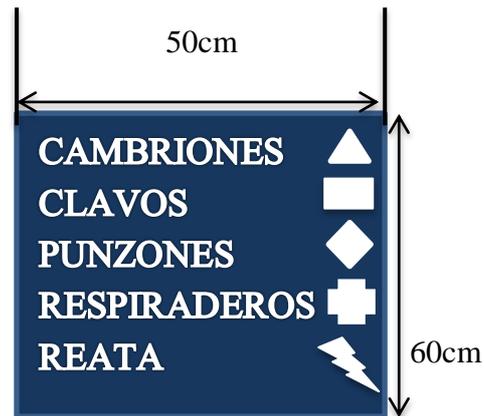


Figura 49. Letrero para identificar material en estanterías de la bodega.
Elaboración propia.

Estas identificaciones se colocarán delante de las estanterías para que sean visibles para cualquier persona que entre a la bodega y especialmente para el encargado.

Además, se busca identificar aquellas estanterías que contienen más de un material, por medio de separaciones y etiquetas, éstas serían únicamente con el símbolo correspondiente a cada material para que así sea más sencillo de colocar la identificación. En la siguiente figura se muestra la estantería con los respectivos símbolos.



Figura 50. Identificación de material en las estanterías.
Fuente: Vitrinas Corona, 2008.

Esta identificación permitirá localizar el material con mayor facilidad, incluso para personas que entran a la bodega con poca frecuencia.

Para mayor facilidad y rapidez en la recolección de material, se propone colocar materia prima como cambriones, respiraderos, clavos y ojalillos, es decir de volumen bajo, en gavetas membretadas con el símbolo adecuado como los que se muestran a continuación.

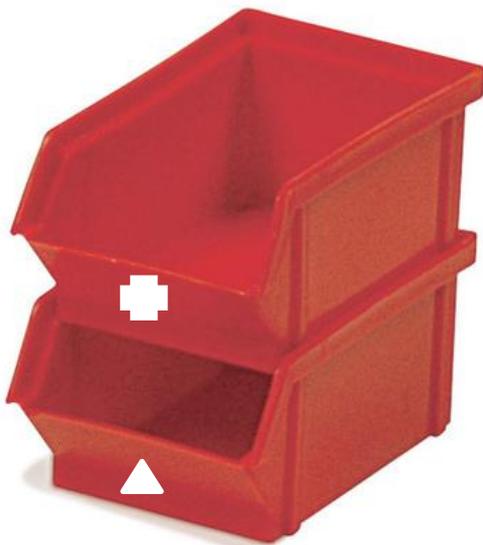


Figura 51. Gavetas identificadas para almacenar material de bajo volumen.
Fuente: PICA Plásticos Industriales, 2012.

Como se mencionó anteriormente el sistema que la bodega maneja actualmente, es localizar la materia prima que entra más lejos de la puerta y la que tiene más antigüedad colocarla cerca de la misma. Con el nuevo sistema, la materia prima que ingresa va directamente a su espacio designado, colocando siempre el material que entró primero en el punto de recolección más cercano. Entonces, con ésta asignación se mejoraría la recolección de pedido que es demandada por producción, y se obtiene un mejor control del material que ingresa y que sale de las dos bodegas.

La inversión necesaria para la organización de las bodegas es mínima, ya que actualmente se cuenta con las estanterías y los pallets requeridos. A continuación se muestra la inversión de gavetas y materiales que se necesitan para la propuesta.

Tabla 37. Detalle de la inversión de materiales para la bodega.

	Precio (\$)	Cantidad (unidad)	Total (\$)
Gavetas	0,96	23	22,02
Letreros de identificación	3	36	108
Señalización en Pallets, Estanterías y Gavetas	0,5	50	25
		Total	155,02

Elaboración propia.

La inversión es de 155,02 dólares en total. Las gavetas son de plástico y se necesitan 23 unidades para almacenar el volumen total de 1,66 m³, cada una de las gavetas pueden almacenar 0,072 m³. Los letreros de identificación, son de acrílico que cuestan 3 dólares cada uno, y se necesita uno por cada estantería y pallet. Por último, para la señalización se necesitara etiquetas para estanterías y gavetas, dando un total de 50 unidades. Esta inversión no es muy alta, y se puede recuperar en poco tiempo, mientras que brindará una organización mejor a las bodegas y permitirá identificar el material con facilidad.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones acerca de la planta de producción

- Mediante el levantamiento de proceso y conversaciones con la administración, se identificaron problemas en tiempo de recorrido del flujo de material a través de las instalaciones de la planta de calzado FAME. Haciendo un análisis sobre las causas de este problema, se concluyó que el principal motivo se debe a la distribución de las estaciones dentro de la planta.
- Se analizó el estado actual de la planta calculando los costos de traslado del material, las distancias respectivas y el flujo de material, que evidenció problemas en la planta.
- Se utilizó el procedimiento SLP para diseñar una propuesta de mejora, este se basa en cambiar la distribución en base a los datos iniciales de flujo de materiales. Después de realizar los cambios respectivos, se obtuvo un costo basándose en las nuevas distancias, el cual fue de \$31 400. La nueva distribución consigue un costo menor que el actual y su eficiencia es de 34,11%.
- El método CRAFT es un algoritmo de mejoramiento de intercambio pareado, el cual se utilizó para crear una segunda propuesta en la distribución de la planta. Tiene la limitación de realizar intercambios de áreas con el mismo tamaño, además que tienen que ser adyacentes. Además, el complemento de *Excel* utilizado, solo permite establecer 50 zonas, lo cual es muy limitante para el modelo. Después de varias iteraciones, se obtuvo un costo final de \$20 831 y también una eficiencia de 50,61%, lo cual mejora a la propuesta de SLP.

- La tercera propuesta fue dada por el algoritmo MÚLTIPLE, éste utiliza una curva donde ubica inicialmente las estaciones. Tiene la ventaja de intercambiar áreas que no tienen la misma superficie y no es necesario que estén adyacentes. Se obtuvo un costo de \$12 458. También se obtuvo una eficiencia del 81,87%. Estos datos son mejores que las otras dos propuestas, pero se quisiera alcanzar un costo más bajo.
- La cuarta propuesta se formula en base a la programación entera mixta, ésta consiguió reducir el costo en un total de \$11 990 y una eficiencia del 69,94%. El costo es mejor que en las demás propuestas.
- Se realizó un análisis del proceso actual de la planta, identificando tiempos de demora en estaciones, cuellos de botella y utilización de máquinas, por medio de una simulación en *Arena Software*®.
- Se identificaron 2 cuellos de botella, una en la estación de corte y otra en el almacenamiento temporal antes de trasladar el material desde la sección de armado a la de armado.
- Mediante la automatización de los procesos de corte mediante la máquina *Elitron*, se obtuvo que la misma crea un tiempo de espera de 0,3 horas cuando trabaja al 100%, pero no afecta a ninguna de las otras estaciones.

6.2 Conclusiones acerca de la bodega

- Se identificaron problemas en la organización del material dentro de la bodega prima de FAME Calzado, que influye en el tiempo de traslado del material.
- La bodega de materia prima, se divide físicamente en dos, en las cuales se encuentran los diferentes materiales utilizados para la elaboración del calzado.

- No existe la debida estandarización de almacenamiento de materia prima en ambas bodegas.

6.3 Recomendaciones Generales

- Se recomienda modificar el diseño del *layout* actual, mediante el resultado obtenido en el algoritmo MÚLTIPLE, debido a la reducción de tiempos de manejo de materiales.
- Es importante cambiar las ubicaciones de las estaciones G7 (donde se pule la planta de la suela) y G11 (donde se cose la entresuela ya pegada a la bota), ya que actualmente se encuentran más cerca del proceso de acabados, que de la línea de *goodyear* que es donde pertenecen.
- Los procesos de corte son los que más tiempo de ciclo generan, por lo que se recomienda automatizar esta área remplazando cuatro máquinas de corte.
- Es necesario agrupar los *ítems* de las bodegas de materia prima de acuerdo al criterio ABC, en base al volumen que ocupan para establecer un almacenamiento dedicado para cada uno de los materiales.
- Se debe realizar una estandarización de las localizaciones de cada uno de los materiales, por medio de la señalización y codificación de los *ítems* de las bodegas.
- Se recomienda colocar la materia prima de volumen bajo en gavetas membretadas con su respectivo símbolo, para que no existan demoras ni conflictos al momento de retirar material.

- Se debe utilizar el volumen de cada material para de esta forma localizarlos dentro de las dos bodegas. Los de volúmenes más altos ubicarlos en la bodega #1.
- Las suelas y el cuero obtuvieron el volumen más alto de todos los materiales, mientras que los volúmenes más bajos fueron de la reata y clavos, los cuales deben ser localizados en la bodega #2.
- Es importante considerar que los operarios sean capacitados en las demás líneas de producción, para poder realizar una rotación de los mismos.
- Se recomienda tener en cuenta la propuesta de la planta desde cero, ya que a pesar de requerir una inversión, puede generar mayores ingresos a futuro, y una optimización del espacio de la instalación.
- Se requiere una reubicación de los pasillos de la planta de calzado, para de esta poder emplear el diseño de la disposición de la propuesta óptima.

REFERENCIAS

- Análisis de Valor de un proceso, VSM.* (2012). Recuperado el 20 de abril de 2012, de <http://www.lean-sigma.es/analisis-de-valor-de-los-procesos-2.php>
- Arciniegas, C. (2002). *Modelo de plan estratégico para la gestión de inventarios para los repuestos John Deere de Ponce Yepes S.A.* Programa de Maestría en Dirección de Empresas.
- Arena Software ®. *Input Analyzer.*
- Banco Central del Ecuador, (2012). *Tasa de interés, mayo de 2012.* Recuperado el 7 de mayo de 2012, de <http://www.bce.fin.ec/docs.php?path=documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- Banks, J. & Carson, J. & Nelson, B. & Nicol, D. (2005). *Discrete-Event System Simulation.* 4° Edición.
- Bautista, M. (2010). *Prueba de la Bondad del Ajuste.* Recuperado el 19 de abril de 2012, de <http://www.slideshare.net/mib/prueba-de-la-bondad-del-ajuste>
- Blank, L. & Tarquin, A. (1999). *Ingeniería Económica.* Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Bozer, Y. & Meller, D. & Erlebacher, S. (1994). *An improvement type layout algorithm for single and multiple floor facilities.* Management Science, p. 918-932.
- Buffa, E. & Armour, G. & Vollman, T. (1964). *Allocating facilities with CRAFT.* Harvard Business Review. p. 136-159. Vol. 42.
- Cálculo del tamaño de la muestra.* (2012). Recuperado el 24 de abril de 2012, de http://www.psico.uniovi.es/dpto_psicologia/metodos/tutor.7/p3.html
- Cano, A. (2012). *Prueba Kolmogorov-Smirnov.* Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Recuperado el 19 de abril de 2012, de http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad_de_Ajuste_de_Kolmogorov_Smirnov.pdf
- Chang, R. & Niedzwiecki, E. & Gorín, J. (1999). *Las Herramientas para la Mejora Continua de la Calidad.* Volumen 2, Ediciones Granica S.A.
- Chung, J. & Tanchoco, J. (2010). *The double row layout problem.* International Journal of Production Research, p. 709-727.
- Donaghey, C. & Pire, V. (1990). *Solving the facility layout problem with BLOCPLAN.* Industrial Engineering Department, University of Houston, Texas.

- Elitron IPM srl, (2012). *Automatic Cutting Systems*. Recuperado el 25 de marzo de 2012, de <http://elitron.com/> y de http://www.elitron.com/images/uploads/pdf/booster_eng.pdf
- Elwood, S. & Taubert, W. (1981). *Sistemas de Producción e Inventario Planeación y Control*. México D.F.: Editorial Limusa.
- Estrada, W. & Moreno, V. & Noboa, J. (2005). *Espiral 9, serie de matemáticas*. Grupo Editorial Norma, Bogotá, Colombia.
- FabrilFame S.A. (2011). Recuperado el 28 de noviembre de 2011, de <http://www.fabrilfame.com/>
- Feedback Networks Technologies (2012). *Calcular la muestra correcta*. Recuperado el 24 de abril de 2012, de <http://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calcul.html>
- Fernández, R. (2006). *Sistemas de Gestión de la Calidad, Ambiente y Prevención de Riesgos Laborales*. España. Editorial Club Universitario.
- Fourer, R. & Gay, D. & Kernighan, B. (2000). *A Modeling Language for Mathematical Programming*. Management Science. Recuperado el 23 de febrero de 2012, de <http://www.ampl.com>
- Gamberi, M. & Manzini, R. & Regattieri, A. (2008). *A new approach for the automatic analysis and control of material handling systems: integrated layout flow analysis*. Adv Manuf Technol. p. 1-13.
- Gutiérrez, O. (2009). *Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios*. Universidad de Oriente, Cuba. p. 1-20.
- Heragu, S. & Kusiak, A. (1991). *Efficient models for the facility layout problem*. European Journal of Operational Research. Vol. 53.
- Hobbs, D. (2004). *Lean Manufacturing Implementation*. APICS.
- Hobson, E. (1950). *The Theory of Functions of a Real Variable and the Theory of Fourier's Series*. Cambridge University Press y Harren Press. Washington D.C. Vol. I, 3^a. ed.
- HOLDINGDINE S.A. (2011). Recuperado el 28 de noviembre de 2011, de <http://www.holdingdine.com/content/view/31/75/>
- Jensen, P. (2004). *Facility Layout Add in - Operations Management*. Universidad de Texas. Austin TX. Recuperado el 18 de febrero de 2012, de http://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/omie/computation/unit/lay_add/lay_add.html
- Lascano, M. (2010). *Optimización de los Métodos de Trabajo en el Proceso de Construcción de Máquinas para Labrar Madera en la Empresa CIMA CASTRO*. Riobamba. Tesis de Grado ESPOCH, Facultad de Ingeniería Industrial.

- Levin, R. & Rubin, D. (2004). *Estadística para administración y economía*. Pearson Education. Séptima edición, México.
- McDonald, T. & Van Aken, E. & Ellib, K. (2011). *Utilizing simulation to evaluate production line performance under varying demand conditions*. International Journal of Industrial Engineering Computations. p. 1-13.
- Martin, W. & Stanford, R. (2006). *A methodology for estimating the maximum profitable turns for an ABC inventory classification system*. IMA Journal of Management Mathematics. p. 1-12.
- Meyers, F. & Stephens, M. (2006). *Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales*. Pearson Education. 3° Edición.
- Montenegro, M. (2012). *Pruebas de Bondad de Ajuste*. Departamento de Estadística. Universidad de Oviedo. Recuperado el 19 de abril de 2012, de http://bellman.ciencias.uniovi.es/estadistica2/estadistica2_archivos/ajuste.pdf
- Montgomery, D. (1991). *Control Estadístico de la Calidad*. Grupo Editorial Iberoamérica.
- Montreuil, B. (1990). *A modeling framework for integrating layout design and flow network design*. Proceedings of the Material Handling Research Colloquium. Hebron, Kentucky.
- Muller, M. (2004). *Fundamentos de Administración de Inventarios*. Bogotá, Colombia. 1ª Edición.
- Niebel, F. (2007). *Ingeniería Industria: Métodos, Estándares y diseño del trabajo*. Primera edición: México Ed. Alfaomega.
- Osorio, G. *Cadena de Valor*. Recuperado de http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=cadena%20de%20valor&source=web&cd=9&ved=0CGYQFjAI&url=http%3A%2F%2Fwww.grupoconsultoria.com.co%2Fvalor.doc&ei=StMqT7vUC-GxsAL4t-S7Dg&usq=AFQjCNFNcx2Y_PpfpNyfTXRmgMNEFDC_1g
- Owens, R. (2011). *Advancing Facility Planning*. Education and practice in Asia fall short of Europe and the United States. 1-6.
- PICA Plásticos Industriales C.A. (2012). *Organizadores, cajones*. Recuperado el 21 de abril de 2012, de <http://www.pica.com.ec/Web/CatProductos.php?&idcat=10&idsubcat=2&nombcat=Organizacion#catalogo>
- Ramos, A. & Sánchez, P. & Ferrer, J. & Barquín, J. & Linares, P. (2010). *Modelos Matemáticos de Optimización*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.
- Reed, R. (1961). *Plant Layout: Factors, Principles, and Techniques*. Illinois.

- Sahin, R. & Turkbey, O. (2008). *A simulated annealing algorithm to find approximate Pareto optimal solutions for the multi-objective facility layout problem*. Adv Manuf Technol. p. 1-17.
- Salazar, B. (2012). *Producción Anual 2011*. Planta de Calzado FAME S.A.
- Sule, D. (2001). *Instalaciones de Manufactura*. México. Thomson 2º Edición.
- Tanus, M. & Rodríguez, M. (2005). *Reubicación de la línea de producción Ripping Bar en la empresa Herramientas Stanley*. Tesis Profesional. Cholula, Puebla, México.
- Tobar, D. (2011). *Propuesta del diseño de las instalaciones de La Industria Harinera S.A. para su nueva ubicación en el Parque Industrial de Quito en el sector Turubamba*. Tesis de grado para Ingeniería Industrial, USFQ Quito.
- Tompkins, J. & White, J. & Yayuz, A. & Tanchoco, J. (2006). *Planeación de instalaciones*. México. 3º Edición.
- Tropical Pallets, (2012). *Diseño de Pallets*. Recuperado el 21 de abril de 2012, de <http://www.tropicalpallets.com/pallets.html>
- Vitrinas Corona (2008). *Diseño de Estanterías*. Recuperado el 21 de abril de 2012, de <http://www.vitrinascorona.com/estanterias-vitrinas-corona.html>
- Wiyaratn, W. & Watanapa, W. (2010). *Improvement Plant Layout Using Systematic Layout Planning (SLP) for Increased Productivity*. World Academy of Science, Engineering and Technology. p. 1-7.
- Womack, J. & Jones, D. (2005). *Lean Thinking: Como utilizar el pensamiento Lean para eliminar los desperdicios y crear valor en la empresa*. Gestión 2000.

APÉNDICE A: ANEXOS

Anexo 1: *Layout Actual FAME Calzado.*

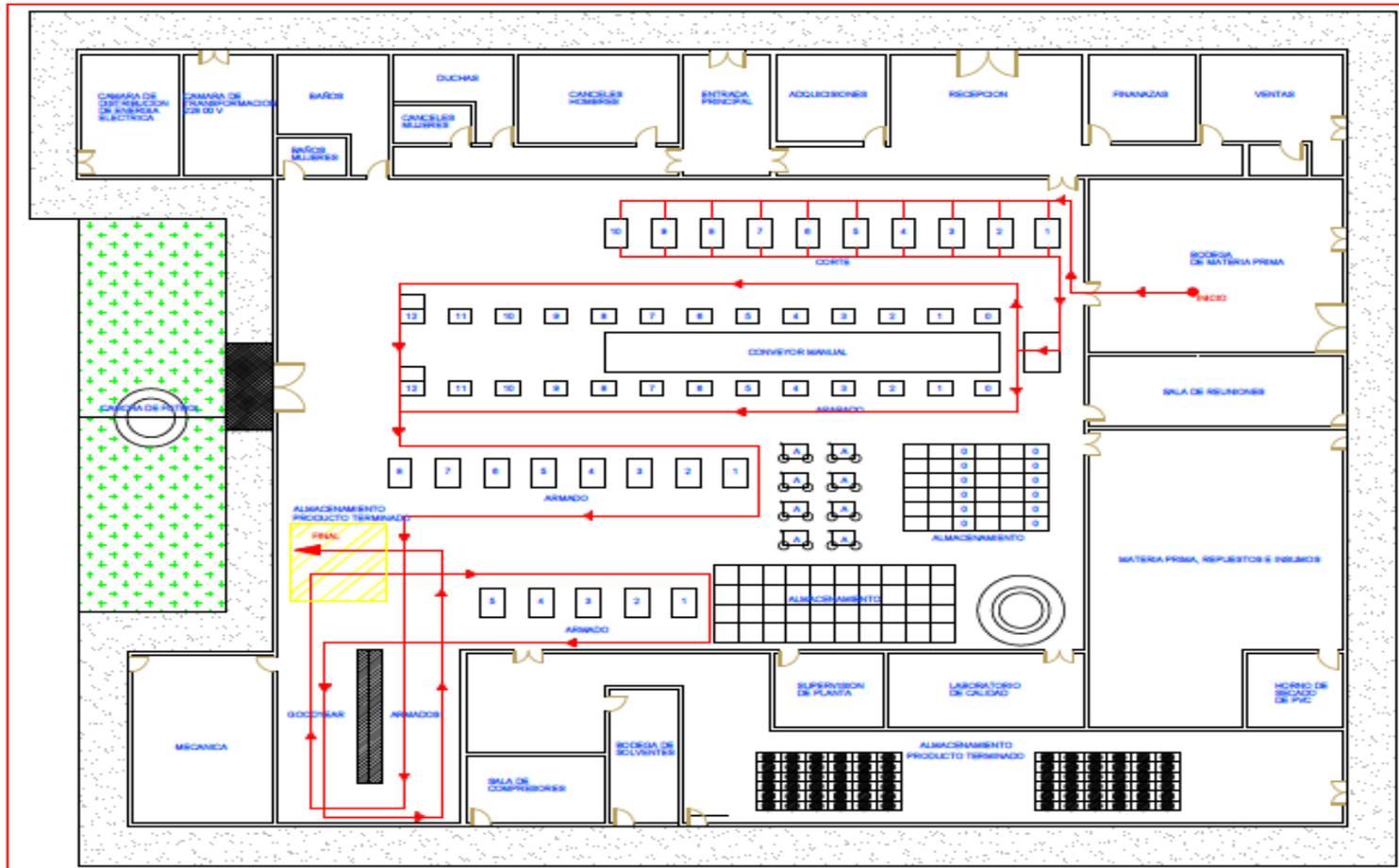


Figura 52. *Layout Actual FAME S.A. y flujo de materiales.*
Elaboración propia.

Anexo 2: Diagrama de Flujo Bota de Selva Patuca.

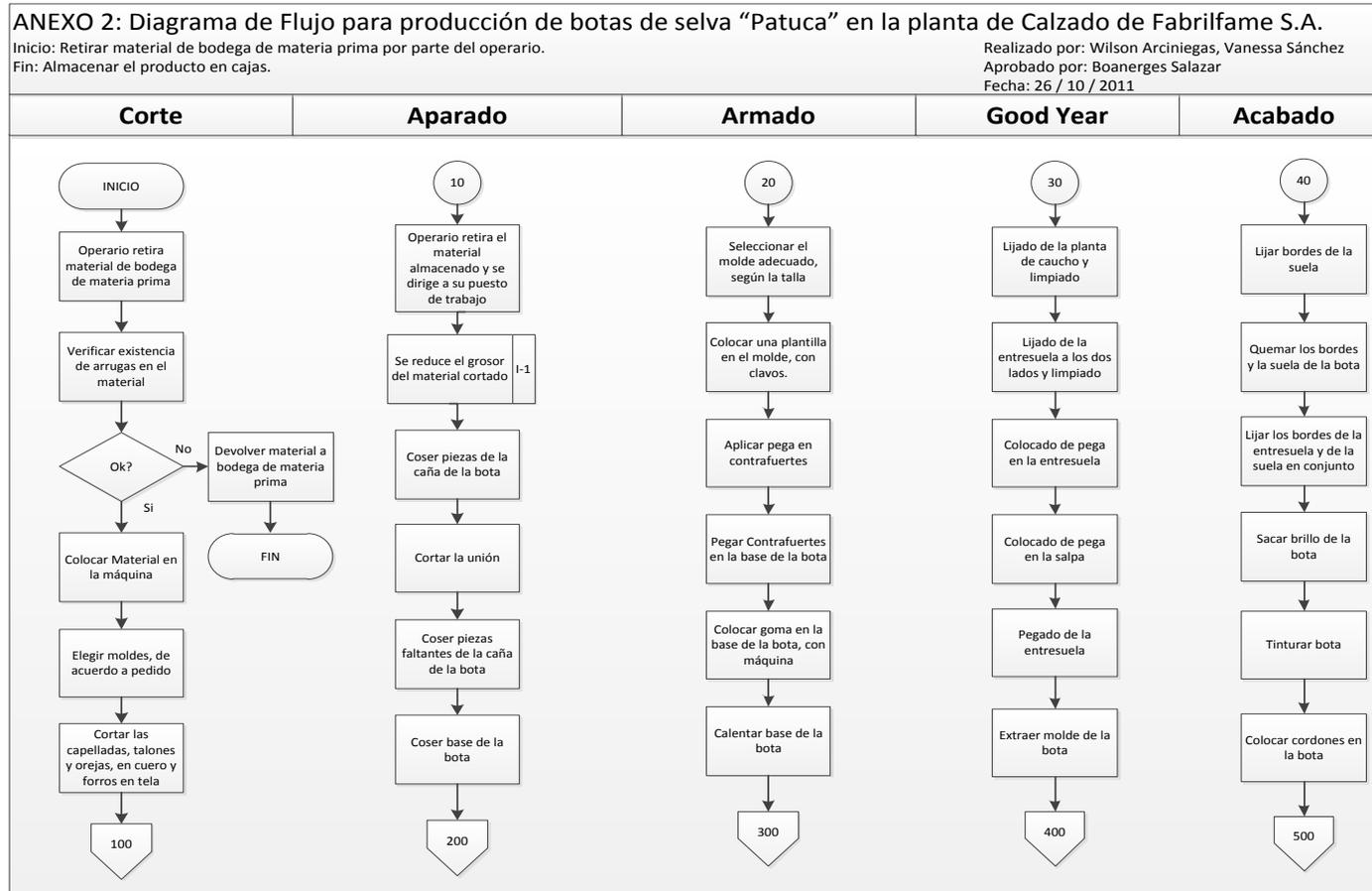


Figura 53. Diagrama de Flujo para producción de Botas de Selva "Patuca".
 Elaboración Propia.

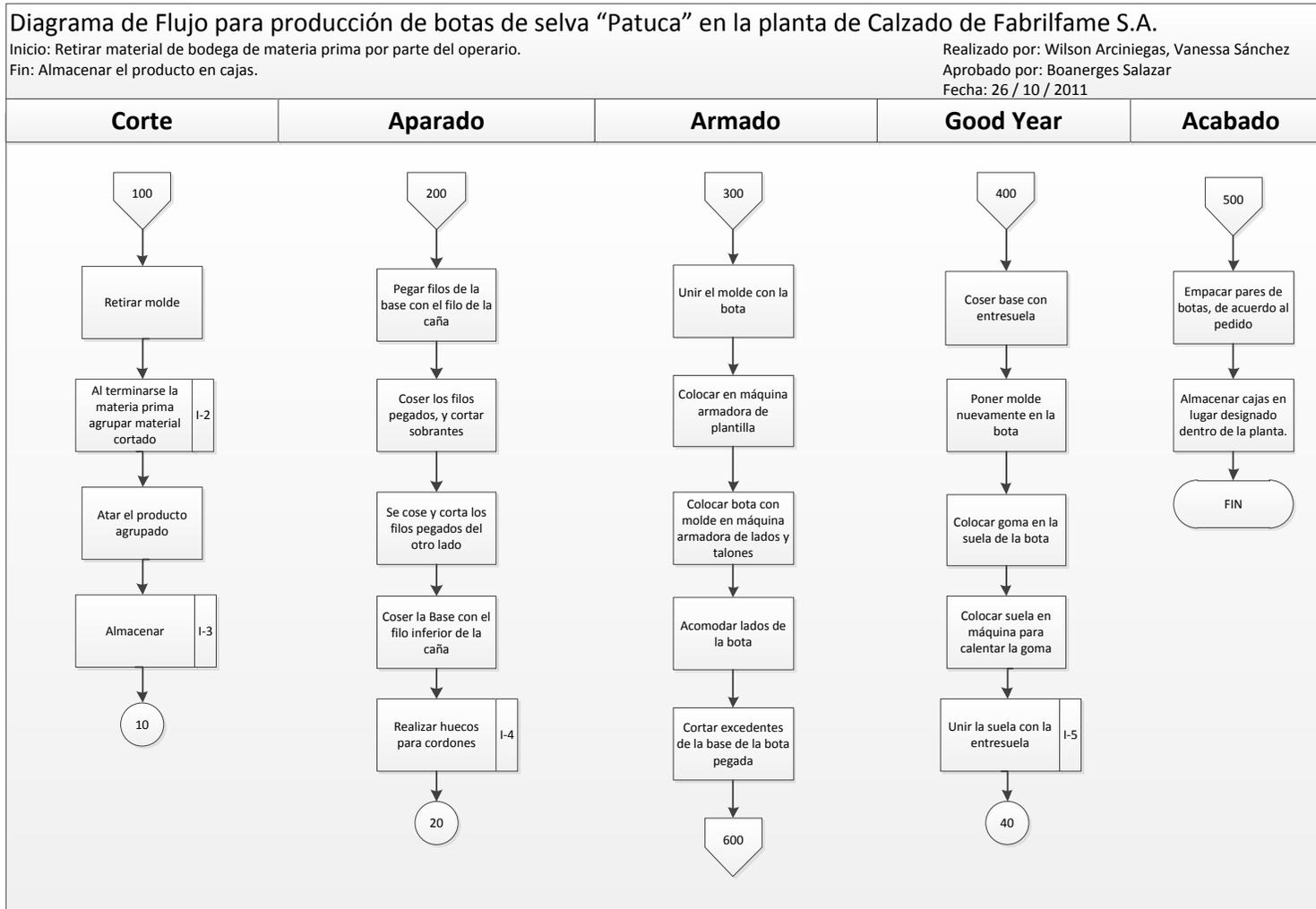


Figura 54. Diagrama de Flujo para producción de Botas de Selva “Patuca”.
 Elaboración Propia.

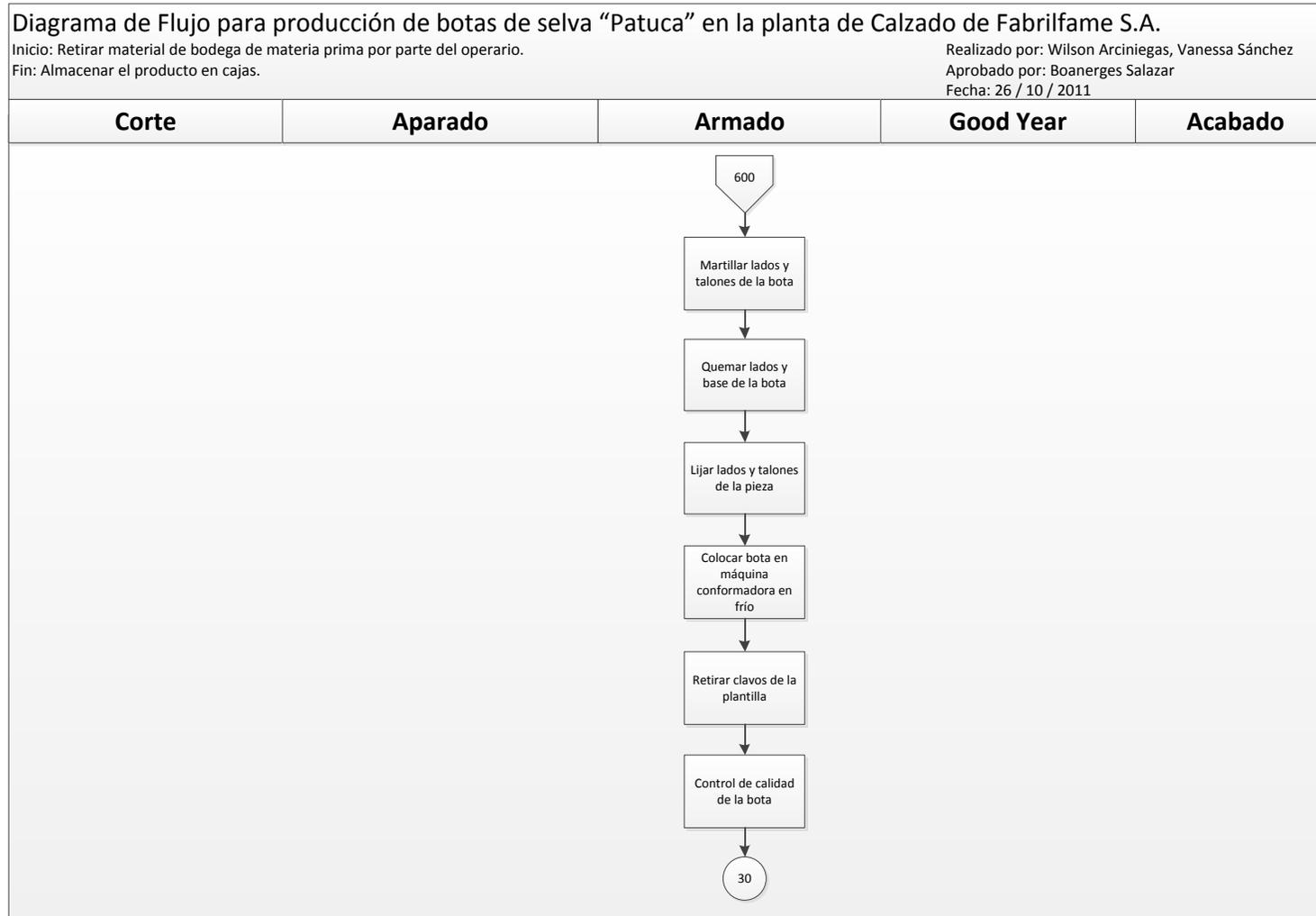


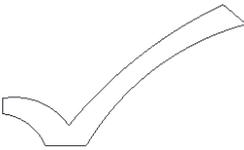
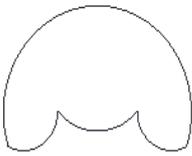
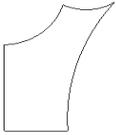
Figura 55. Diagrama de Flujo para producción de Botas de Selva “Patuca”.
Elaboración Propia.

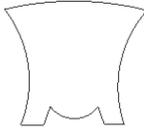
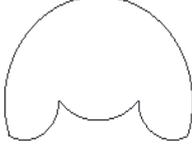
Instrucciones al Proceso
<p>I-1: Se reduce el grosor del material mediante una máquina para poder coser de manera más fácil y más rápida.</p> <p>I-2: Agrupar material cortado de acuerdo a lote o pedido.</p> <p>I-3: Almacenar en estantería ubicada en la parte inicial del proceso de corte.</p> <p>I-4: Utilizar máquina ojaleadora para realizar los huecos.</p> <p>I-5: Mediante máquina prensadora se procede a unir la suela con la entresuela.</p>

Figura 56. Indicaciones al Proceso para producción de Botas de Selva “Patuca”.
Elaboración Propia.

Anexo 3

Tabla 38. Descripción de cada una de las partes para la elaboración de la bota Patuca.

Código	Pieza	Descripción	Material	Peso gramos
K01		Oreja	Cuero	10
K02		Oreja	Cuero	10
K03		Capellada	Cuero	40
K04		Talón	Cuero	20
K05		Salpas	Cuero	20
K06		Bocas	Cuero	6
PL1		Salpas	Cerfil	18
TA1		Talón	Tafilete	10
L1		Caña	Lona	15

L2		Caña	Lona	15
L3		Lona	Lona	23
TE1		Capellada	Tela	6

Elaboración propia.

Anexo 4

Tabla 39. Descripción de las actividades con sus respectivos pesos salientes.

Descripción de las estaciones de trabajo						
CORTE						
Estación	Descripción	Peso (gramos)				
C1	Cortar piezas TA1, K05 y K06	2666,67				
C3	Cortar piezas K01, K02, K03 y K04	2666,67				
C5	Cortar piezas K01, K02, K03, K04, L1, L2 y L3	Cuero	Lona			
		2666,67	1500			
C14	Cortar piezas TE1 y PL1	Tela	Cerfil			
		804,40	380			
C4	Cortar piezas K01, K02, K03 y K04	2666,67				
APARADO						
Estación	Descripción	Peso (gramos)				
A0	Pintar partes cortadas K01, K02, K03, K04, K06	K01	K02	K03	K04	K06
		11	11	44	26	7
A1	Aplanar K03 y K04	K03	K04			
		44	26			
A2	Aplanar K03 y K04	K03	K04			
		44	26			
A3	Numerar y codificar K01	11				
A12	Coser K01 y K02 a L1 y L2	69				
A18	Coser K06 a L3	39				
A19	Coser ribete a L1 y L2	33				
A27	Perforar y Colocar respiraderos a K03	51				
A31	Colocar ojalillos sobre K01, K02 y K06	191				
A39	Coser TA1	58				
A40	Coser reata ancha y delgada a L1 y L2 por segunda vez	44				
A41	Coser L1 y L2	31				
A43	Coser reata ancha y delgada a L1 y L2	43				
A44	Coser S1 y S2 y cortar excedentes parte derecha	180				
A45	Coser S1 y S2 y cortar excedentes parte izquierda	184				
A47	Coser S1 y S2 (parte abajo)	184				
A48	Coser K04	94				
A50	Pegar K03 a (K06 con L3)	76				
P1	Aplicar pega en K03 y TE1	54				
P2	Aplicar pega en S1 y S2	164				

ARMADO		
Estación	Descripción	Peso (gramos)
R2	Clavar PL1 en las hormas	995
R26	Preformado de talones	194
R3a	Pegar punteras	208
R3b	Colocar pega en los bordes de las capelladas	210
R6	Armar las puntas	1147
R7	Armar los lados y talones	1147
R15	Conformado en caliente	1145
R24	Conformado en frío	1146
R18a	Sacar clavos y realizar control de calidad	1146
R18b	Clavar cambiión	1196

GOOD YEAR		
Estación	Descripción	Peso (gramos)
G14	Colocar pega en la planta	1198
G16	Colocar entresuela manualmente	1270
G15	Colocar entresuela con maquinaria	1270
G11	Coser entresuela	328
G18a	Colocar suela manualmente	655
G18b	Colocar suela con maquinaria	655
G7	Pulir plantas de la suela	634

ACABADOS		
Estación	Descripción	Peso (gramos)
AC1a	Pegar K05 dentro de la bota	643
AC1b	Quemar hilos	643
AC2a	Abrillantar las botas	643
AC2b	Lacar las botas	643
AC3	Poner cordones	644

Elaboración propia.

Anexo 5

Tabla 40. Tabla de Equivalencias.

Tabla de Equivalencias				
Unidad:		Peso en gramos:		
Plancha de Cuero		2666,67		
Corte				
Estación	Peso en gramos		Porcentaje con respecto a la unidad	
C1	2666,67		100%	
C3	2666,67		100%	
C5	Cuero	Lona	Cuero	Lona
	2666,67	1500	100%	56,25%
C14	Tela	Cerfil	Tela	Cerfil
	804,40	380	30,17%	14,25%
C4	2666,67		100%	

Aparado										
Estación	Peso en gramos					Porcentaje con respecto a la unidad				
A0	K01	K02	K03	K04	K06	K01	K02	K03	K04	K06
	11	11	44	26	7	0,41%	0,41%	1,65%	0,98%	0,26%
A1	K03	K04				K03	K04			
	44	26				1,65%	0,98%			
A2	K03	K04				K03	K04			
	44	26				1,65%	0,98%			
A3	11					0,41%				
A12	69					2,59%				
A18	39					1,46%				
A19	33					1,24%				
A27	51					1,91%				
A31	191					7,16%				
A39	58					2,18%				
A40	44					1,65%				
A41	31					1,16%				
A43	43					1,61%				
A44	180					6,75%				
A45	184					6,90%				
A47	184					6,90%				
A48	94					3,53%				
A50	76					2,85%				
P1	54					2,03%				
P2	164					6,15%				

Armado		
Estación	Peso en gramos	Porcentaje con respecto a la unidad
R2	40	1,50%
R26	194	7,28%
R3a	208	7,80%
R3b	210	7,88%
R6	192	7,20%
R7	192	7,20%
R15	190	7,13%
R24	191	7,16%
R18a	191	7,16%
R18b	241	9,04%

Goodyear		
Estación	Peso en gramos	Porcentaje con respecto a la unidad
G14	243	9,11%
G16	315	11,81%
G15	315	11,81%
G11	328	12,30%
G18a	655	24,56%
G18b	655	24,56%
G7	634	23,78%

Acabados		
Estación	Peso en gramos	Porcentaje con respecto a la unidad
AC1a	643	24,11%
AC1b	643	24,11%
AC2a	643	24,11%
AC2b	643	24,11%
AC3	644	24,15%

Elaboración propia.

Anexo 9: Layout Actual de la Planta Dividido en Cuadrículas.

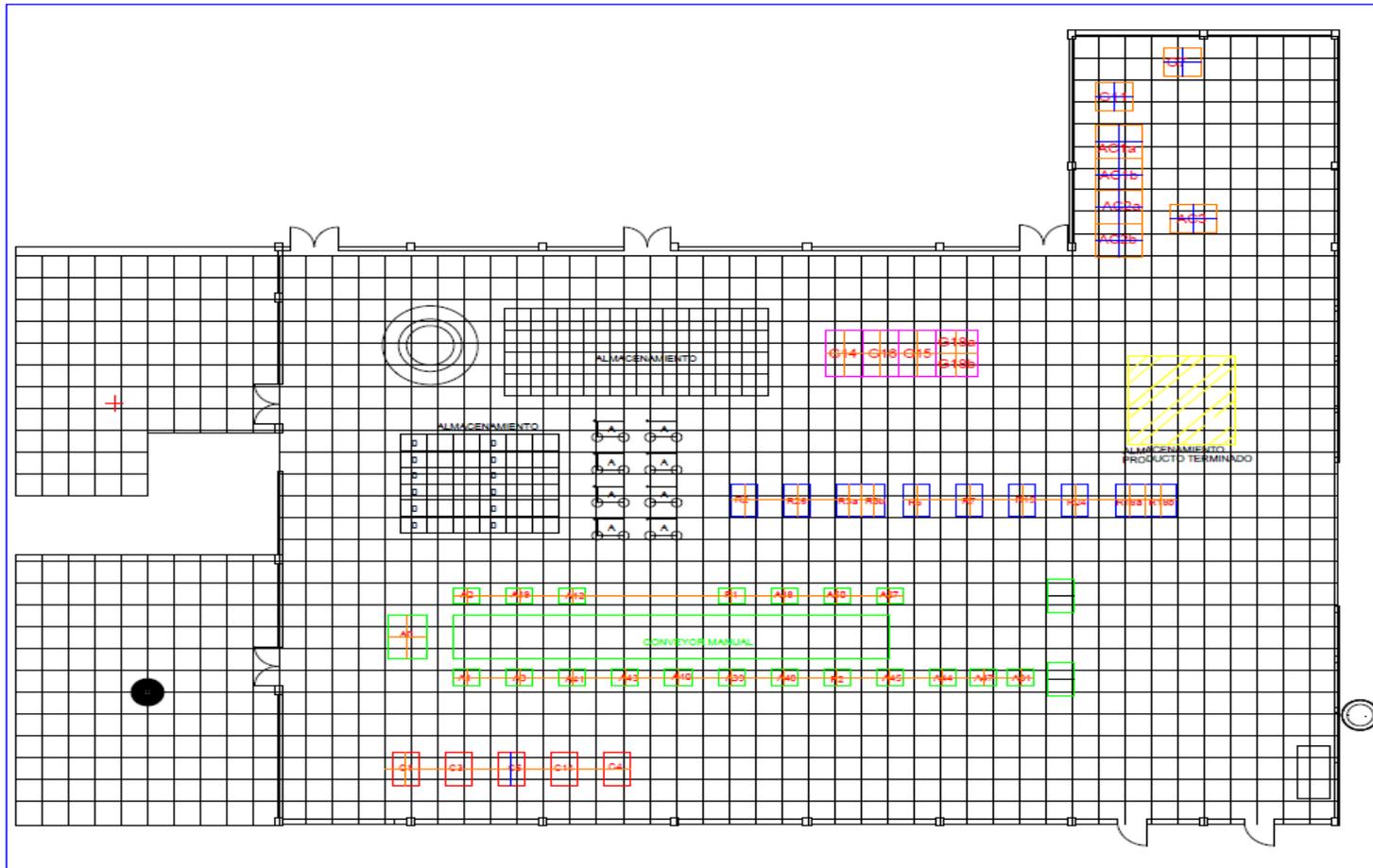


Figura 57. Layout Actual de la Planta de Calzado de FAME S.A.
Elaboración Propia.

Anexo 12: Diagrama de Espaguetti.

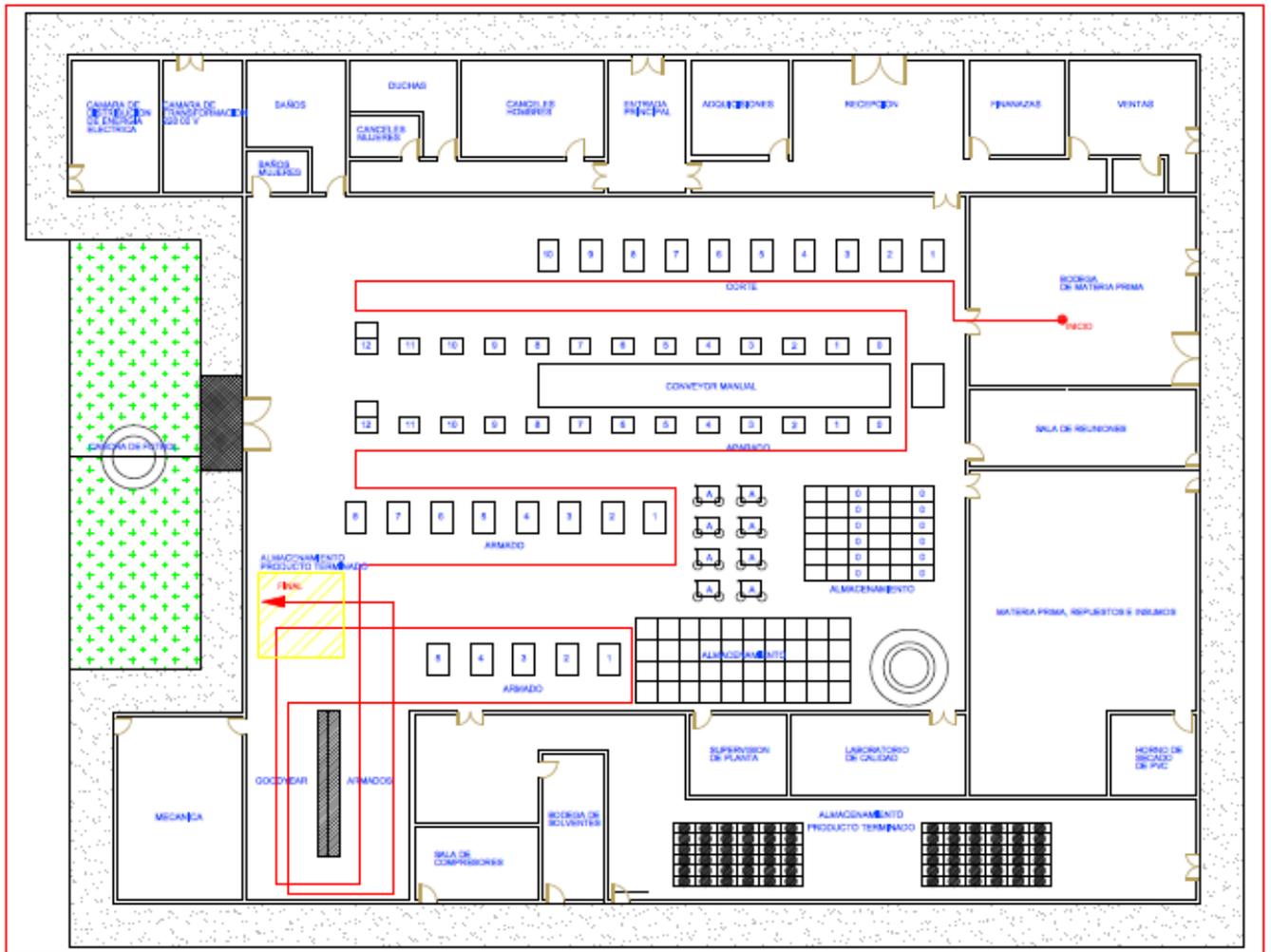


Figura 58. Diagrama de Espaguetti de la Actual Planta de Calzado de FAME S.A. Elaboración Propia.

Anexo 15: Diagrama de Relaciones para SLP.

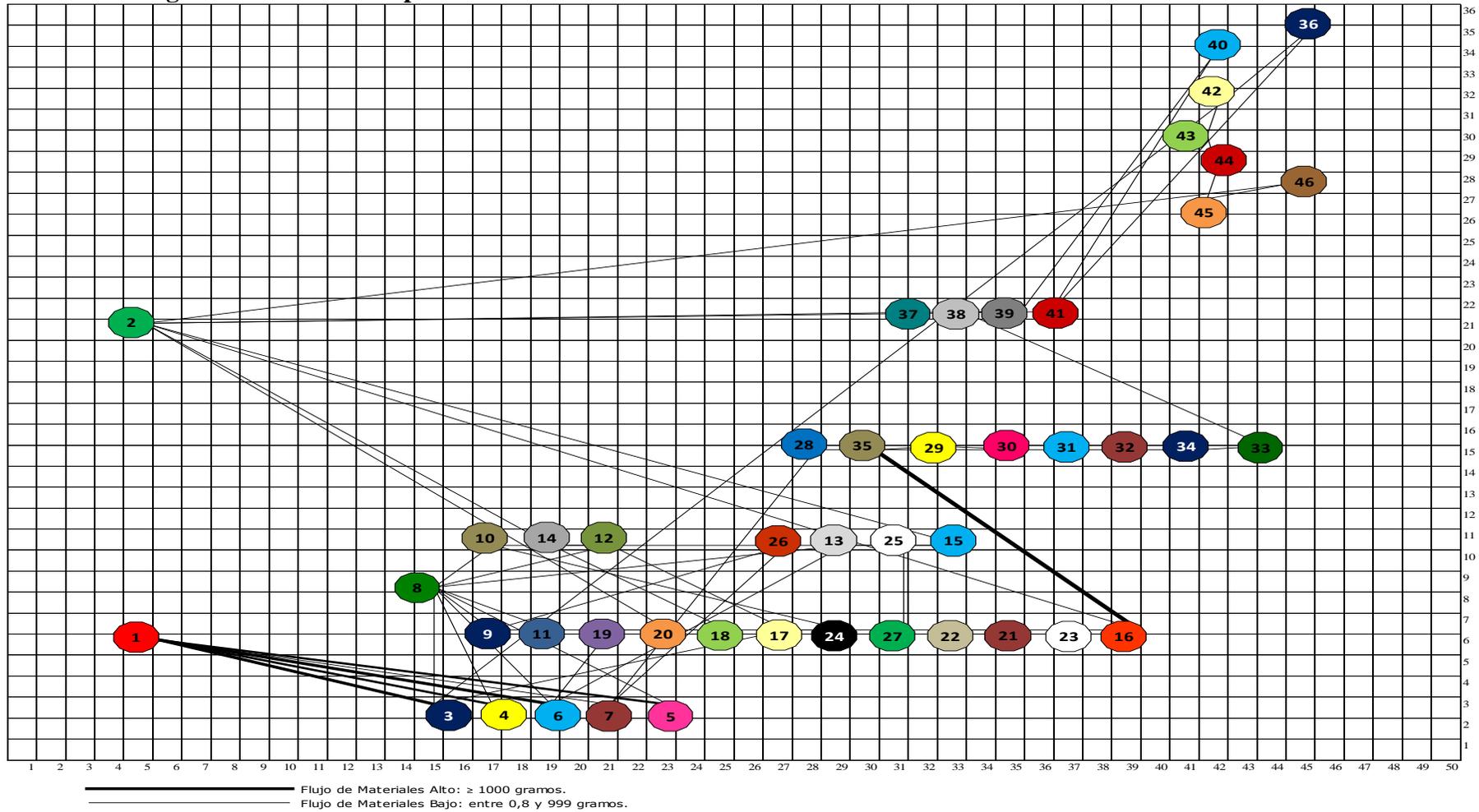


Figura 59. Diagrama de Relaciones para SLP, escala en metros.
 Elaboración Propia.

Anexo 16: Diagrama de Relaciones de Espacio para SLP.

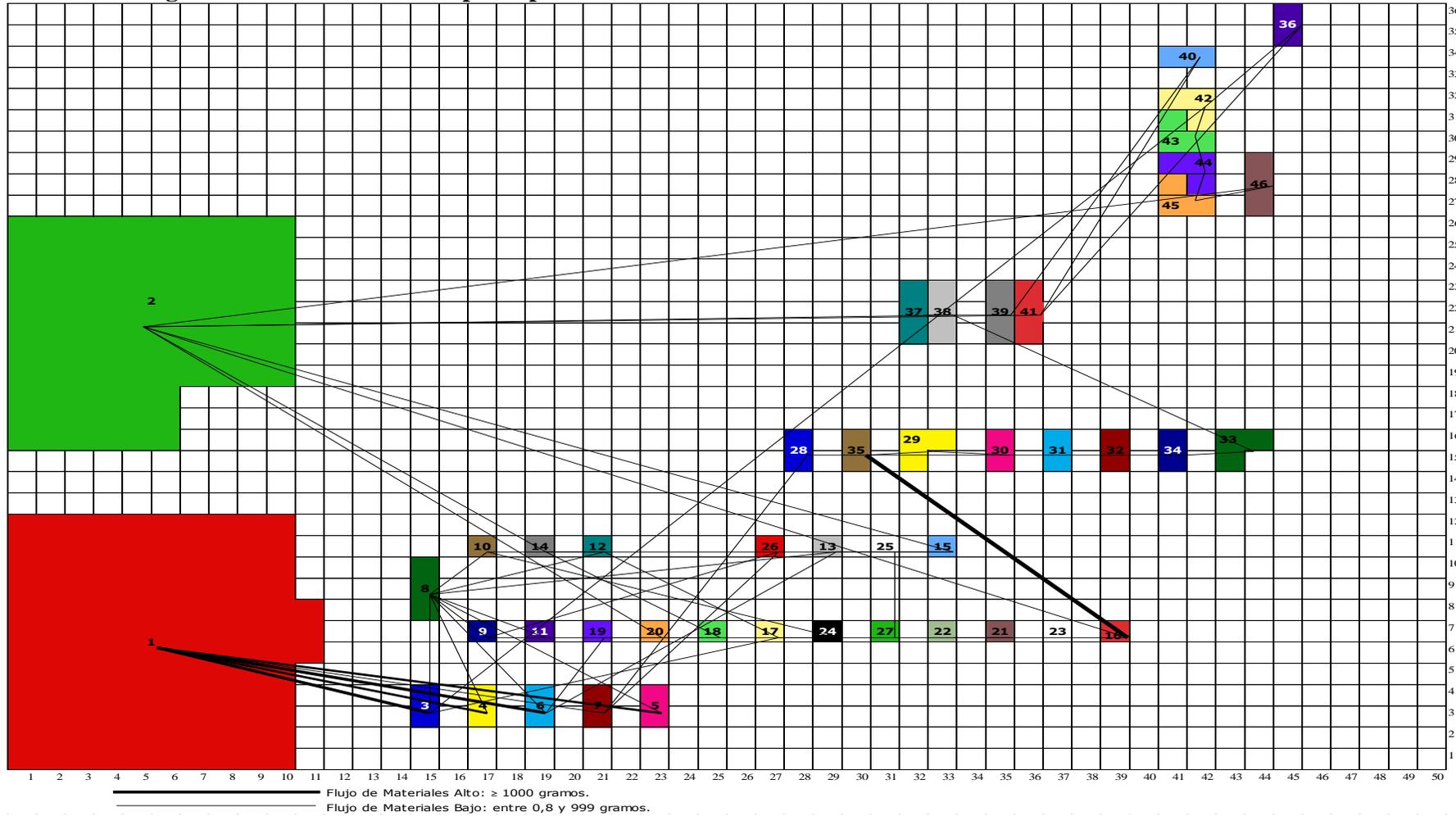


Figura 60. Diagrama de Relaciones de Espacio para SLP, escala en metros.
 Elaboración Propia.

Anexo 17: Propuesta #1, Layout utilizando la metodología SLP.

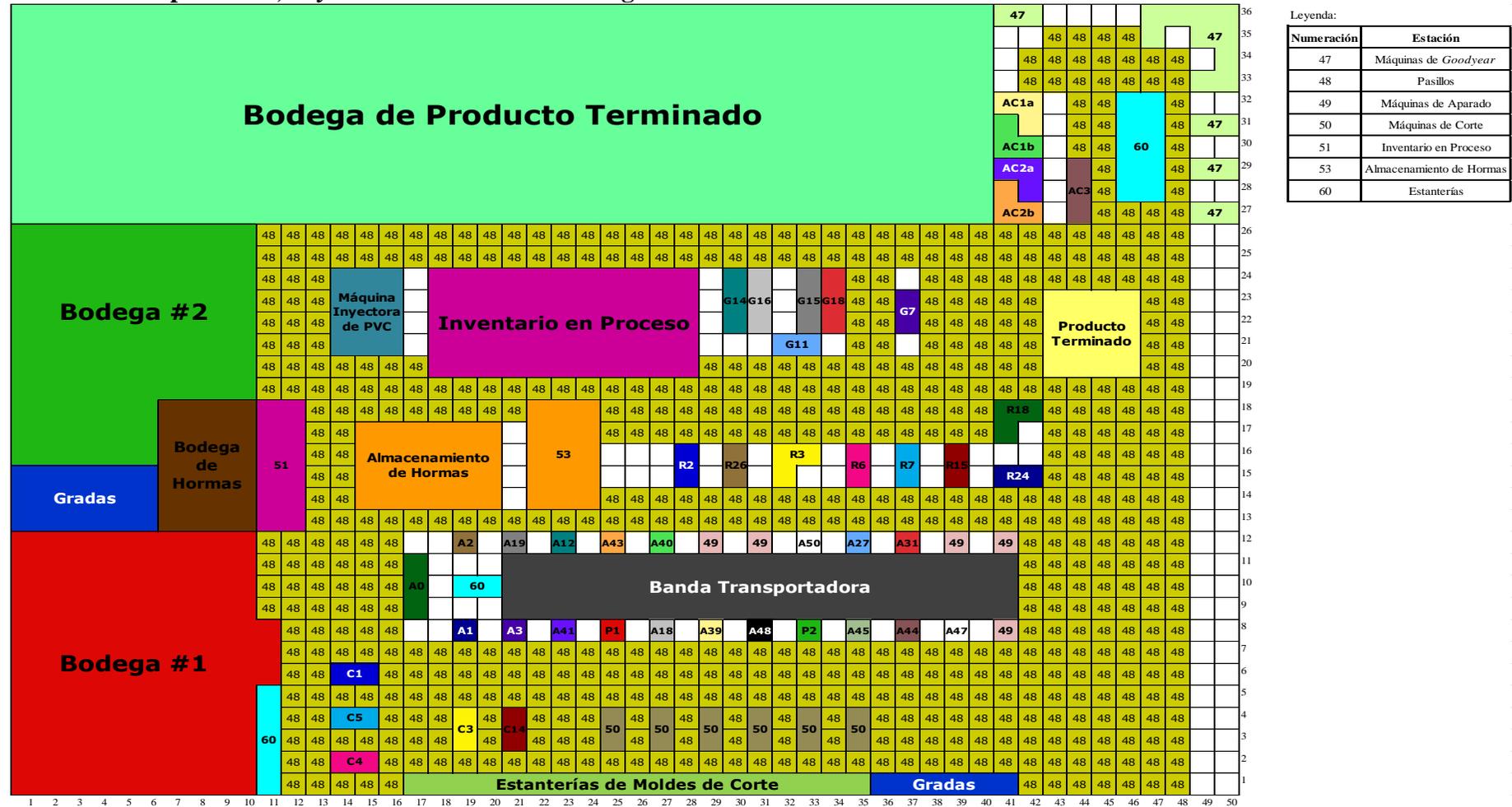


Figura 61. Propuesta 1 de Layout utilizando la metodología SLP, escala en metros.
Elaboración Propia.

Anexo 20: Total de Iteraciones del Método CRAFT.

1) 16 con 25, A31 con A50:

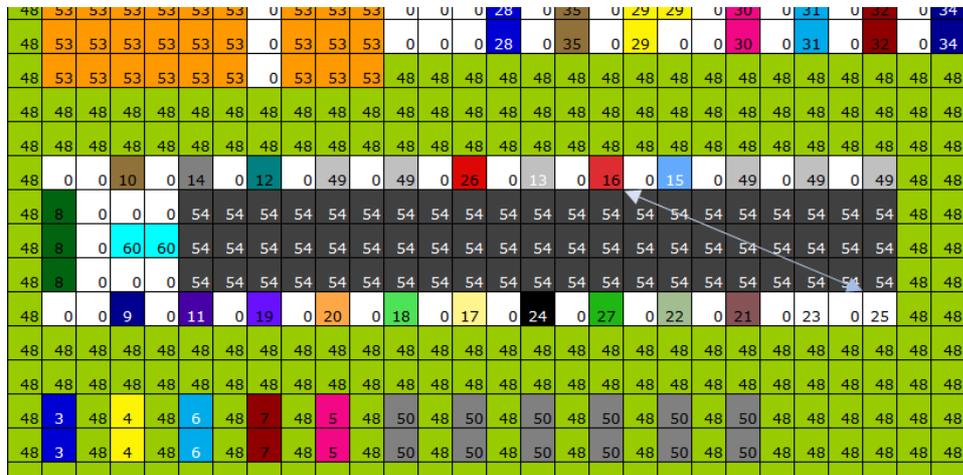


Figura 62. Primera iteración para el método CRAFT.

Fuente: Jensen, 2004.

2) 29 con 42, R3 con AC1a:



Figura 63. Segunda iteración para el método CRAFT.

Fuente: Jensen, 2004.

3) 3 con 5, C1 con C4:

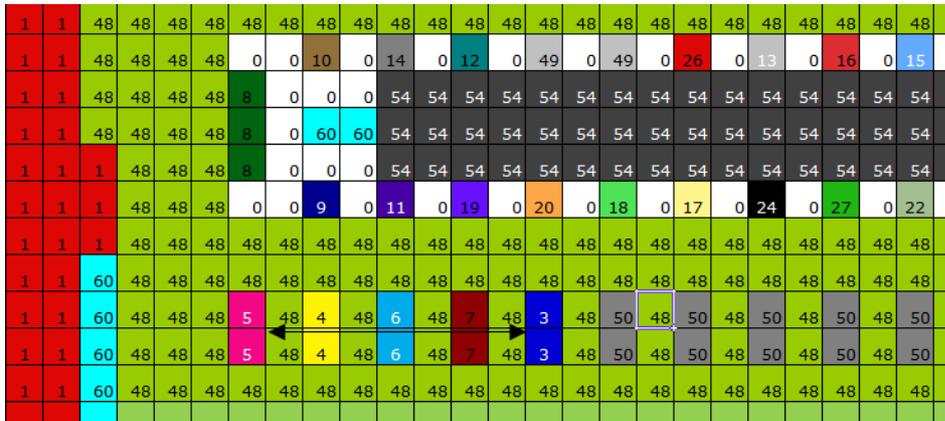


Figura 64. Tercera iteración para el método CRAFT. Fuente: Jensen, 2004.

4) 3 con 28, C1 con R2:

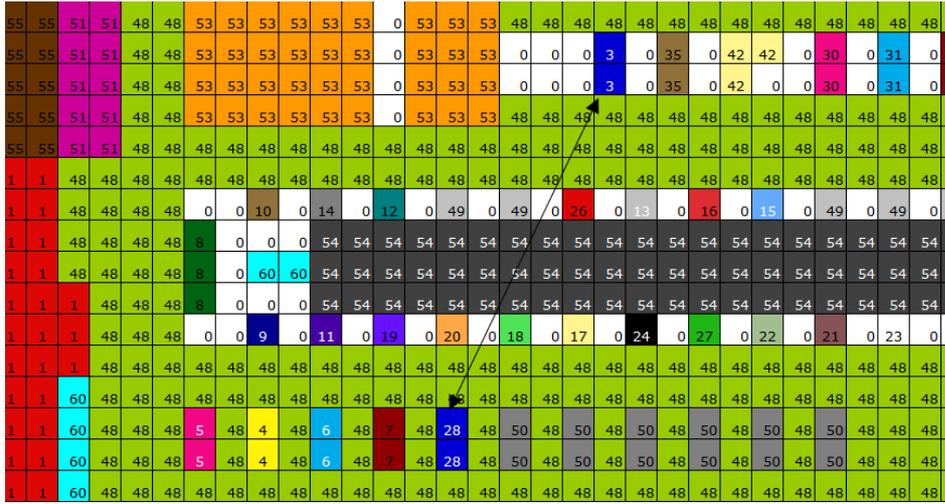


Figura 65. Cuarta iteración para el método CRAFT. Fuente: Jensen, 2004.

7) 31 con 40, R7 con G11:

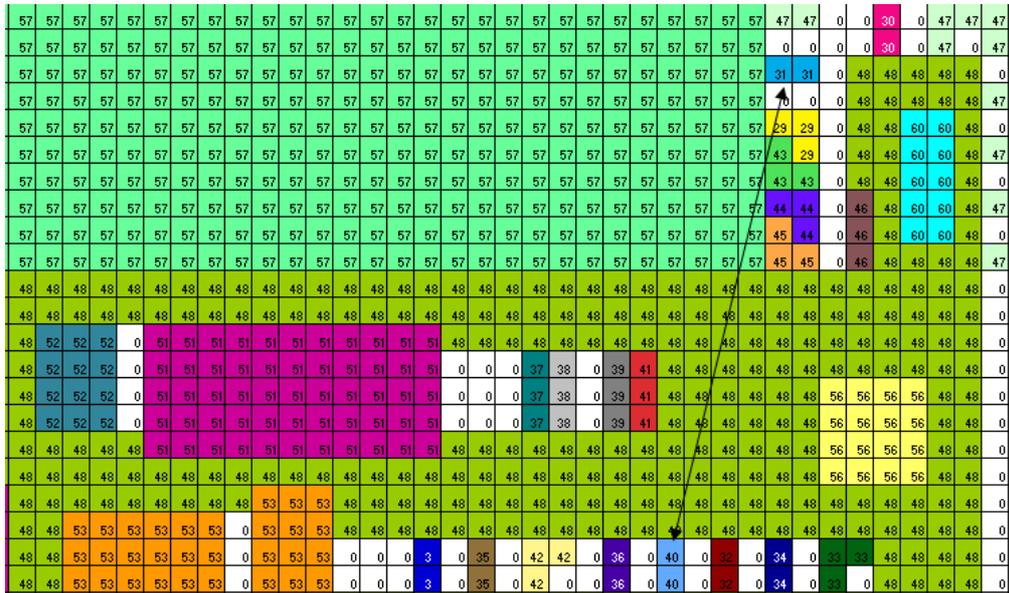


Figura 68. Séptima iteración para el método CRAFT.

Fuente: Jensen, 2004.

8) 11 con 26, A3 con P1:

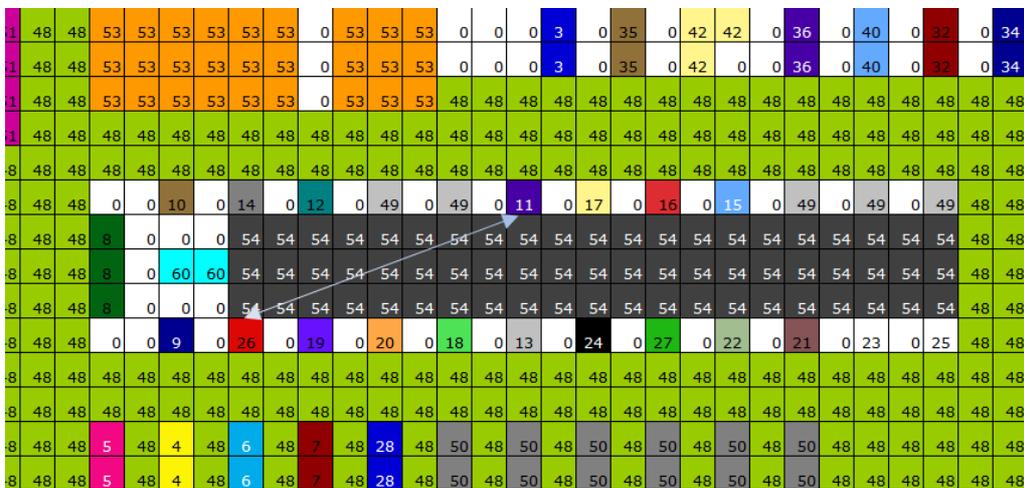


Figura 69. Octava iteración para el método CRAFT.

Fuente: Jensen, 2004.

9) 4 con 6, C3 con C5:

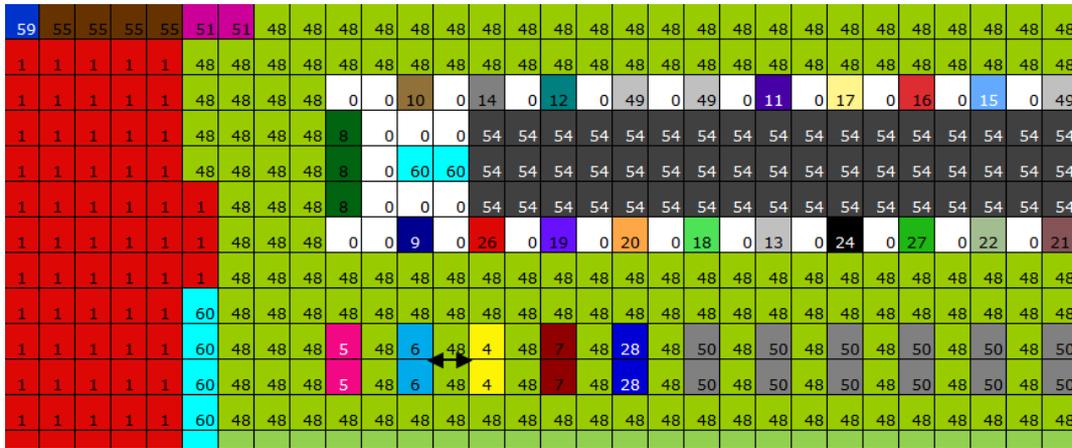


Figura 70. Novena iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

10) 9 con 13, A1 con A18:

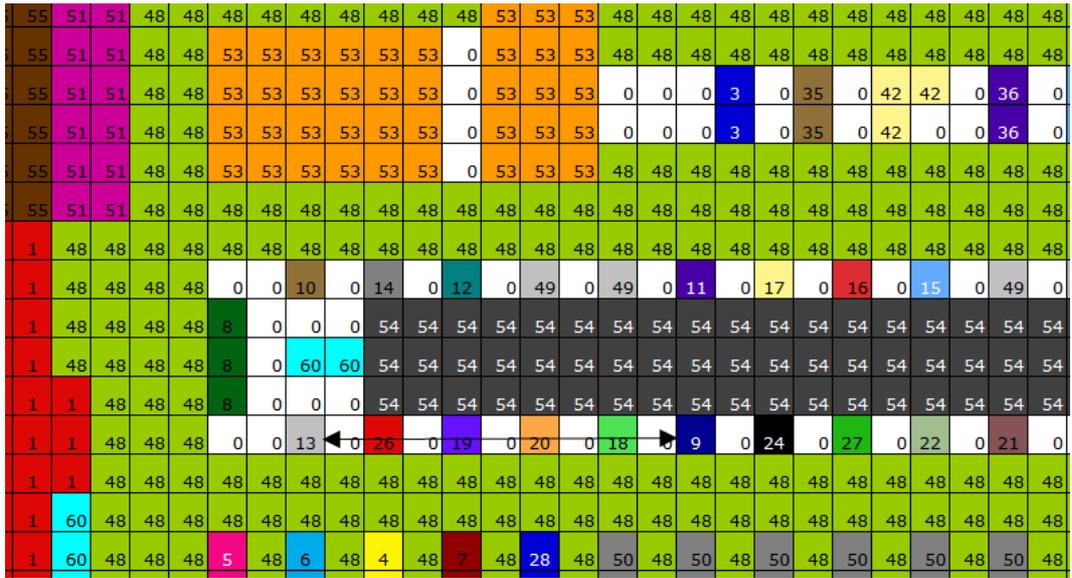


Figura 71. Décima iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

11) 37 con 41, G14 con G18:

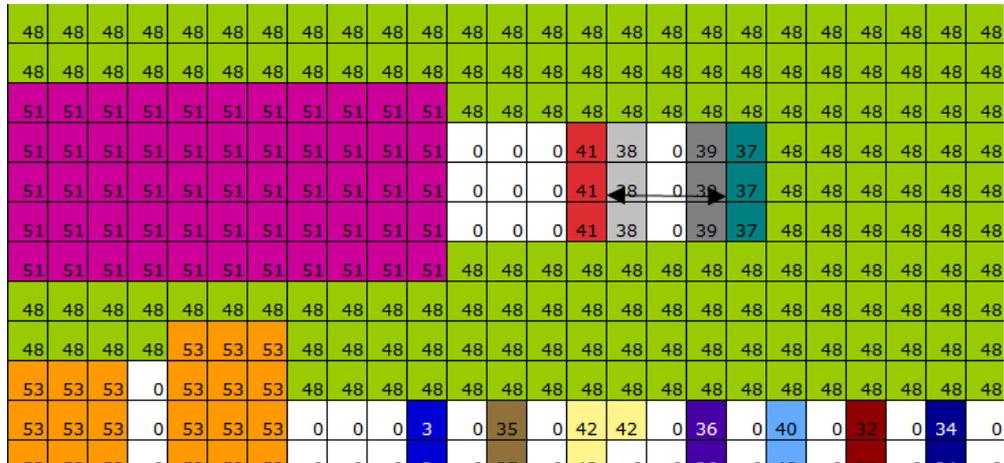


Figura 72. Décima primera iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

12) 19 con 26, A41 con P1:

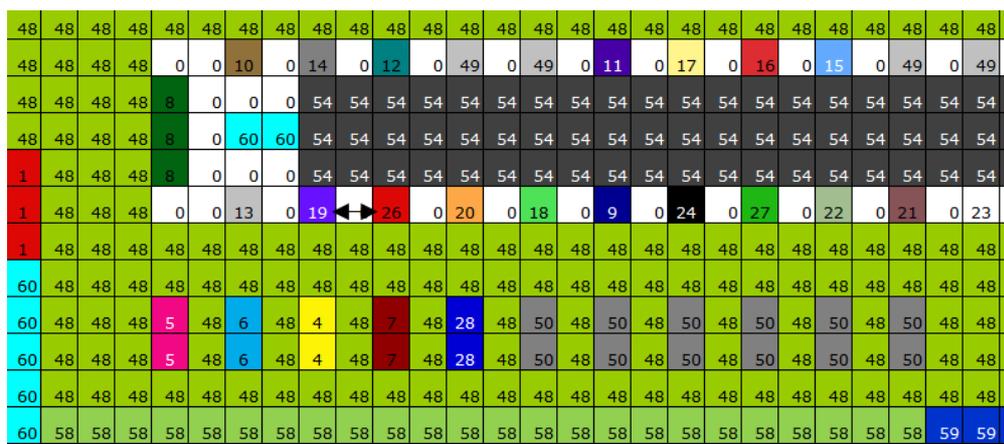


Figura 73. Décima segunda iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

15) 23 con 27, A47 con P2:



Figura 76. Décima quinta iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

16) 12 con 15, A12 con A27:



Figura 77. Décima sexta iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

17) 34 con 40, R24 con G11:

51	51	51	51	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	56	56	56	
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	56	56	56
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
0	0	0	3	0	35	0	42	42	0	36	0	34	0	32	0	40	0	39	39	48	
0	0	0	3	0	35	0	42	0	0	36	0	34	0	32	0	40	0	39	0	48	
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
49	0	11	0	17	0	16	0	12	0	49	0	49	0	49	48	48	48	48	48	48	
54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	48	48	48	48	48	48	

Figura 78. Décima séptima iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

18) 9 con 20, A1 con A43:

48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
0	0	18	0	14	0	15	0	49	0	49	0	11	0	17	0	16	0	12	0	0
8	0	0	0	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
8	0	60	60	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
8	0	0	0	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
0	0	13	0	19	0	26	0	9	0	10	0	20	0	24	0	23	0	22	0	0
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
5	48	6	48	4	48	7	48	28	48	50	48	50	48	50	48	50	48	50	48	48
5	48	6	48	4	48	7	48	28	48	50	48	50	48	50	48	50	48	50	48	48
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Figura 79. Décima octava iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

19) 11 con 12, A3 con A12:

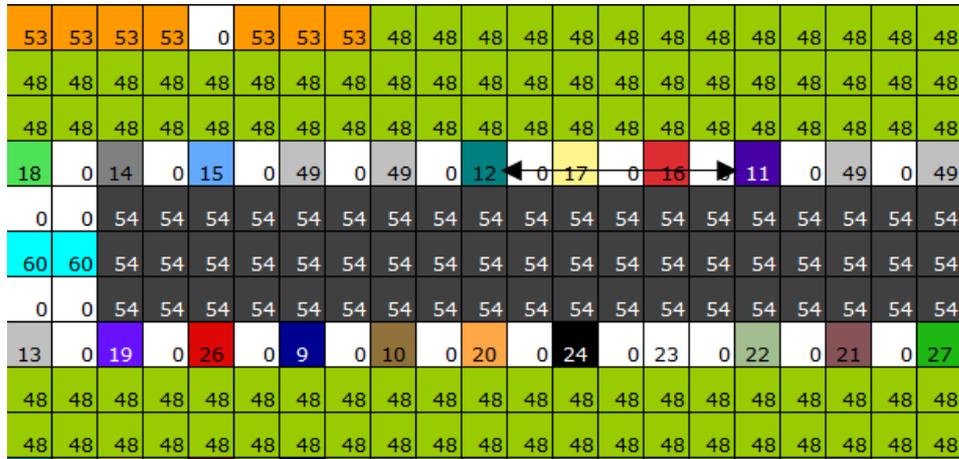


Figura 80. Décima novena iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

20) 15 con 20, A27 con A43:

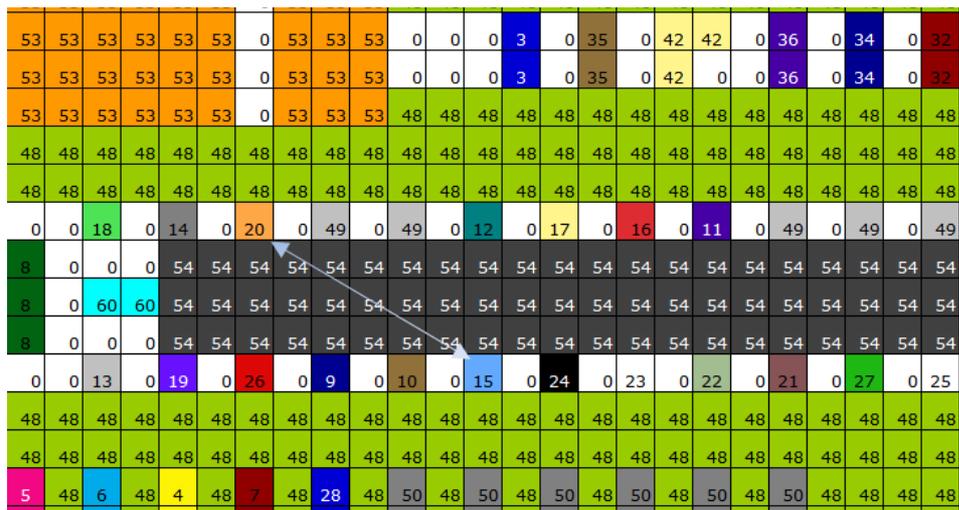


Figura 81. Vigésima iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

21) 30 con 31, R6 con R7:

57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	47	47	0	0	31	0	47	47	47
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	0	0	0	0	31	0	47	0	47
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	30	30	0	48	48	48	48	48	0
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	0	0	0	48	48	48	48	48	47
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	29	29	0	48	48	60	60	48	0
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	43	29	0	48	48	60	60	48	47
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	43	43	0	48	48	60	60	48	0
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	44	44	0	46	48	60	60	48	47
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	45	44	0	46	48	60	60	48	0
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	45	45	0	46	48	48	48	48	47

Figura 82. Vigésima primera iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

22) 38 con 41, G16 con G18:

48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48			
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48		
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48		
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	0	0	0	38	41	0	33	37	48	48	48	48	
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	0	0	0	38	41	0	33	37	48	48	48	48	
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	0	0	0	38	41	0	33	37	48	48	48	48	
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
48	48	48	48	53	53	53	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
53	53	53	0	53	53	53	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
53	53	53	0	53	53	53	0	0	0	3	0	35	0	42	42	0	36	0	34	0	32	0	40
53	53	53	0	53	53	53	0	0	0	3	0	35	0	42	42	0	36	0	34	0	32	0	40

Figura 83. Vigésima segunda iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

23) 15 con 24, A27 con A48:

0	0	18	0	14	0	20	0	49	0	49	0	12	0	17	0	16	0	11	0	49	0	49
8	0	0	0	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
8	0	60	60	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
8	0	0	0	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
0	0	13	0	19	0	26	0	9	0	10	0	24	←	15	0	23	0	22	0	21	0	27
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
5	48	6	48	4	48	7	48	28	48	50	48	50	48	50	48	50	48	50	48	50	48	48
5	48	6	48	4	48	7	48	28	48	50	48	50	48	50	48	50	48	50	48	50	48	48
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

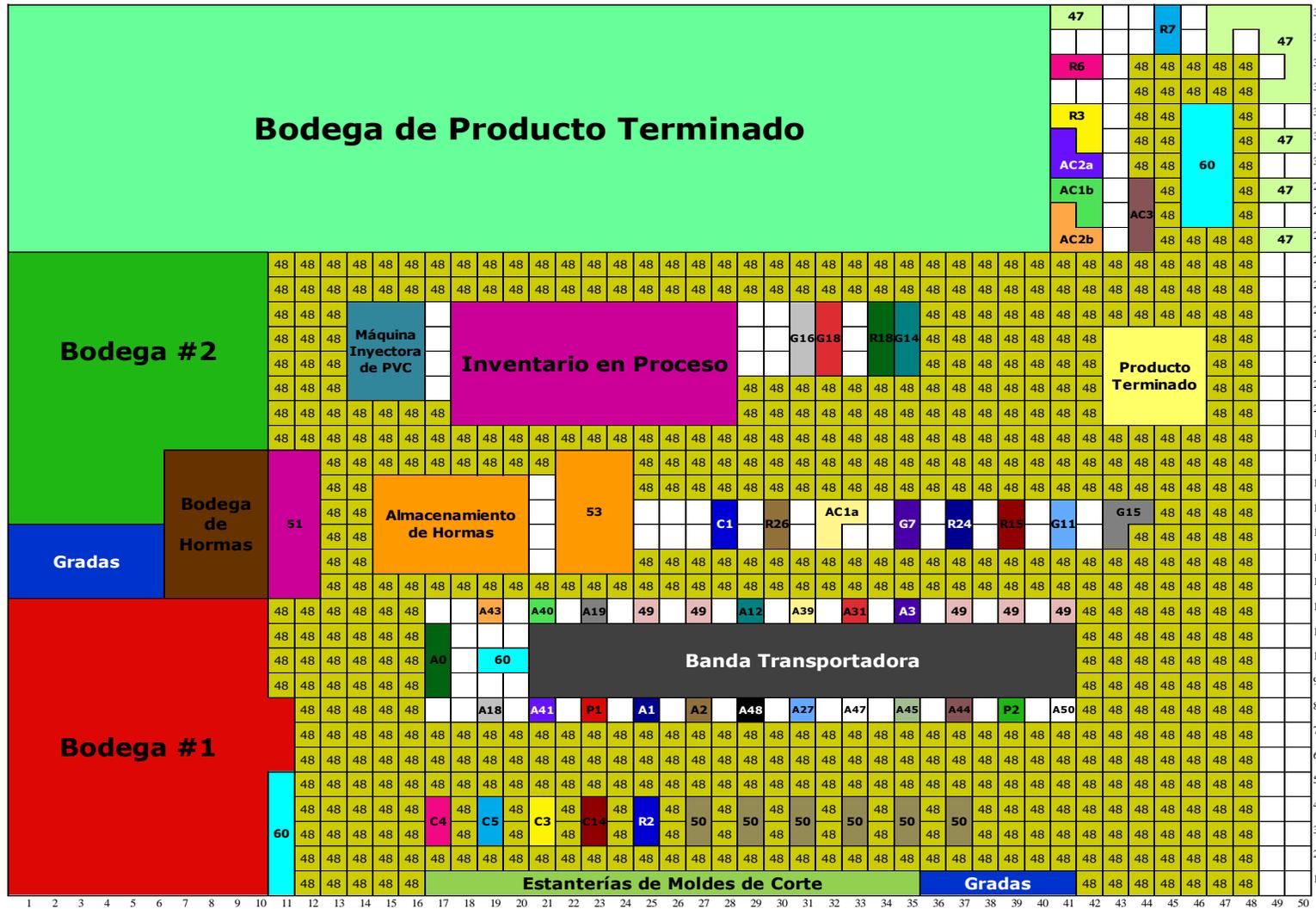
Figura 84. Vigésima tercera iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

24) 14 con 18, A19 con A40:

55	55	51	51	48	48	53	53	53	53	53	53	0	53	53	53	48	48	48	48	48	48	48
55	55	51	51	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
1	1	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
1	1	48	48	48	48	0	0	14	↔	18	0	20	0	49	0	49	0	12	0	17	0	11
1	1	48	48	48	48	8	0	0	0	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
1	1	48	48	48	48	8	0	60	60	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
1	1	1	48	48	48	8	0	0	0	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
1	1	1	48	48	48	0	0	13	0	19	0	26	0	9	0	10	0	24	0	15	0	23
1	1	1	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
1	1	60	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
1	1	60	48	48	48	5	48	6	48	4	48	7	48	28	48	50	48	50	48	50	48	50
1	1	60	48	48	48	5	48	6	48	4	48	7	48	28	48	50	48	50	48	50	48	50
1	1	60	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Figura 85. Vigésima cuarta iteración para el método CRAFT.
Fuente: Jensen, 2004.

Anexo 21: Propuesta #2, Layout utilizando el método CRAFT.



Leyenda:

Numeraación	Estación
47	Máquinas de Goodyear
48	Pasillos
49	Máquinas de Aparado
50	Máquinas de Corte
51	Inventario en Proceso
53	Almacenamiento de Hormas
60	Esteras

Figura 88. Propuesta 2 de Layout utilizando el método CRAFT, escala en metros.

Elaboración Propia.

Anexo 22: Datos iniciales para el algoritmo MÚLTIPLE.

Layout Data

Problem Name:	Tesis
Number Depts.:	46
Fixed Points:	0
Dimension:	m.



Facility Information

Scale-m/unit	1	Cells
Length-m	14	14
Width-m	22	22
Area-sq.m	303	303

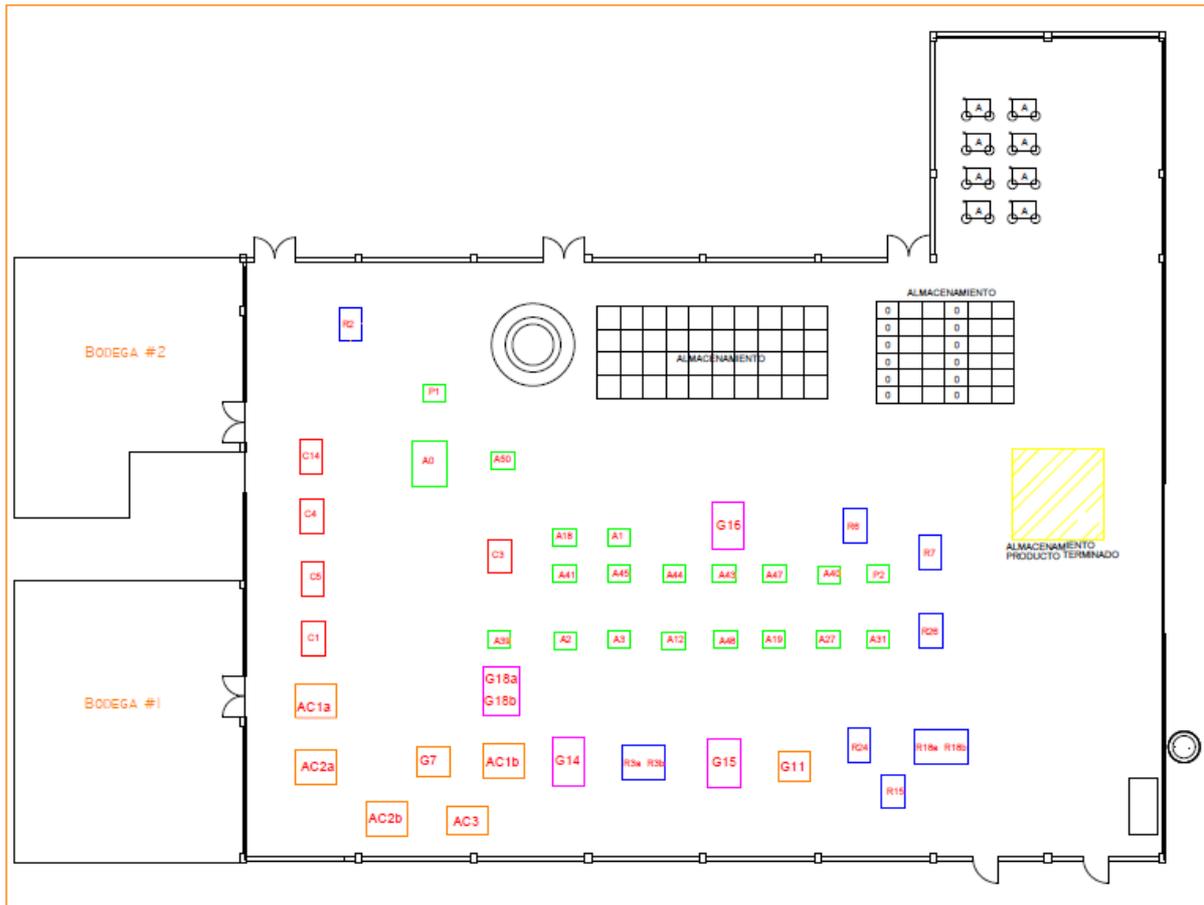
Department Information

	Name	F/V	Area	Cells		Name	F/V	Area	Cells
Dept. 1	Bo. #1	F	122,8	122,8	Dept. 24	A48	V	0,75	0,75
Dept. 2	Bo. #2	F	98,54	98,54	Dept. 25	A50	V	0,75	0,75
Dept. 3	C1	V	1,5	1,5	Dept. 26	P1	V	0,75	0,75
Dept. 4	C3	V	1,5	1,5	Dept. 27	P2	V	0,75	0,75
Dept. 5	C4	V	1,5	1,5	Dept. 28	R2	V	1,5	1,5
Dept. 6	C5	V	1,5	1,5	Dept. 29	R3	V	3	3
Dept. 7	C14	V	1,5	1,5	Dept. 30	R6	V	1,5	1,5
Dept. 8	A0	V	3	3	Dept. 31	R7	V	1,5	1,5
Dept. 9	A1	V	0,75	0,75	Dept. 32	R15	V	1,5	1,5
Dept. 10	A2	V	0,75	0,75	Dept. 33	R18	V	3	3
Dept. 11	A3	V	0,75	0,75	Dept. 34	R24	V	1,5	1,5
Dept. 12	A12	V	0,75	0,75	Dept. 35	R26	V	1,5	1,5
Dept. 13	A18	V	0,75	0,75	Dept. 36	G7	V	1,81	1,81
Dept. 14	A19	V	0,75	0,75	Dept. 37	G14	V	2,98	2,98
Dept. 15	A27	V	0,75	0,75	Dept. 38	G16	V	2,98	2,98
Dept. 16	A31	V	0,75	0,75	Dept. 39	G15	V	2,98	2,98
Dept. 17	A39	V	0,75	0,75	Dept. 40	G11	V	1,81	1,81
Dept. 18	A40	V	0,75	0,75	Dept. 41	G18	V	2,98	2,98
Dept. 19	A41	V	0,75	0,75	Dept. 42	AC1a	V	2,8	2,8
Dept. 20	A43	V	0,75	0,75	Dept. 43	AC1b	V	2,8	2,8
Dept. 21	A44	V	0,75	0,75	Dept. 44	AC2a	V	2,8	2,8
Dept. 22	A45	V	0,75	0,75	Dept. 45	AC2b	V	2,8	2,8
Dept. 23	A47	V	0,75	0,75	Dept. 46	AC3	V	2,8	2,8

Figura 89. Datos iniciales para el algoritmo MÚLTIPLE.

Fuente: Jensen, 2004.

Anexo 23: Layout de la planta de calzado utilizando el algoritmo MÚLTIPLE.



*Figura 90. Layout de la Planta utilizando el algoritmo MÚLTIPLE.
Elaboración Propia.*

Anexo 27

Tabla 52. Tabla Desde - Hacia AMPL.

Hacia \ Desde	Bodega #1	Bodega #2	C1	Corte 2	Corte 3	Aparado 1	Aparado 2	Aparado 3	Armado	Goodyear 1	Goodyear 2	Acabados
Bodega #1	-	0	4766,67	6833,33	3851,07	0	0	0	0	0	0	0
Bodega #2	0	-	0	0	0	9,97	1,81	6,75	0	416	0	2,89
C1	0	0	-	0	0	2100	1333,33	0	0	0	0	1333,33
Corte 2	0	0	0	-	0	1000	5833,33	0	0	0	0	0
Corte 3	0	0	0	0	-	0	3471,07	0	380	0	0	0
Aparado 1	0	0	0	0	0	-	99	561	0	0	0	0
Aparado 2	0	0	0	0	0	0	-	76	0	0	0	0
Aparado 3	0	0	0	0	0	0	0	-	19812	0	0	0
Armado	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1849	0	0
Goodyear 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	2183	0
Goodyear 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	634
Acabados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Elaboración propia.

Anexo 28

Tabla 53. Tabla costos AMPL.

Hacia \ Desde	Bodega #1	Bodega #2	C1	Corte 2	Corte 3	Aparado 1	Aparado 2	Aparado 3	Armado	Goodyear 1	Goodyear 2	Acabados
Bodega #1	-	0	\$ 0,025	\$ 0,061	\$ 0,076	0	0	0	0	0	0	0
Bodega #2	0	-	0	0	0	\$ 0,00001	\$ 0,002	\$ 0,015	0	\$ 0,207	0	\$ 0,039
C1	0	0	-	0	0	\$ 0,026	\$ 0,012	0	0	0	0	\$ 0,088
Corte 2	0	0	0	-	0	\$ 0,010	\$ 0,059	0	0	0	0	0
Corte 3	0	0	0	0	-	0	\$ 0,045	0	\$ 0,030	0	0	0
Aparado 1	0	0	0	0	0	-	\$ 0,044	\$ 0,107	0	0	0	0
Aparado 2	0	0	0	0	0	0	-	\$ 0,003	0	0	0	0
Aparado 3	0	0	0	0	0	0	0	-	\$ 0,091	0	0	0
Armado	0	0	0	0	0	0	0	0	-	\$ 0,032	0	0
Goodyear 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	\$ 0,071	0
Goodyear 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	\$ 0,009
Acabados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Elaboración propia.

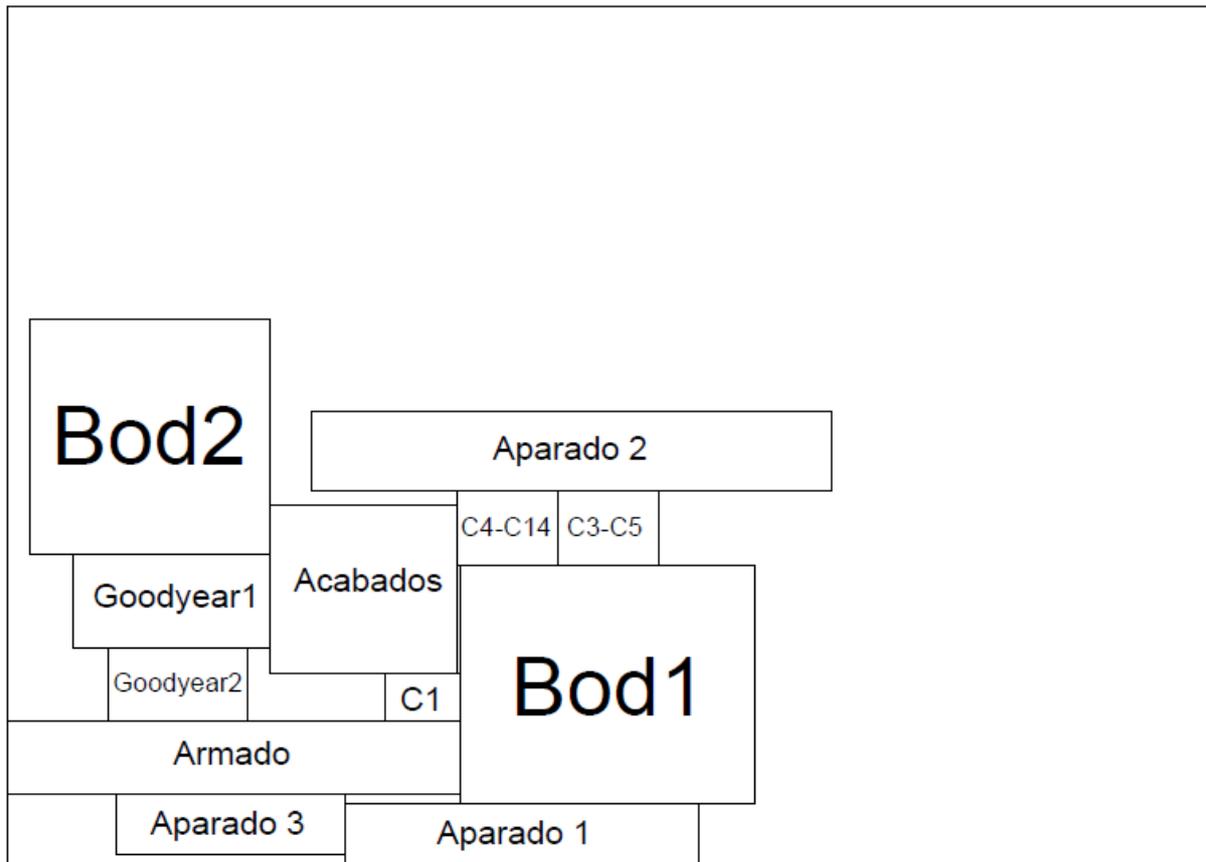
Anexo 29

Tabla 54. Tabla costos flujo AMPL.

Hacia \ Desde	Bodega #1	Bodega #2	C1	Corte 2	Corte 3	Aparado 1	Aparado 2	Aparado 3	Armado	Goodyear 1	Goodyear 2	Acabados
Bodega #1	-	0	118,30	415,97	292,13	0	0	0	0	0	0	0
Bodega #2	0	-	0	0	0	0,0001	0,004	0,10	0	86,07	0	0,11
C1	0	0	-	0	0	54,29	15,99	0	0	0	0	117,33
Corte 2	0	0	0	-	0	0	343,71	0	0	0	0	0
Corte 3	0	0	0	0	-	0	157,23	0	11,40	0	0	0
Aparado 1	0	0	0	0	0	-	4,36	60,03	0	0	0	0
Aparado 2	0	0	0	0	0	0	-	0,228	0	0	0	0
Aparado 3	0	0	0	0	0	0	0	-	1802,89	0	0	0
Armado	0	0	0	0	0	0	0	0	-	59,17	0	0
Goodyear 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	154,99	0
Goodyear 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	5,71
Acabados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Elaboración propia.

Anexo 30: Áreas distribuidas en la instalación con el programa AMPL.



*Figura 92. Layout de la Planta para las áreas utilizando AMPL.
Elaboración Propia.*

Anexo 31: Estaciones distribuidas en la instalación con AMPL.

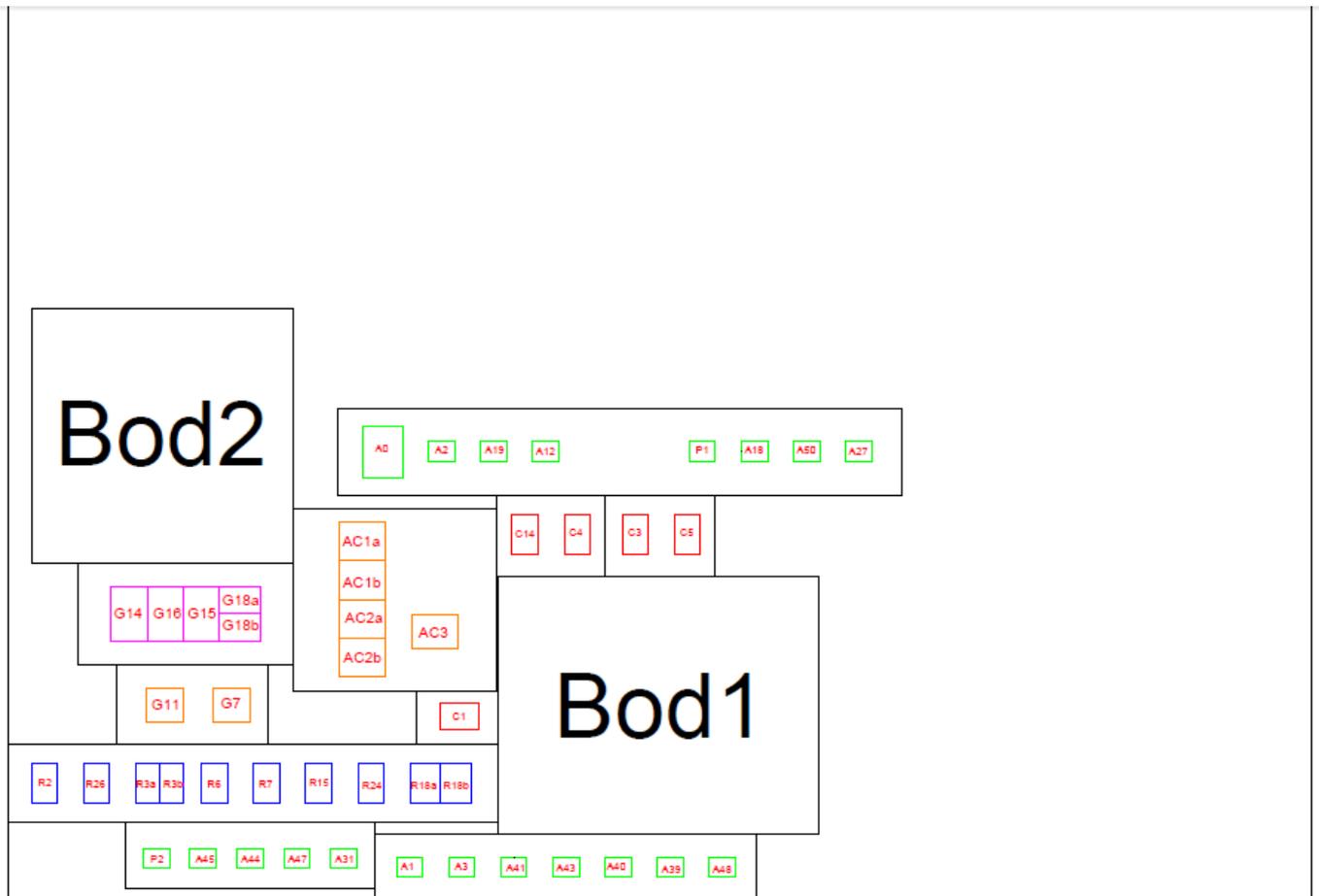


Figura 93. Layout de la Planta utilizando AMPL.
Elaboración Propia.

Anexo 36

Tabla 57. Formato para el cálculo de tamaño de muestra.

Estación	Desviación Estándar	Tamaño de Muestra	
		Fórmula	Tabla
C1			
C3			
C4			
C5			
C14			
A0			
A1			
A2			
A3			
A12			
A18			
A19			
A27			
A31			
A39			
A40			
A41			
A43			
A44			
A45			
A47			
A48			
A50			
P1			
P2			
R2			
R3a			
R3b			
R6			
R7			
R15			
R18a			
R18b			
R24			
R26			
G7			
G14			
G16			
G15			
G11			
G18a			
G18b			
AC1a			
AC1b			
AC2a			
AC2b			
AC3			

Elaboración propia.

Anexo 38

Tabla 59. Tamaño de muestra para cada una de las estaciones.

Estación	Desviación Estándar	Tamaño de Muestra		
		Fórmula		Tabla
C1	29,32	4,35	= 5	
C3	48,78	14,71	= 15	
C4	48,78	14,71	= 15	
C5	28,70	2,48	= 3	
C14	14,64	9,44	= 10	
A0	0,589			200
A1	0,582			200
A2	0,582			200
A3	0,270			200
A12	1,342	19,05	= 20	
A18	0,722			200
A19	0,438			200
A27	0,416			200
A31	0,570			100
A39	1,386	30,65	= 31	
A40	0,504			200
A41	1,026	21,38	= 22	
A43	0,528			200
A44	6,180	11,38	= 12	
A45	5,284	9,35	= 10	
A47	0,508			100
A48	2,219	116,68	= 117	
A50	0,936			100
P1	5,822	16,13	= 17	
P2	3,907	16,35	= 17	
R2	0,730			100
R3a	2,735	34,93	= 35	
R3b	0,595			100
R6	0,772			100
R7	6,602	87,32	= 88	
R15	0,773			100
R18a	0,323			200
R18b	0,633			100
R24	4,616	21,08	= 22	
R26	7,198	135,95	= 136	
G7	2,689	7,14	= 8	
G14	0,503			200
G16	0,695			100
G15	2,834	191,72	= 192	
G11	0,627			100
G18a	1,534	9,09	= 10	
G18b	1,872	5,20	= 6	
AC1a	0,34			100
AC1b	1,180	61,54	= 62	
AC2a	0,97			60
AC2b	0,420			200
AC3	1,358	13,56	= 14	

Elaboración propia.

Anexo 40: Distribuciones para cada una de las estaciones.

Estación C1:

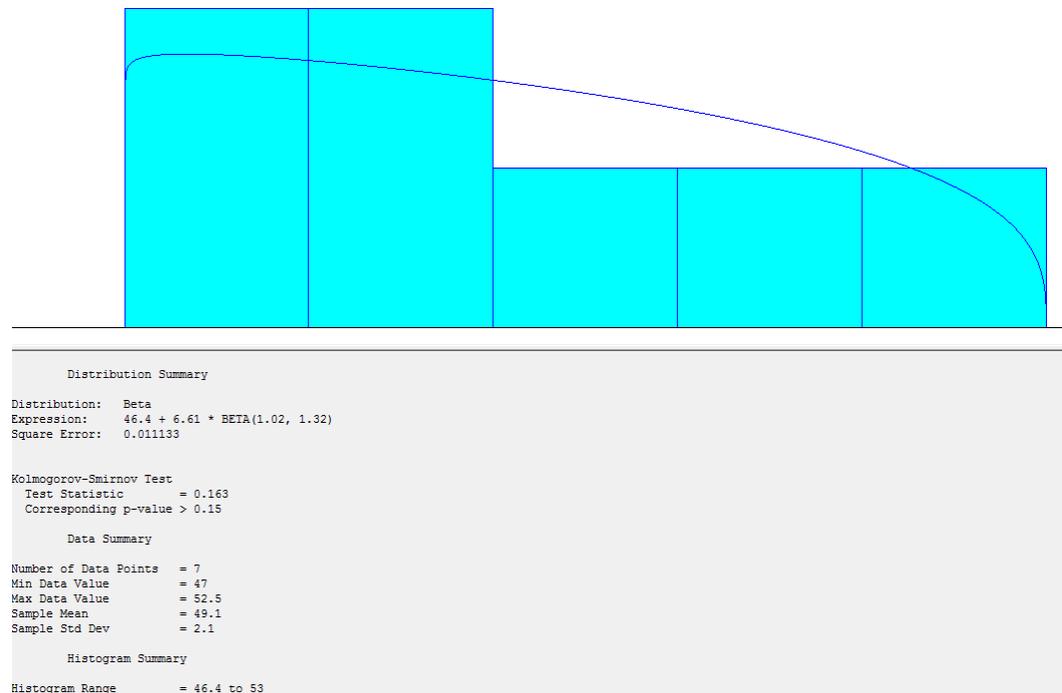


Figura 96. Distribución obtenida para la estación C1.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estaciones C3 y C4:

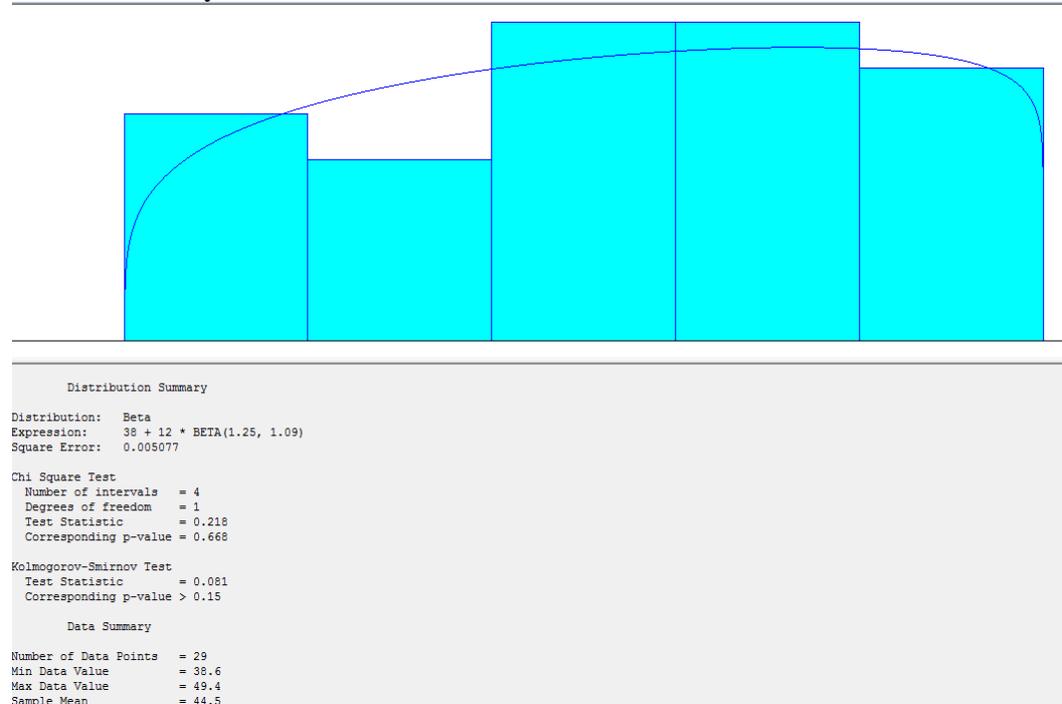


Figura 97. Distribución obtenida para las estaciones C3 y C4.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación C5:

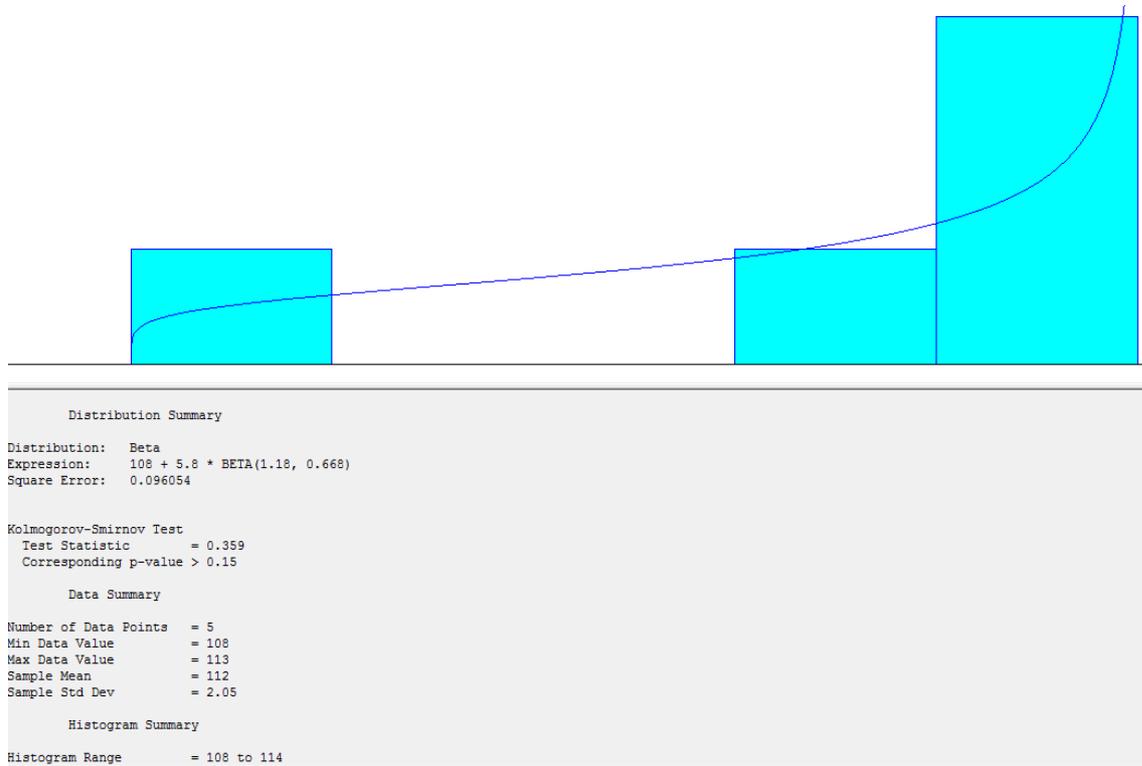


Figura 98. Distribución obtenida para la estación C5.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación C14:

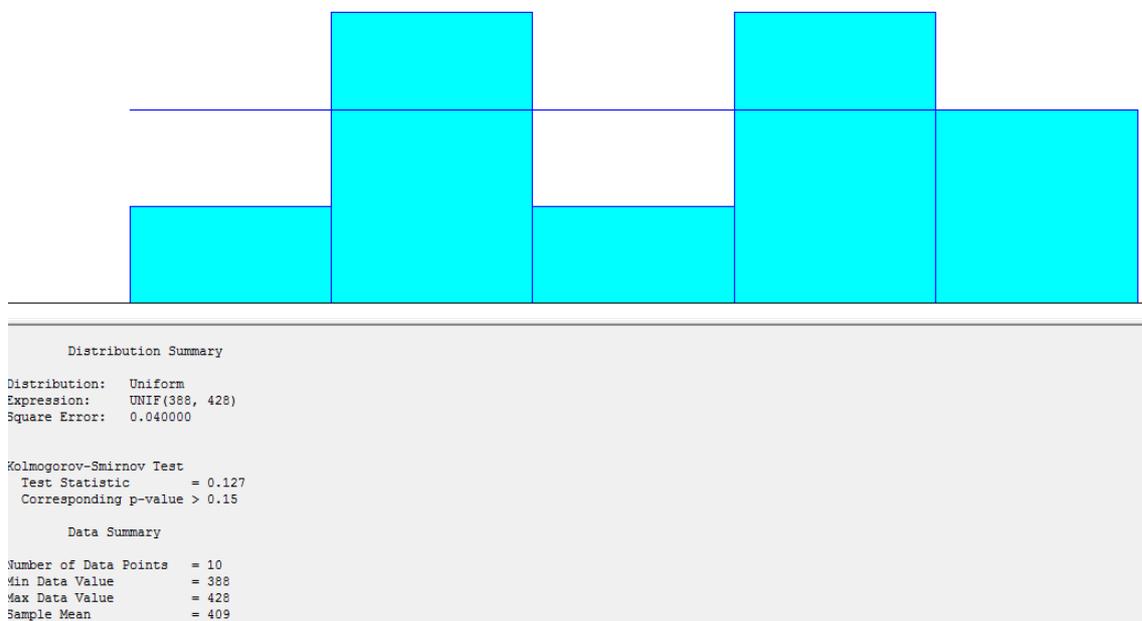


Figura 99. Distribución obtenida para la estación C14.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación A0:

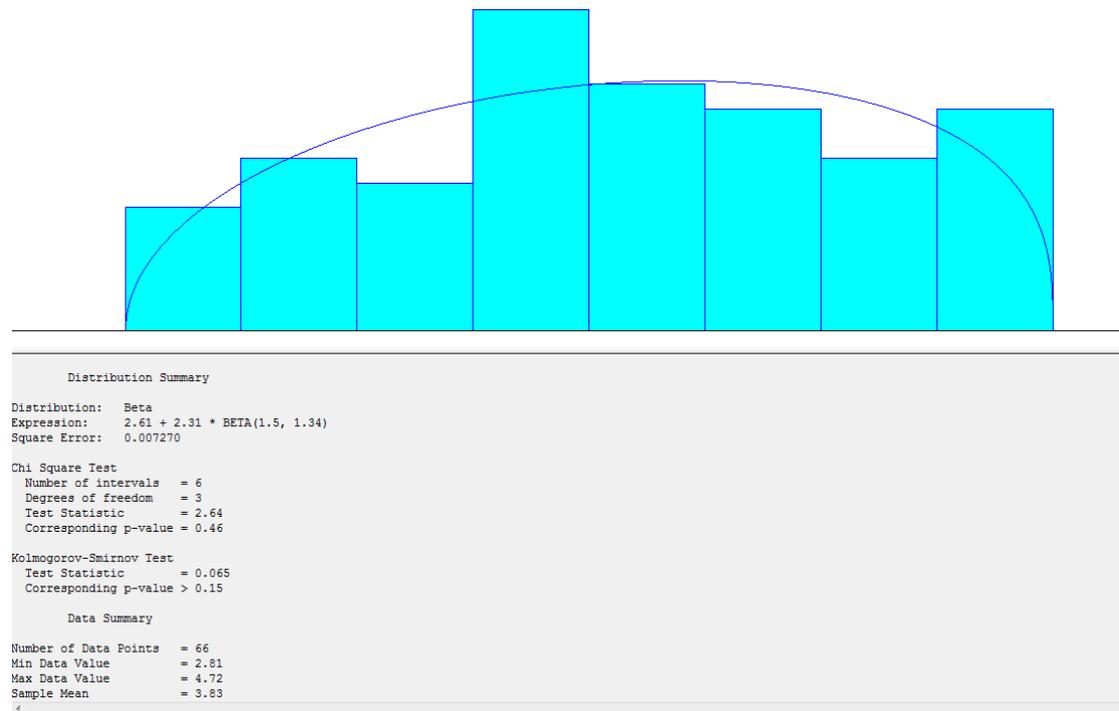


Figura 100. Distribución obtenida para la estación A0.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estaciones A1 y A2:

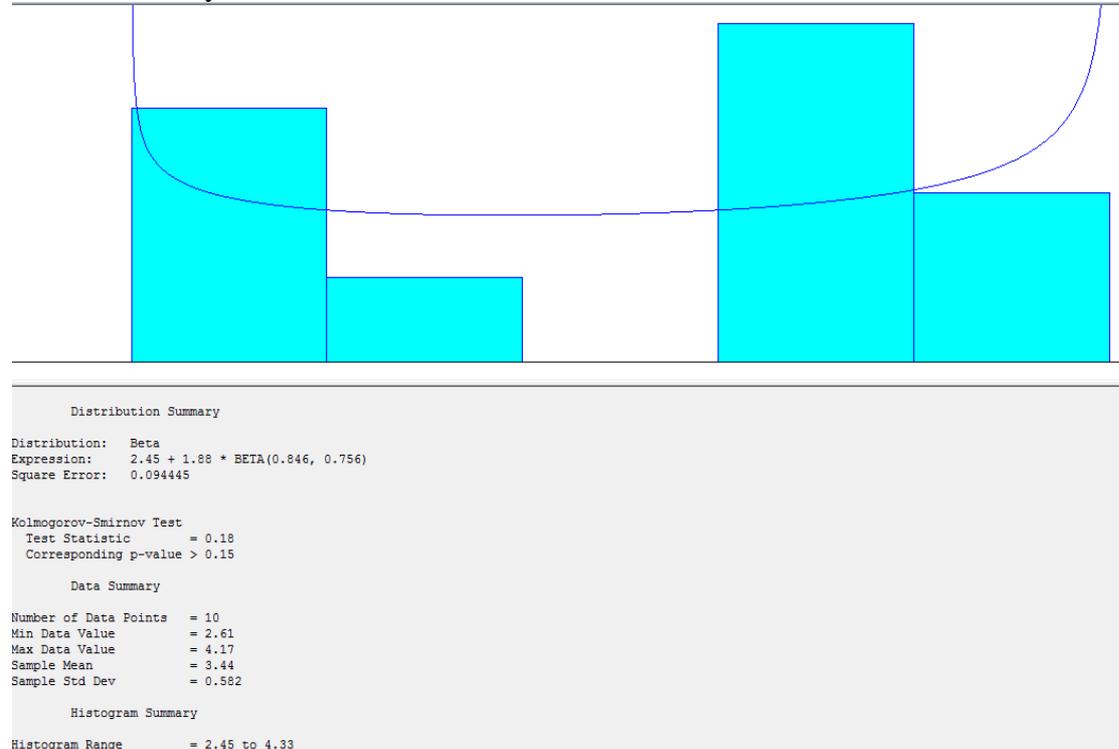


Figura 101. Distribución obtenida para las estaciones A1 y A2.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A3:

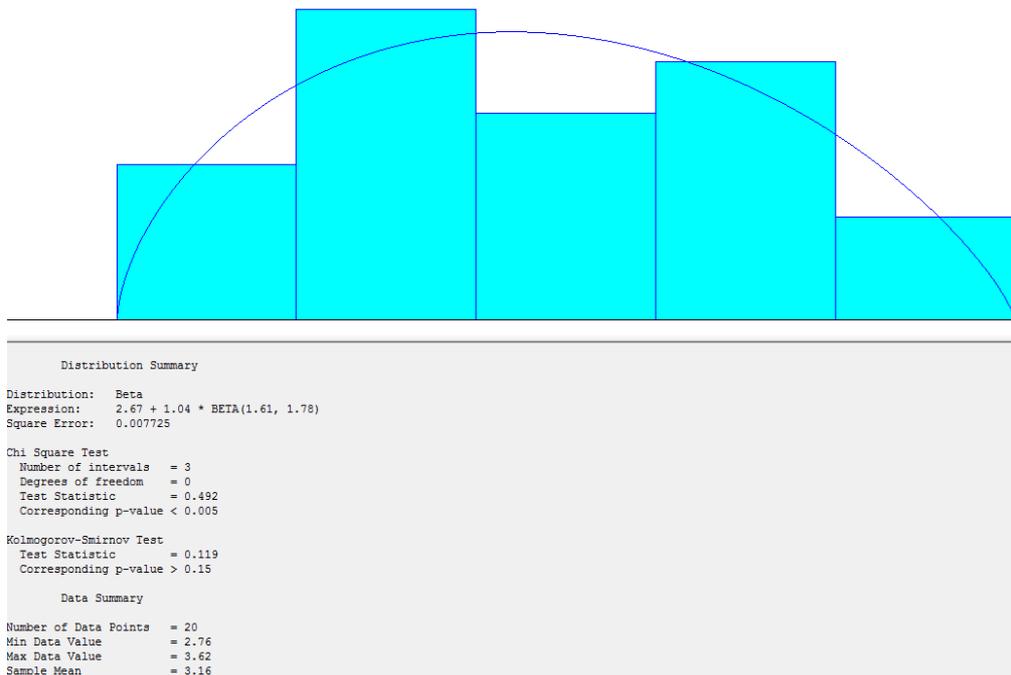


Figura 102. Distribución obtenida para la estación A3.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A12:

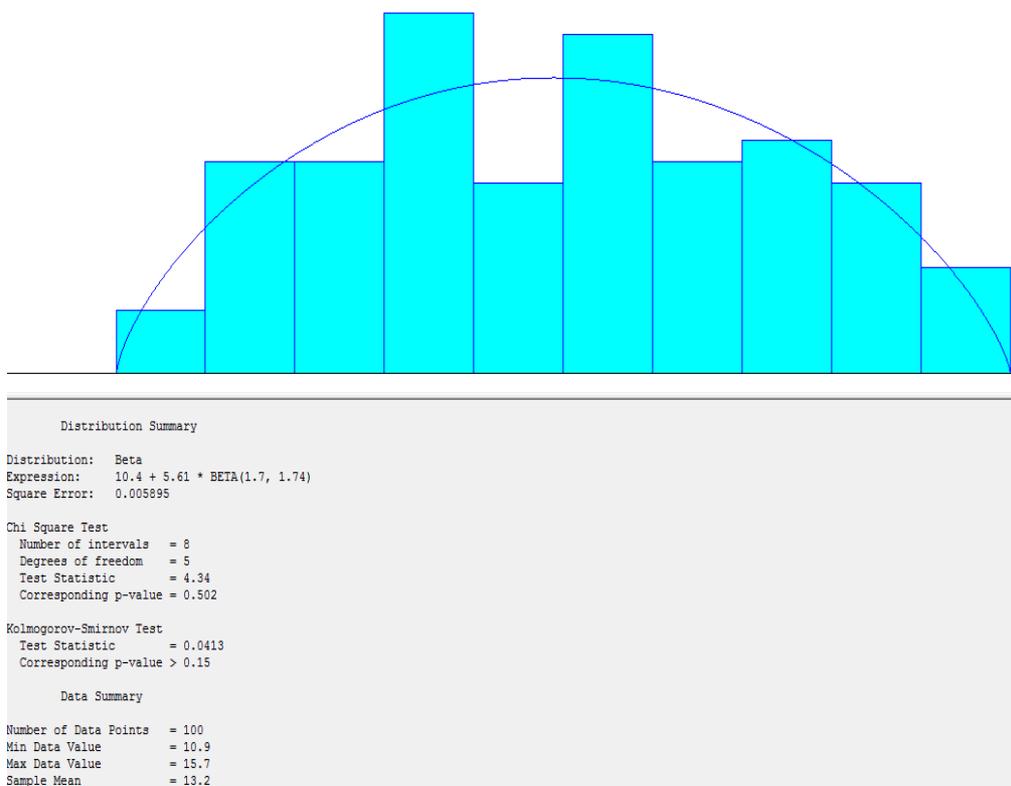


Figura 103. Distribución obtenida para la estación A12.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A18:

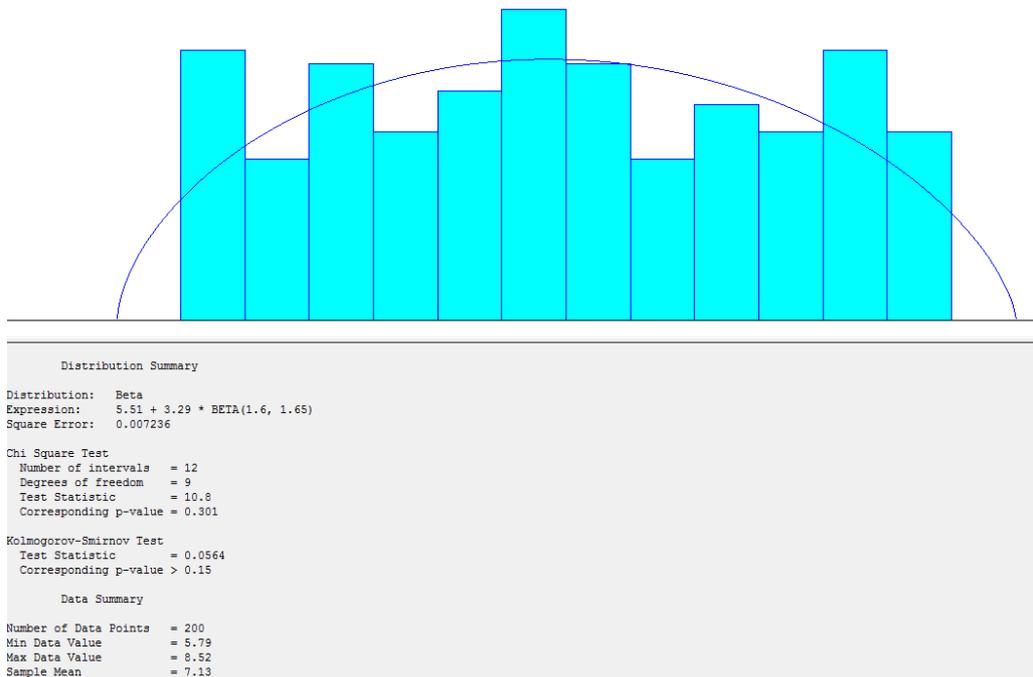


Figura 104. Distribución obtenida para la estación A18.

Fuente: *Input Analyzer, Arena Software* ®.

Estación A19:

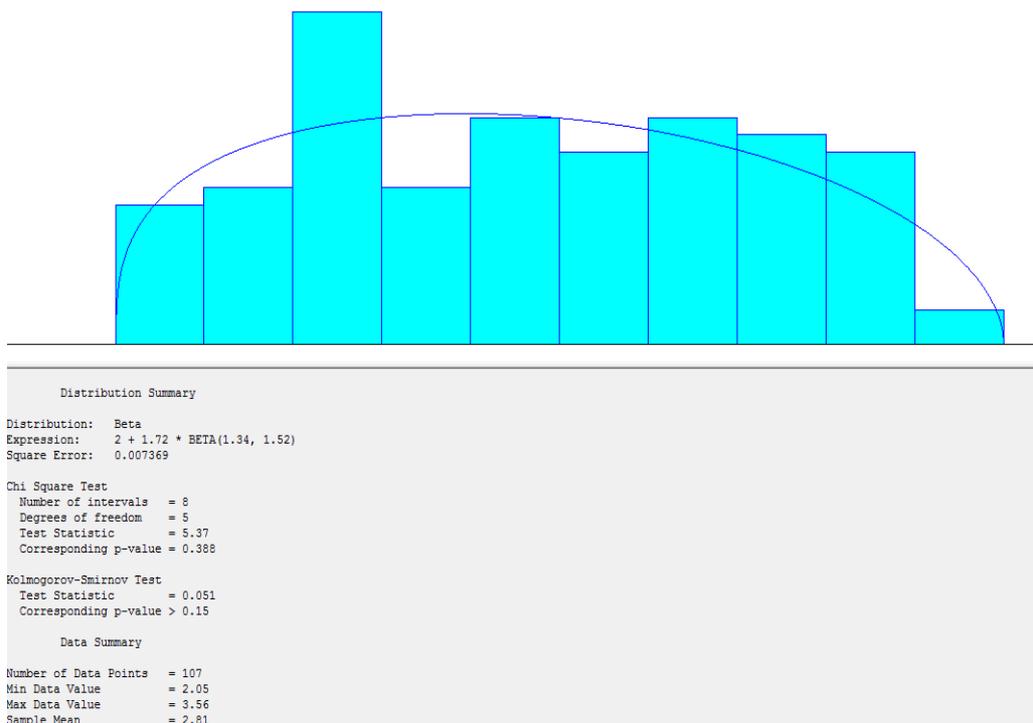


Figura 105. Distribución obtenida para la estación A19.

Fuente: *Input Analyzer, Arena Software* ®.

Estación A27:

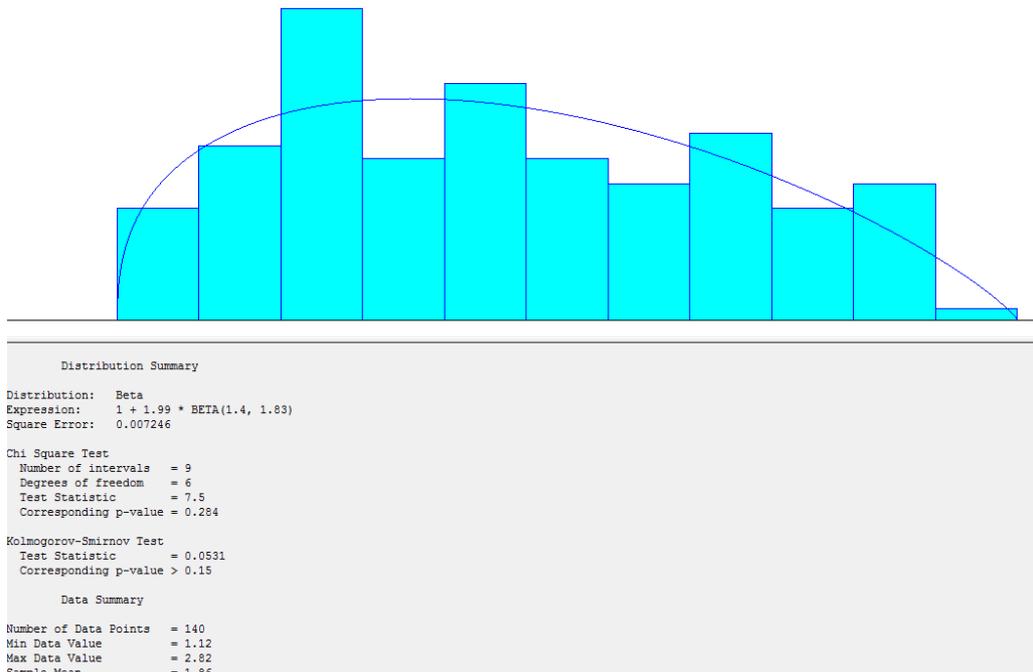


Figura 106. Distribución obtenida para la estación A27.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A31:

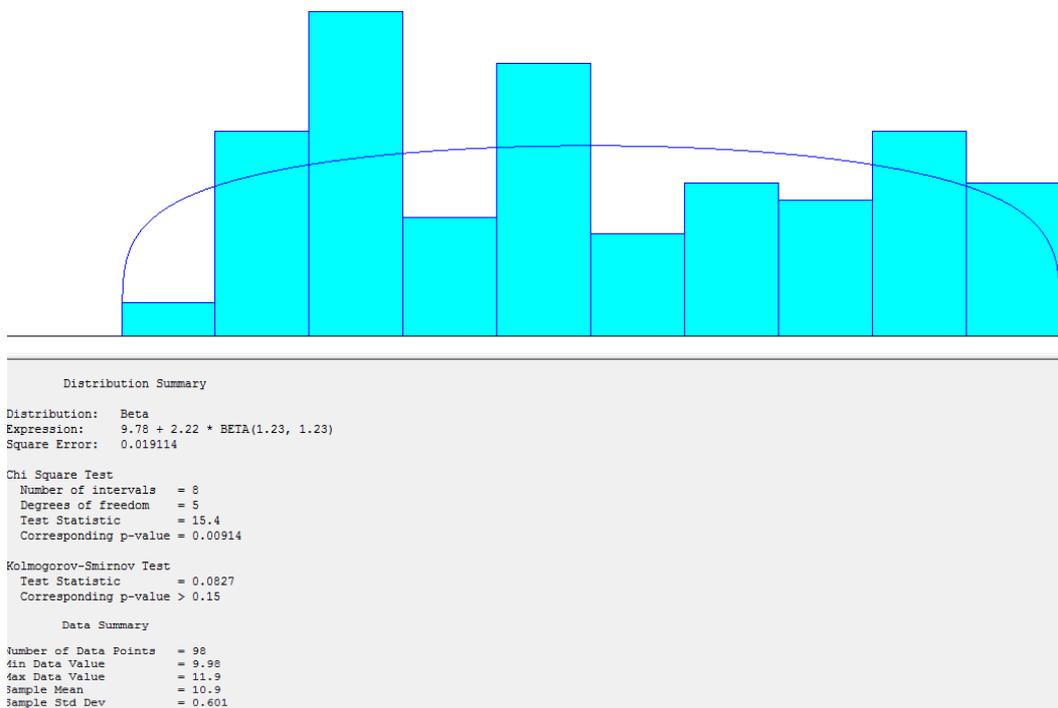


Figura 107. Distribución obtenida para la estación A31.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A39:

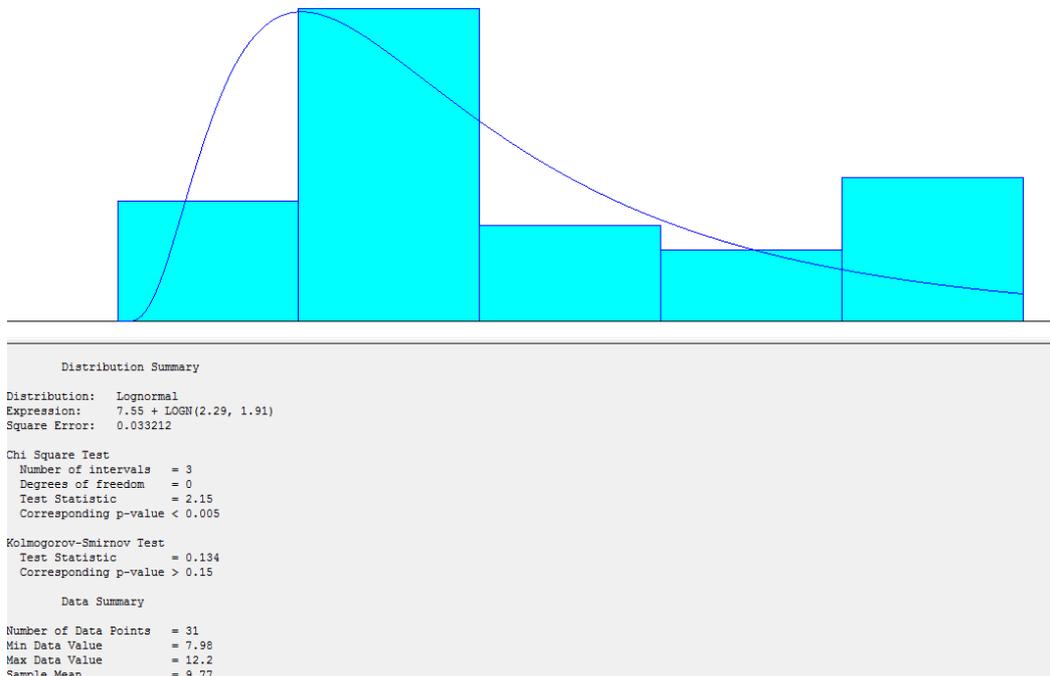


Figura 108. Distribución obtenida para la estación A39.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A40:

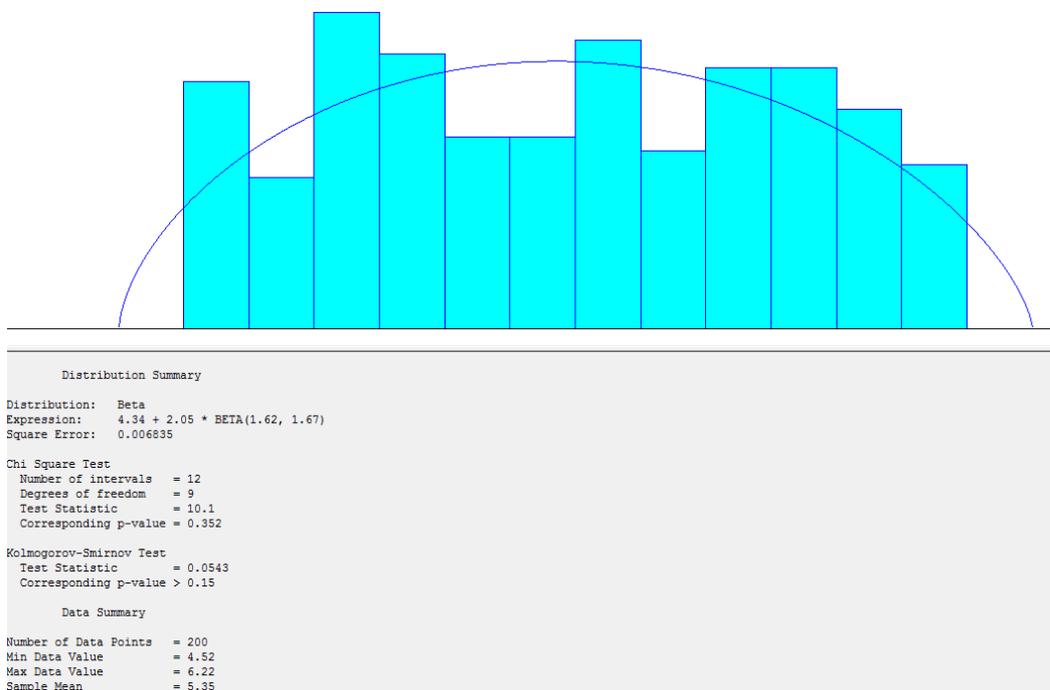


Figura 109. Distribución obtenida para la estación A40.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A41:

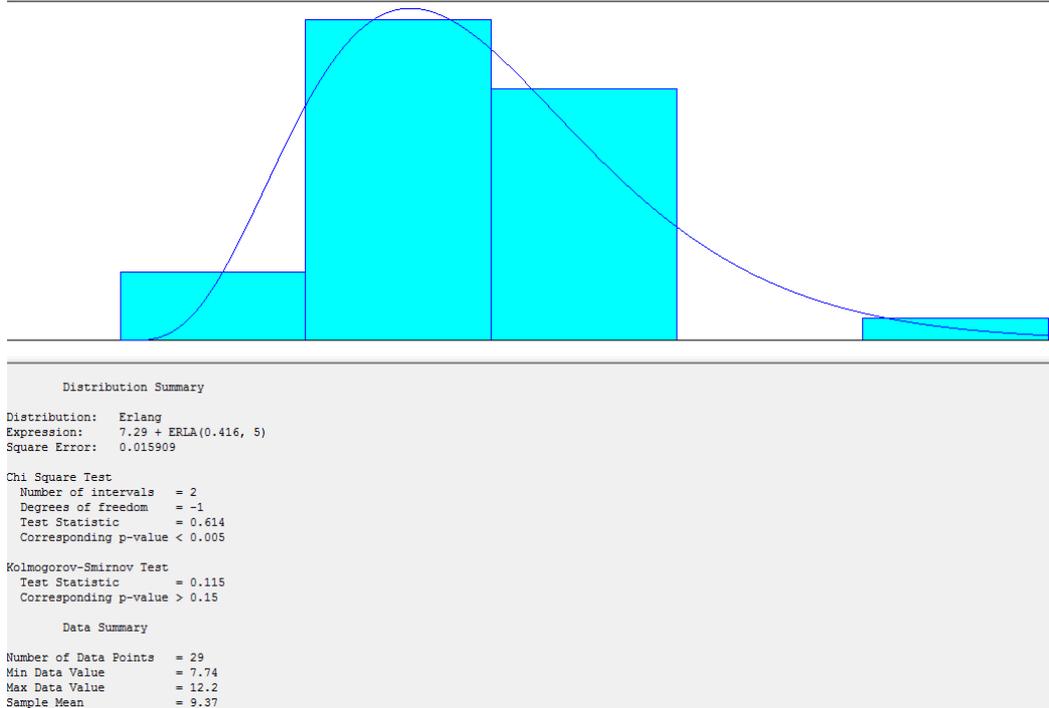


Figura 110. Distribución obtenida para la estación A41.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación A43:

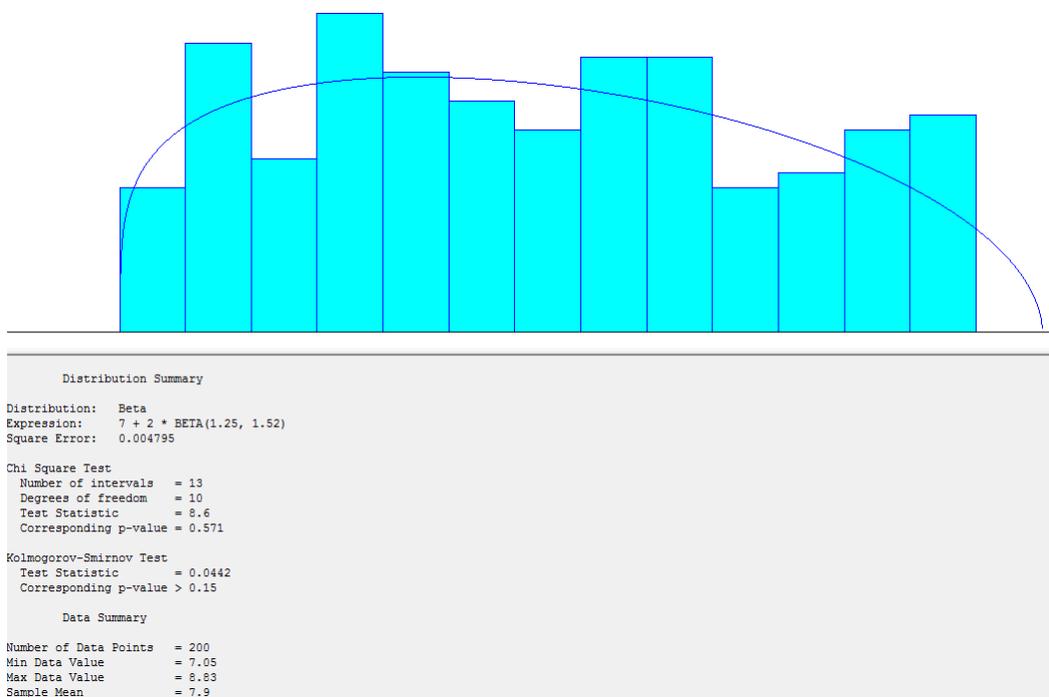


Figura 111. Distribución obtenida para la estación A43.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación A44:

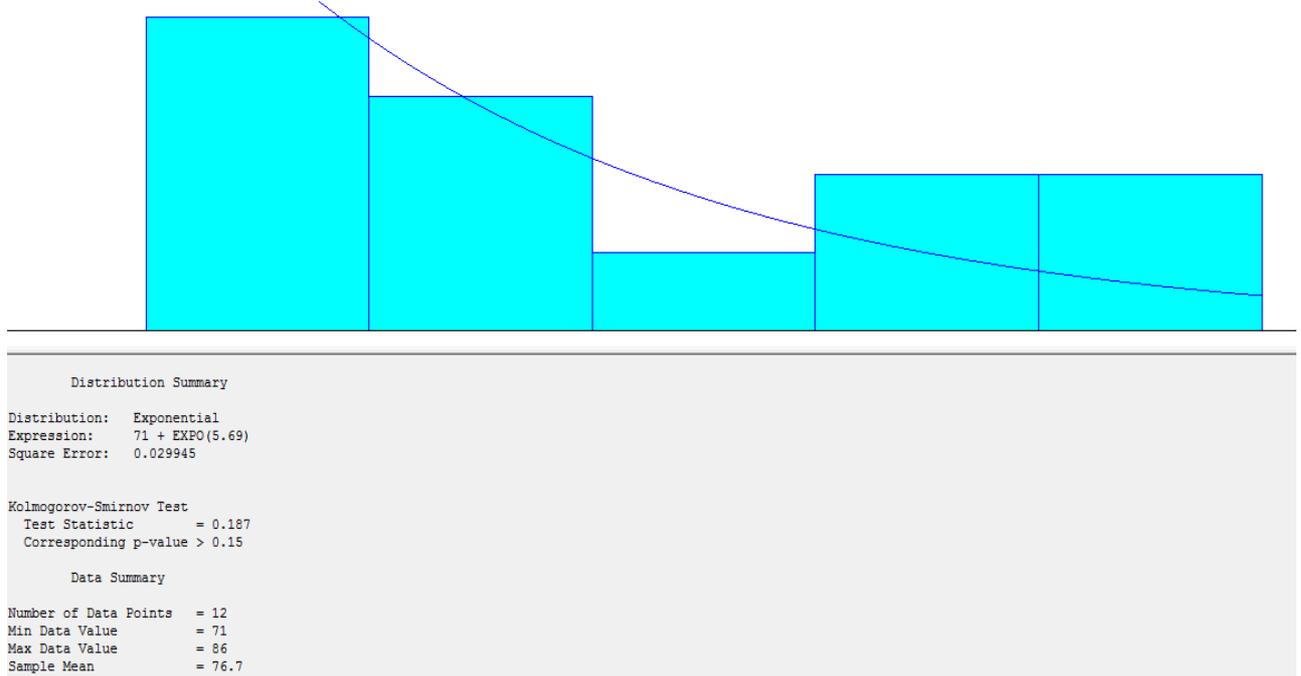


Figura 112. Distribución obtenida para la estación A44.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A45:

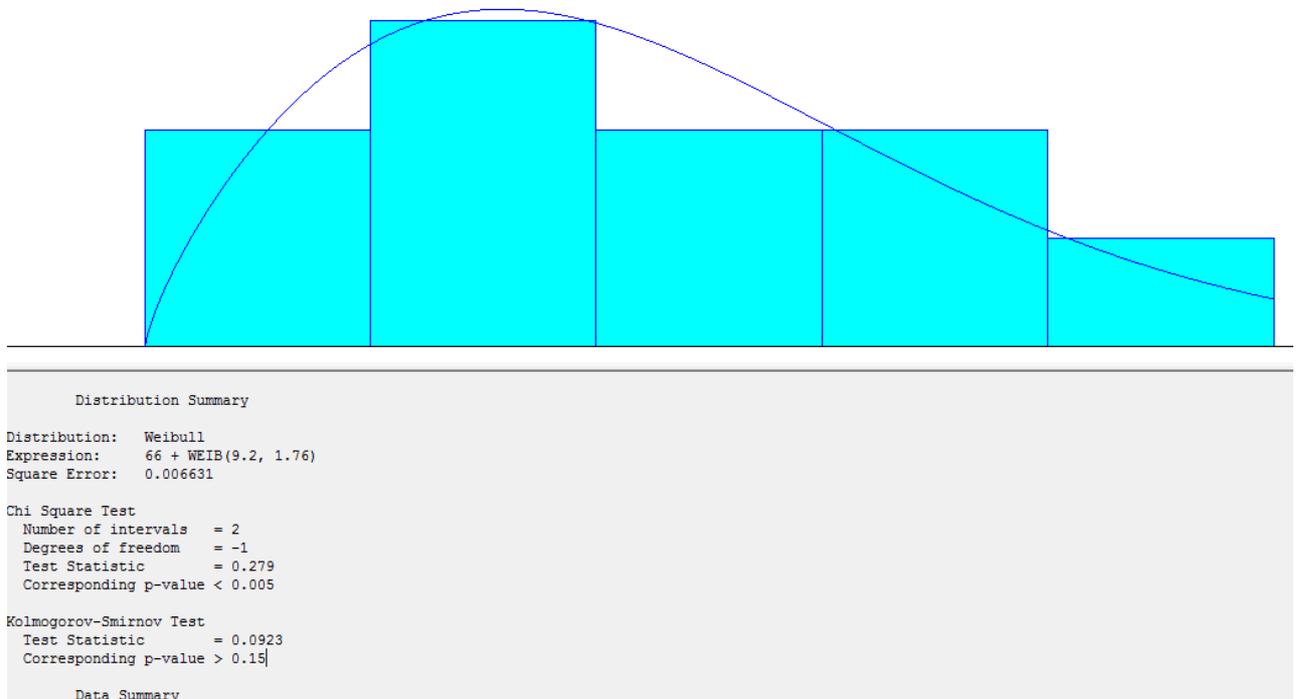


Figura 113. Distribución obtenida para la estación A45.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A47:

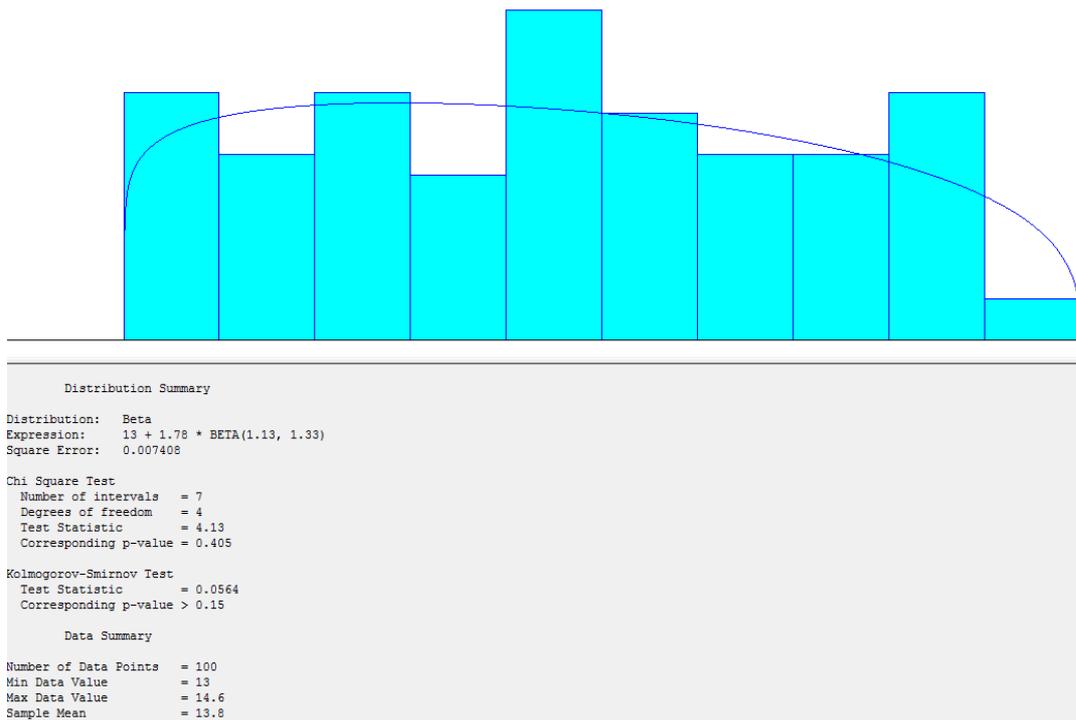


Figura 114. Distribución obtenida para la estación A47.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A48:

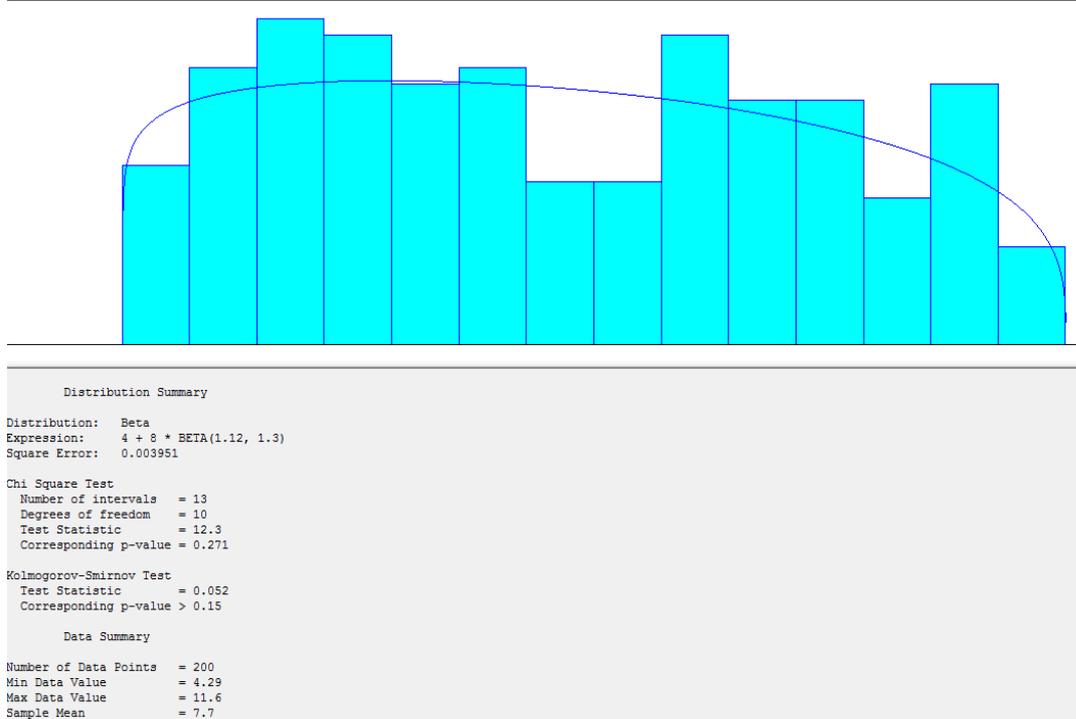


Figura 115. Distribución obtenida para la estación A48.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación A50:

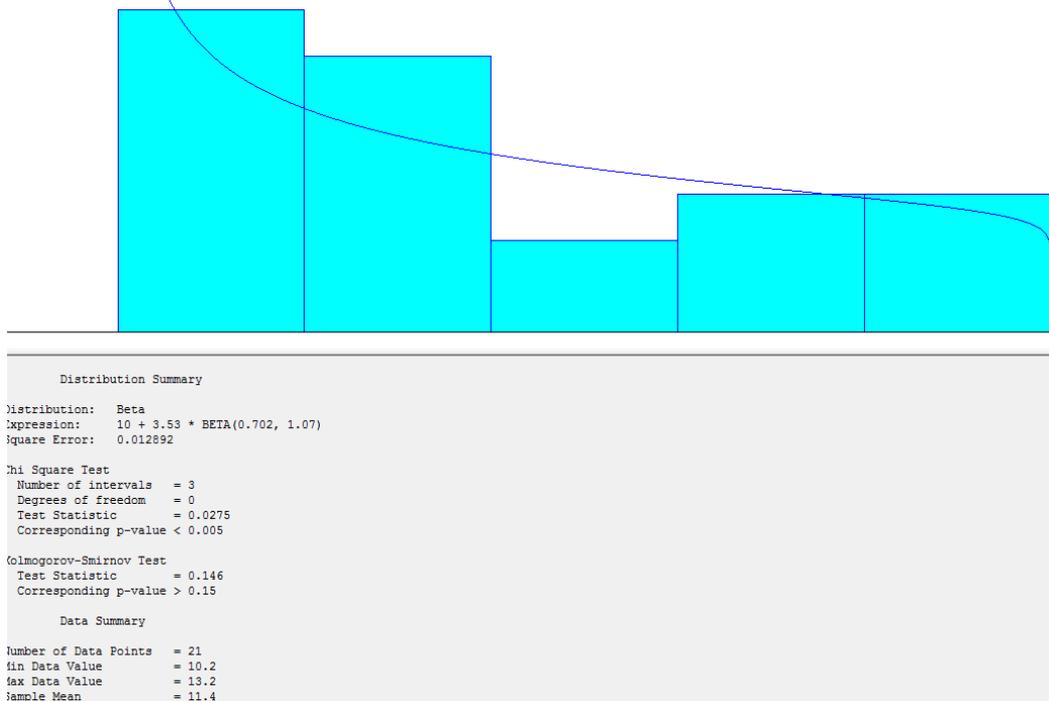


Figura 116. Distribución obtenida para la estación A50.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación P1:

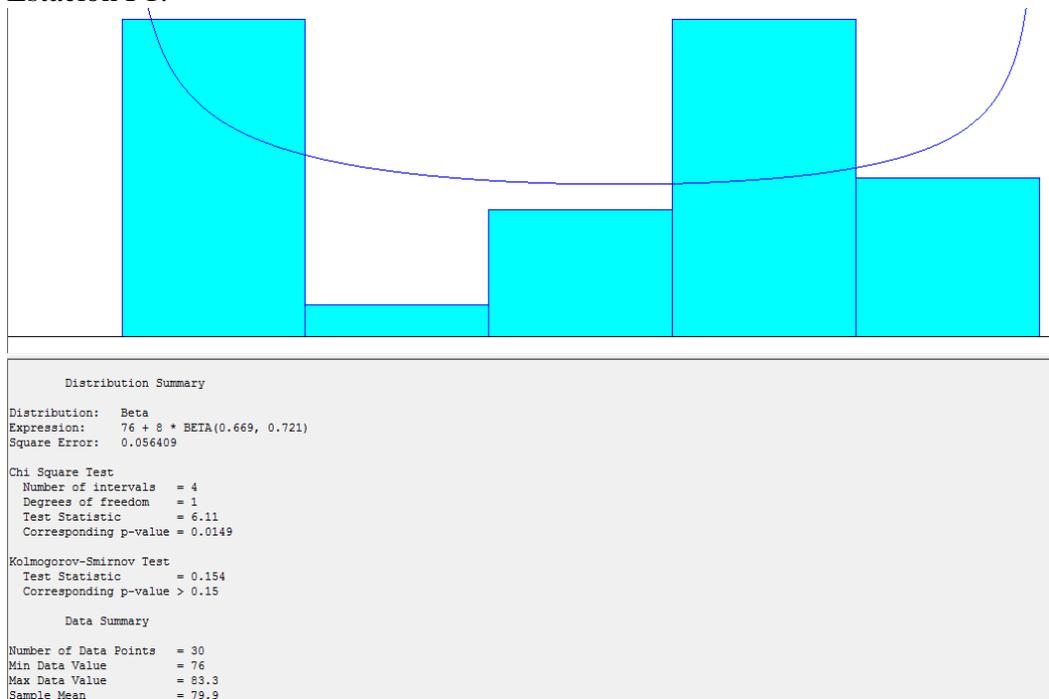


Figura 117. Distribución obtenida para la estación P1.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación P2:

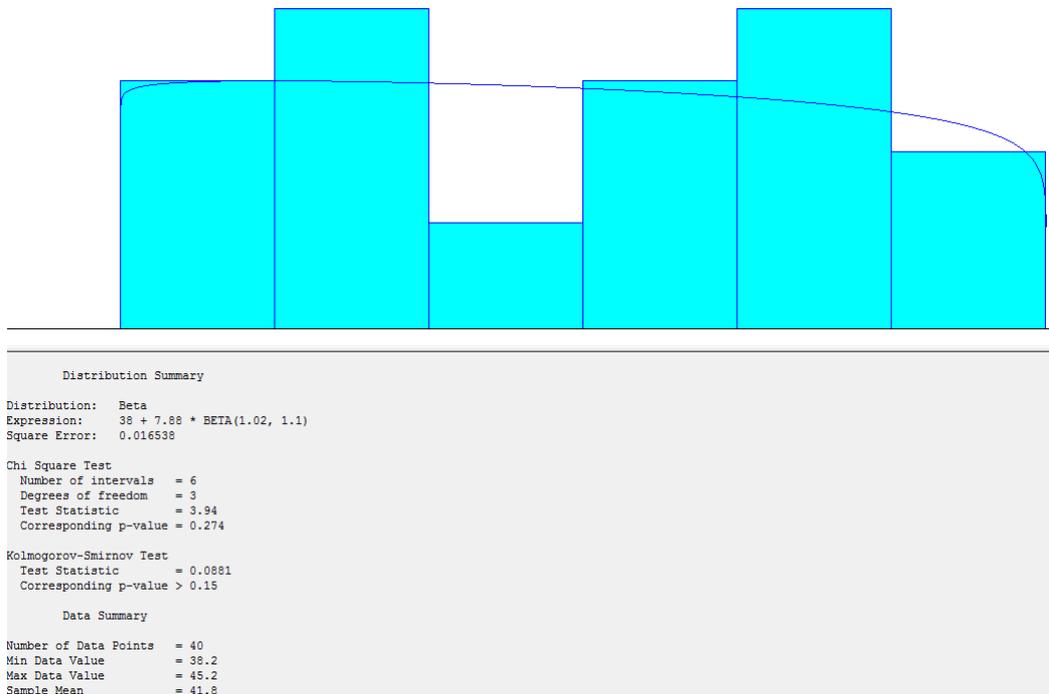


Figura 118. Distribución obtenida para la estación P2.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación R2:

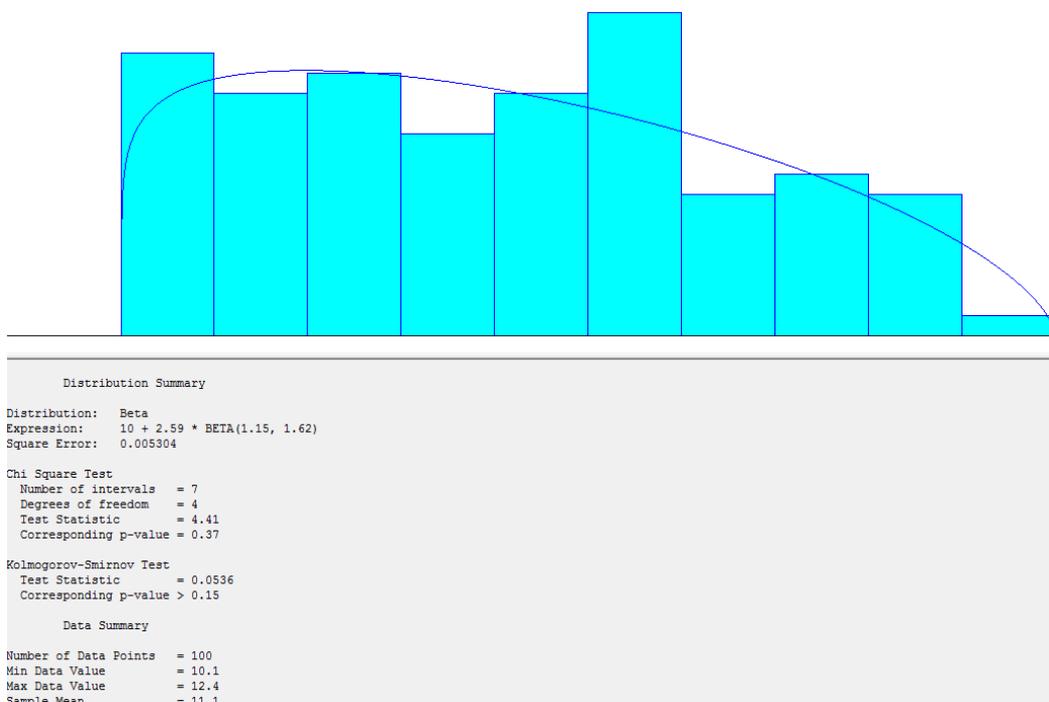


Figura 119. Distribución obtenida para la estación R2.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación R3a:

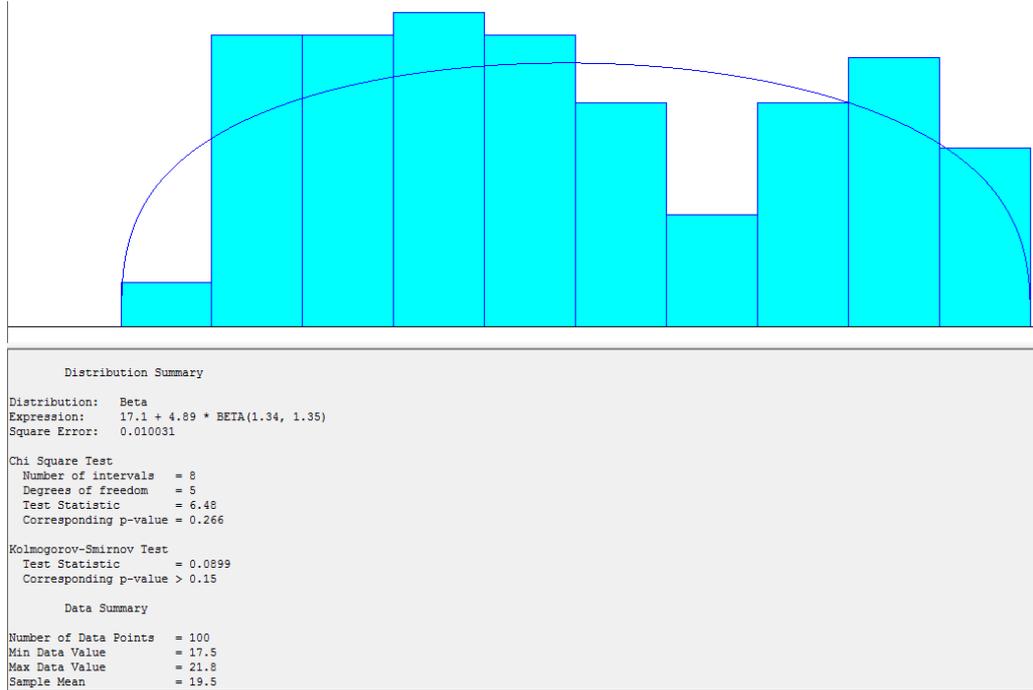


Figura 120. Distribución obtenida para la estación R3a.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación R3b:

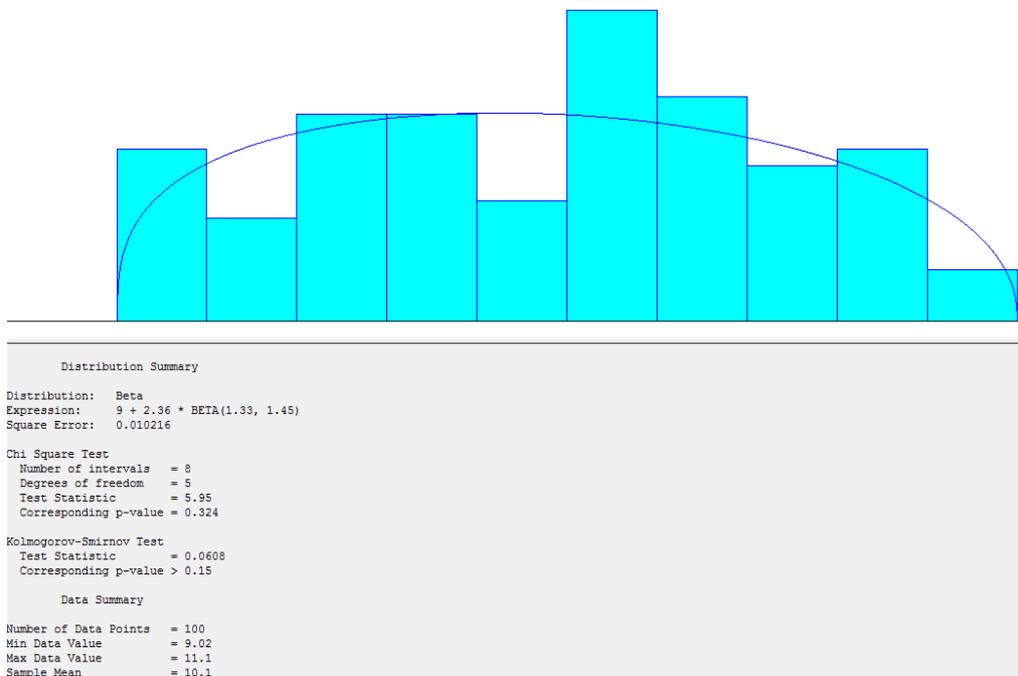


Figura 121. Distribución obtenida para la estación R3b.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación R6:

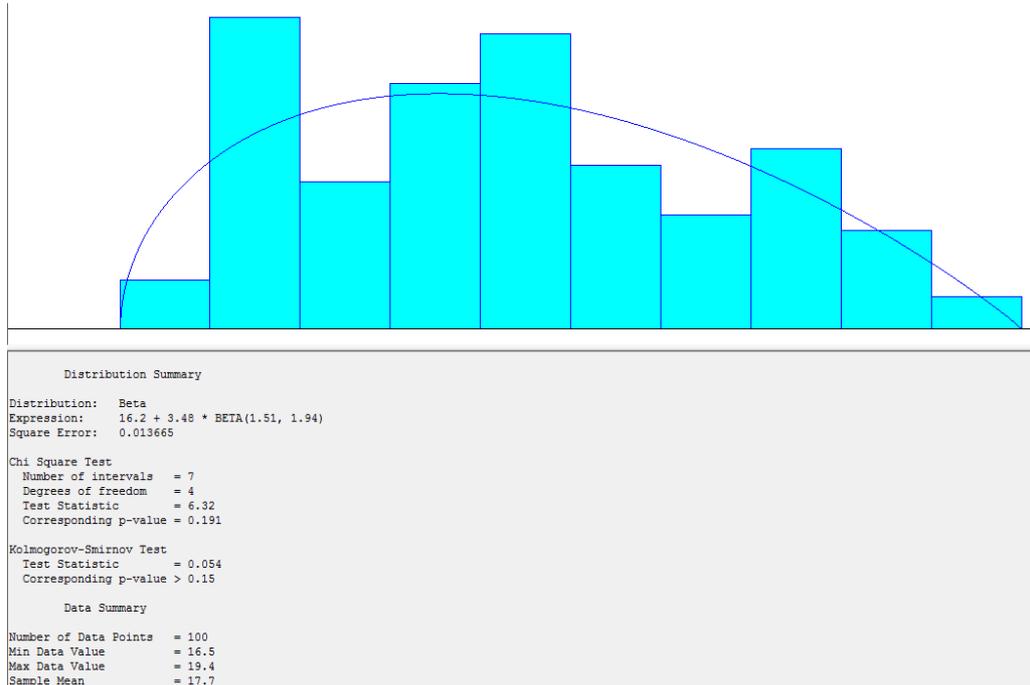


Figura 122. Distribución obtenida para la estación R6.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación R7:

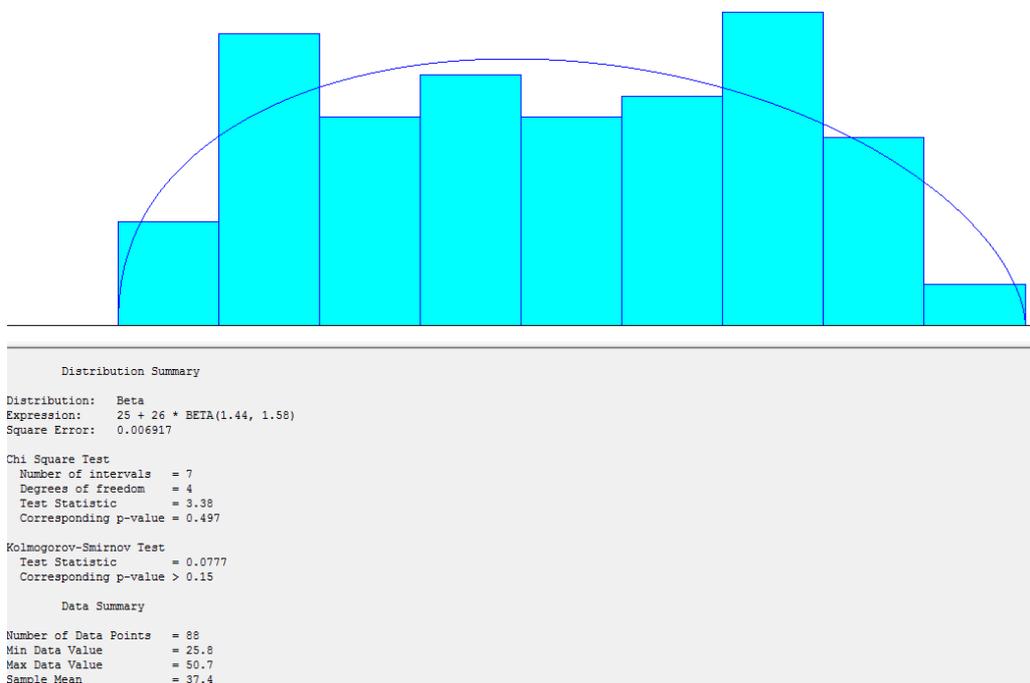


Figura 123. Distribución obtenida para la estación R7.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación R15:

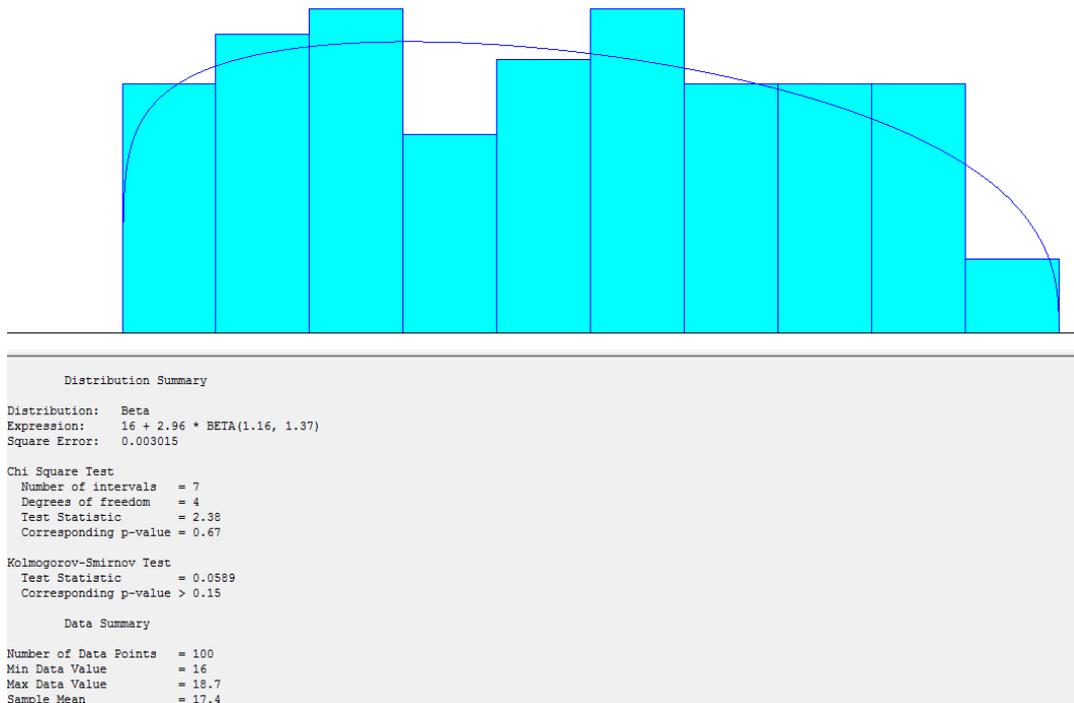


Figura 124. Distribución obtenida para la estación R15.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación R18a:

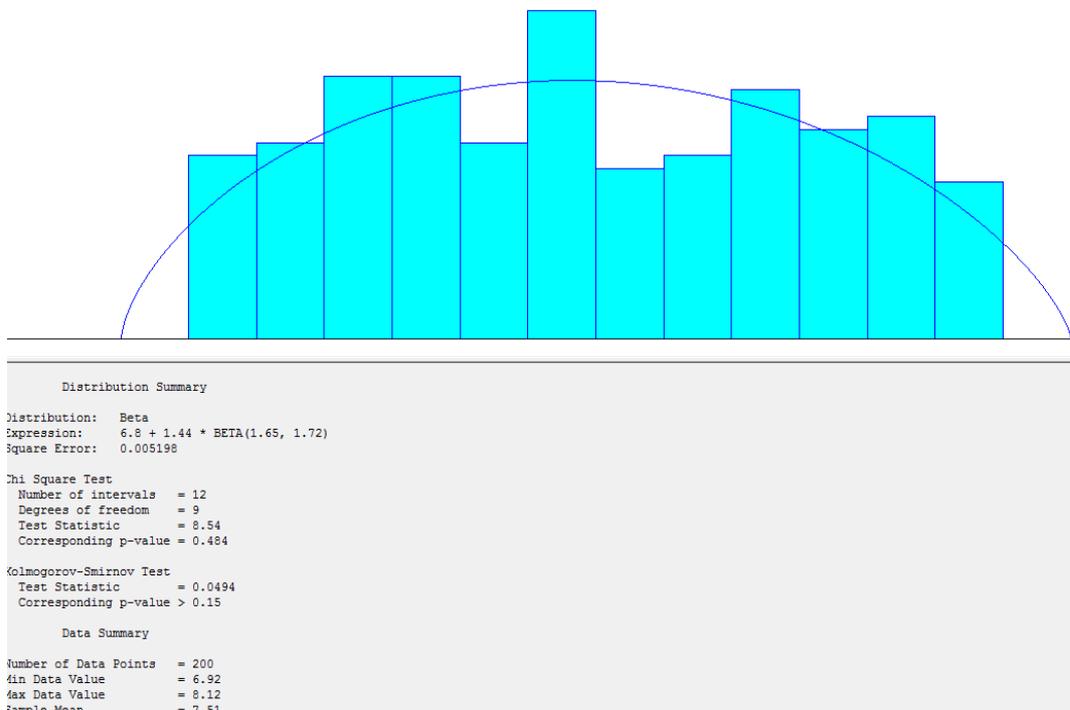


Figura 125. Distribución obtenida para la estación R18a.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación R18b:

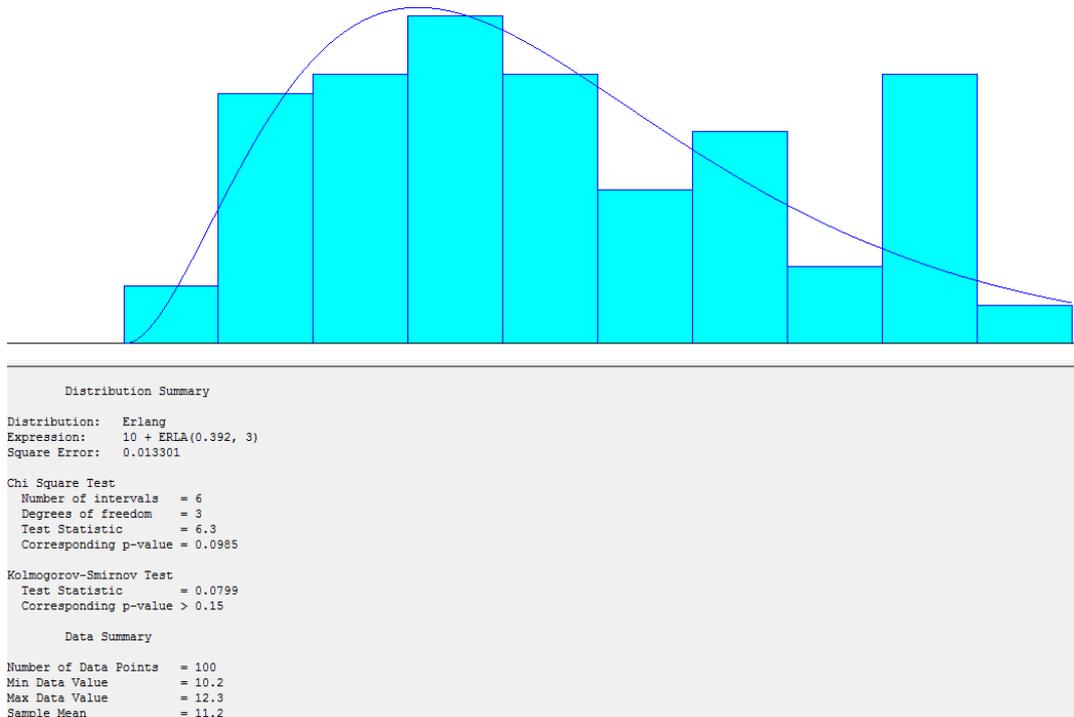


Figura 126. Distribución obtenida para la estación R18b.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación R24:

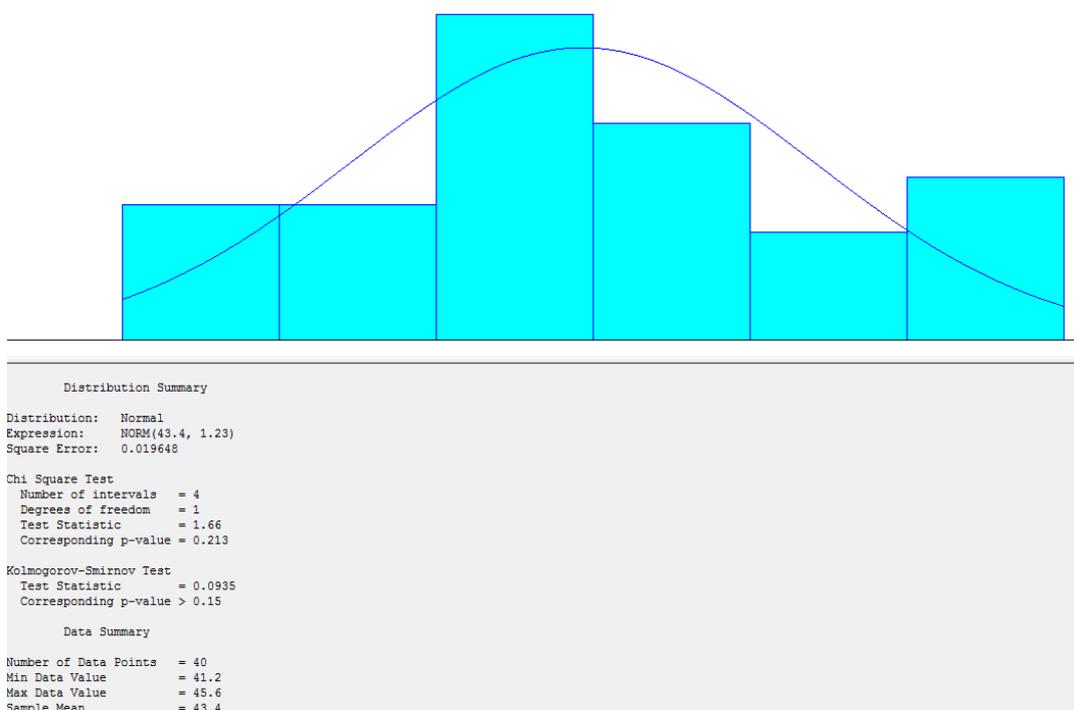


Figura 127. Distribución obtenida para la estación R24.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación R26:

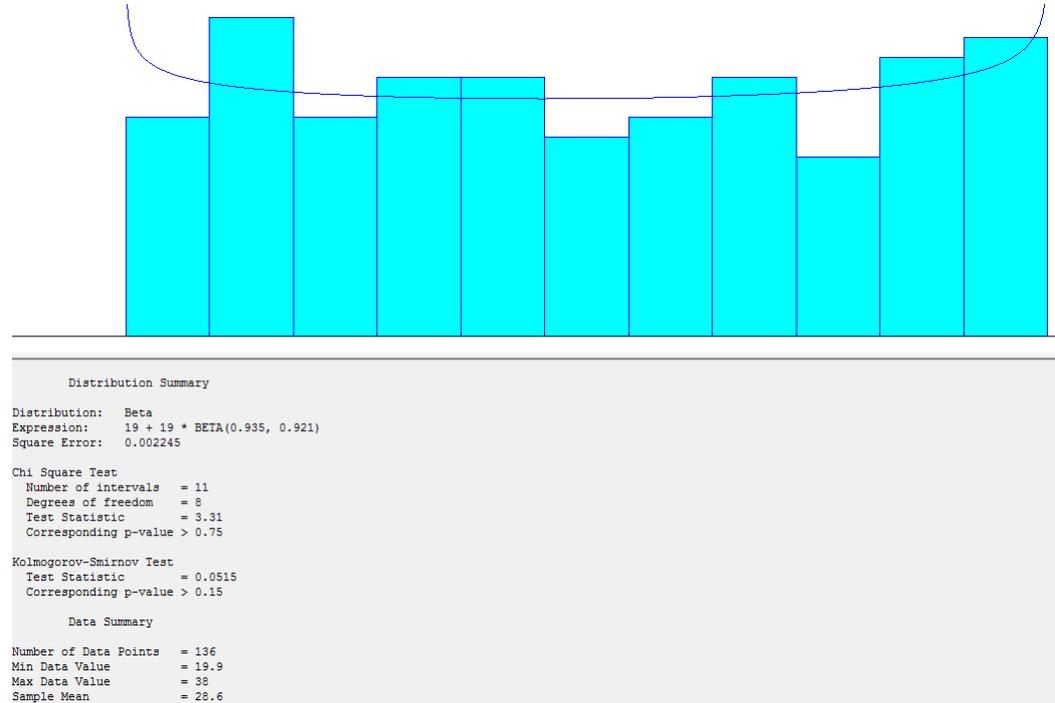


Figura 128. Distribución obtenida para la estación R26.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación G7:

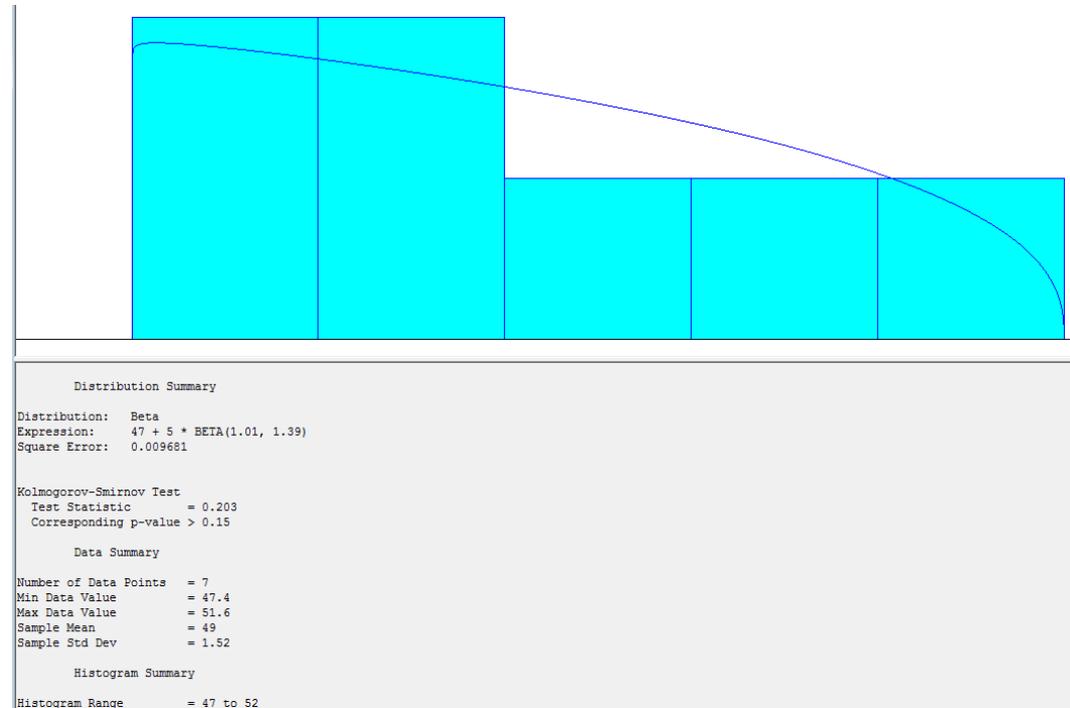


Figura 129. Distribución obtenida para la estación G7.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación G11:

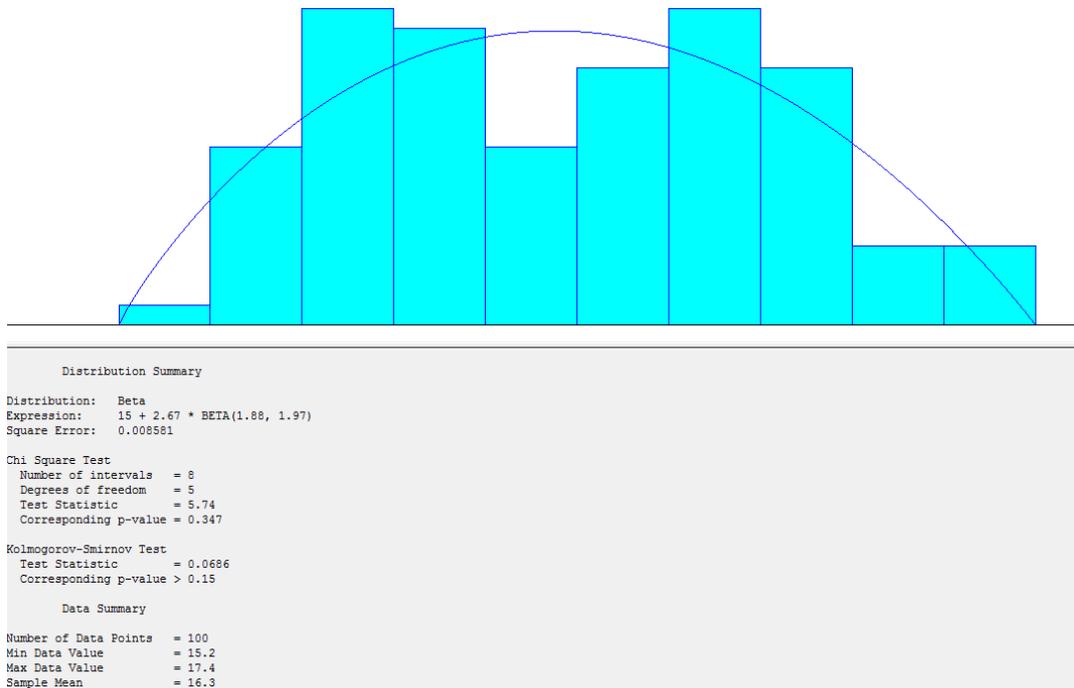


Figura 130. Distribución obtenida para la estación G11.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación G14:

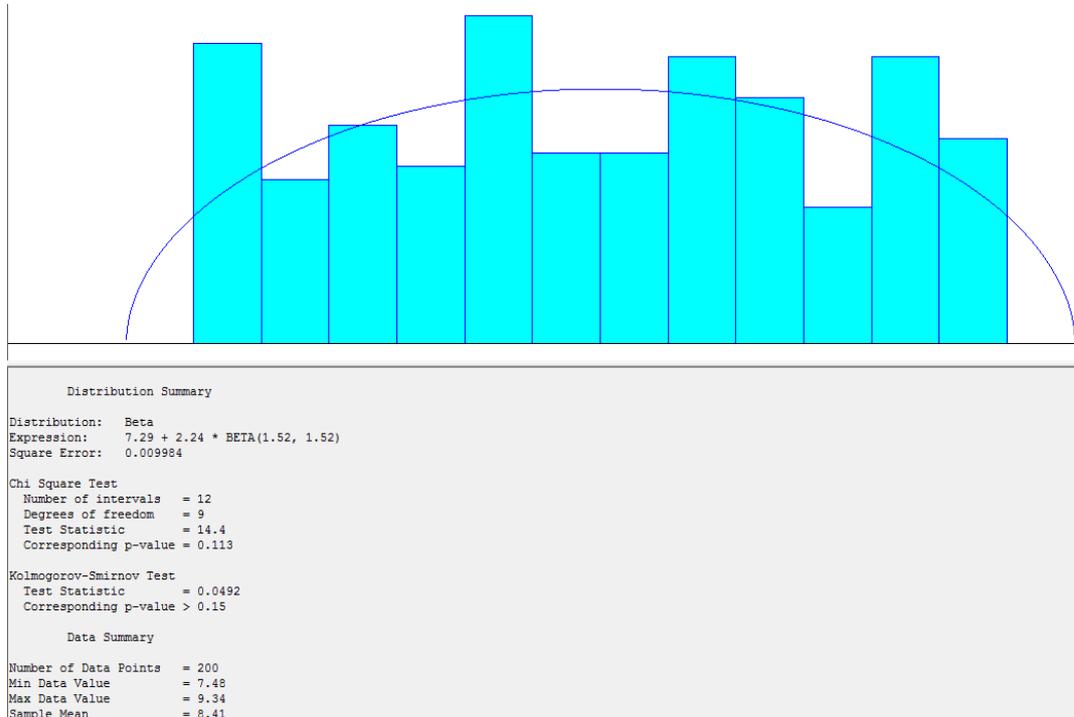


Figura 131. Distribución obtenida para la estación G14.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación G15:

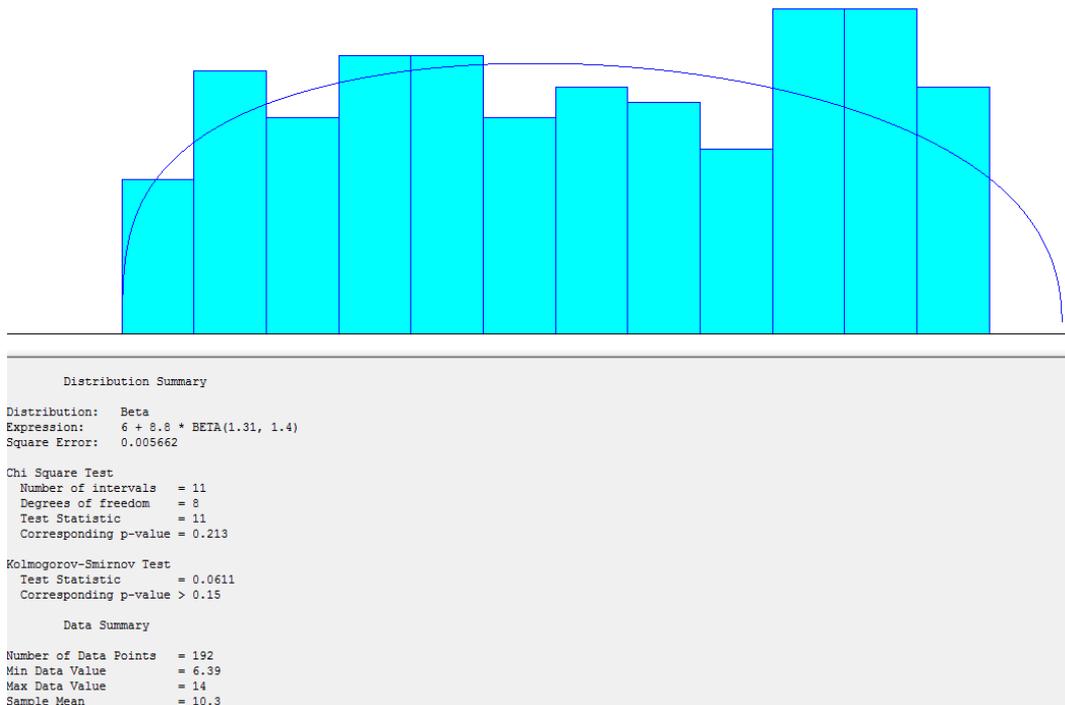


Figura 132. Distribución obtenida para la estación G15.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación G16:

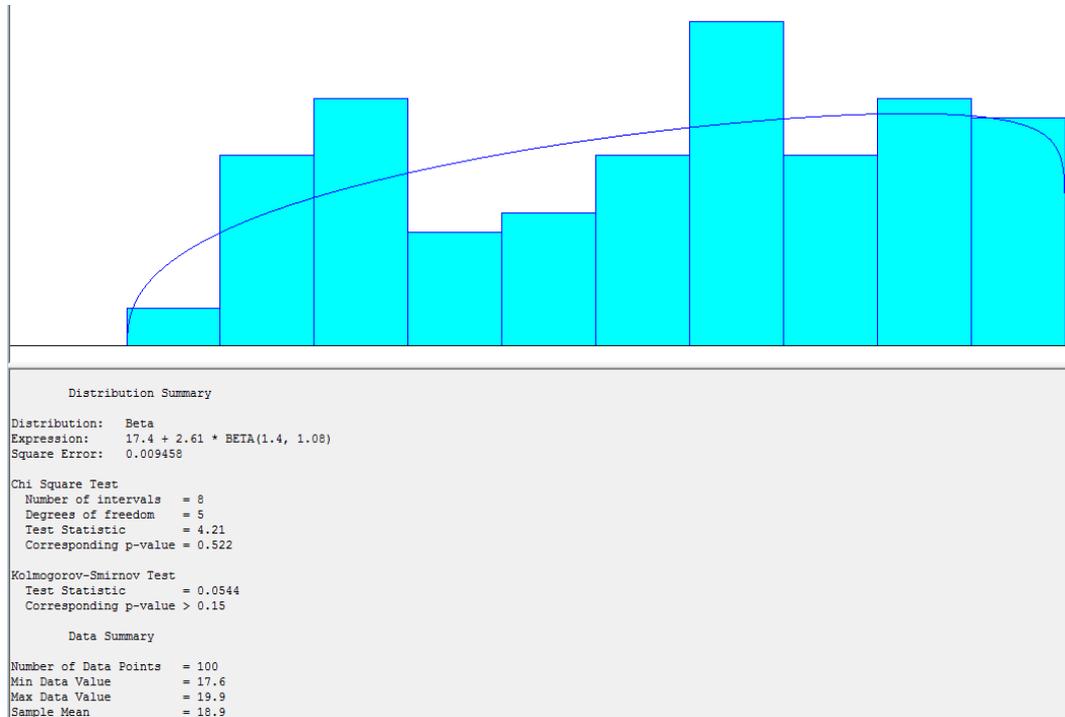


Figura 133. Distribución obtenida para la estación G16.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación G18a:

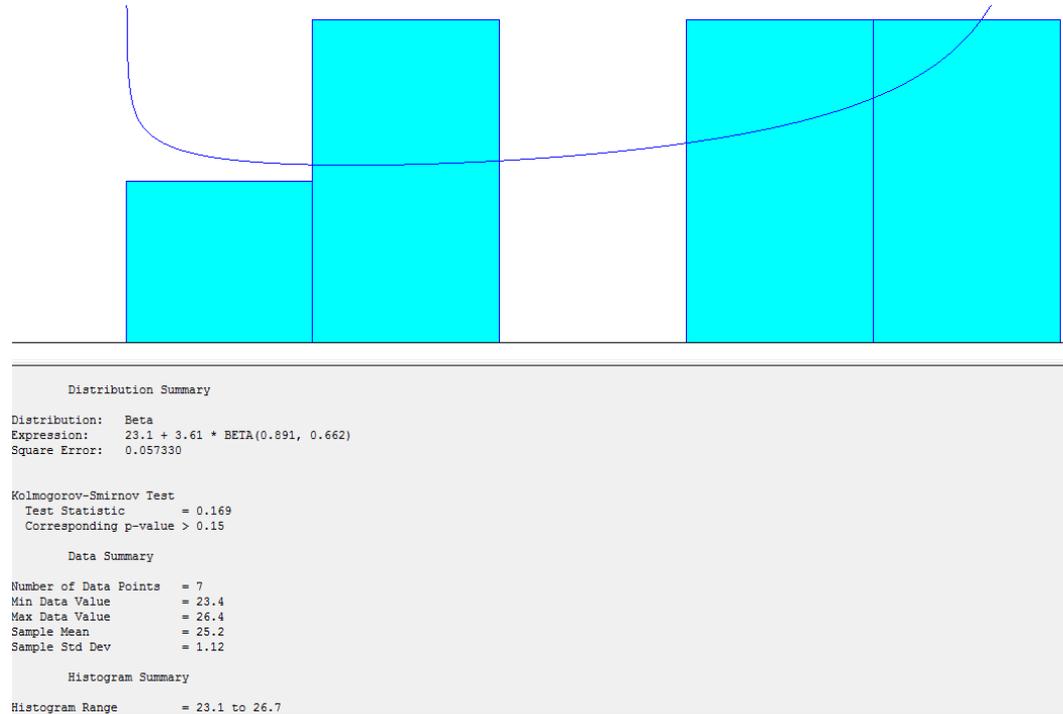


Figura 134. Distribución obtenida para la estación G18a.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación G18b:

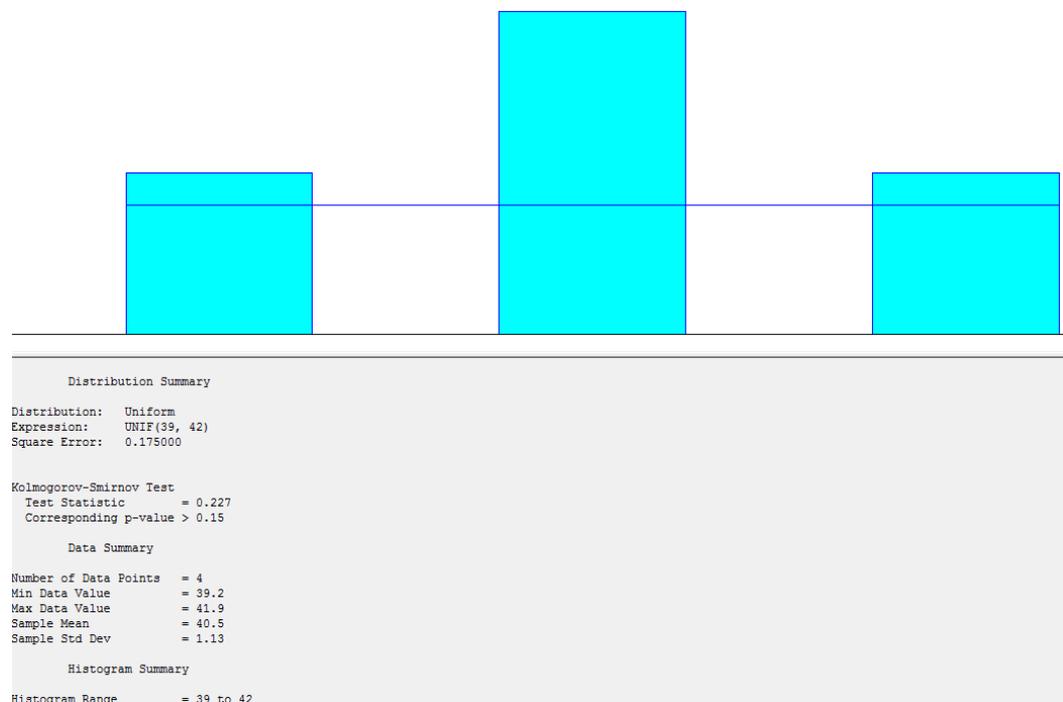


Figura 135. Distribución obtenida para la estación G18b.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación AC1a:

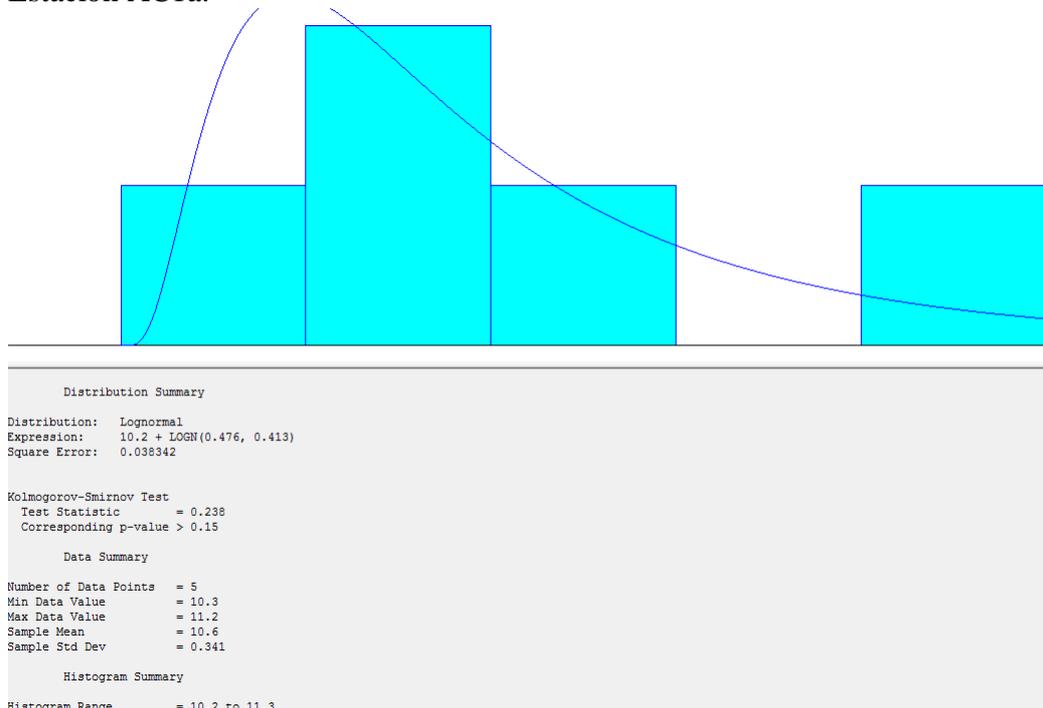


Figura 136. Distribución obtenida para la estación AC1a.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación AC1b:

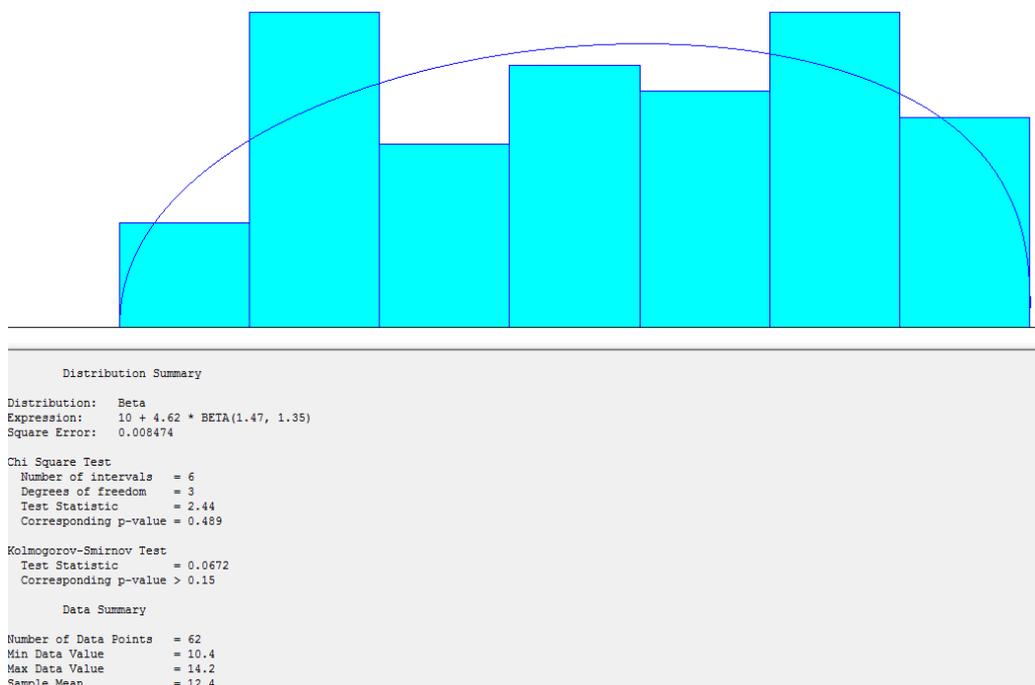


Figura 137. Distribución obtenida para la estación AC1b.

Fuente: *Input Analyzer*, Arena Software ®.

Estación AC2a:

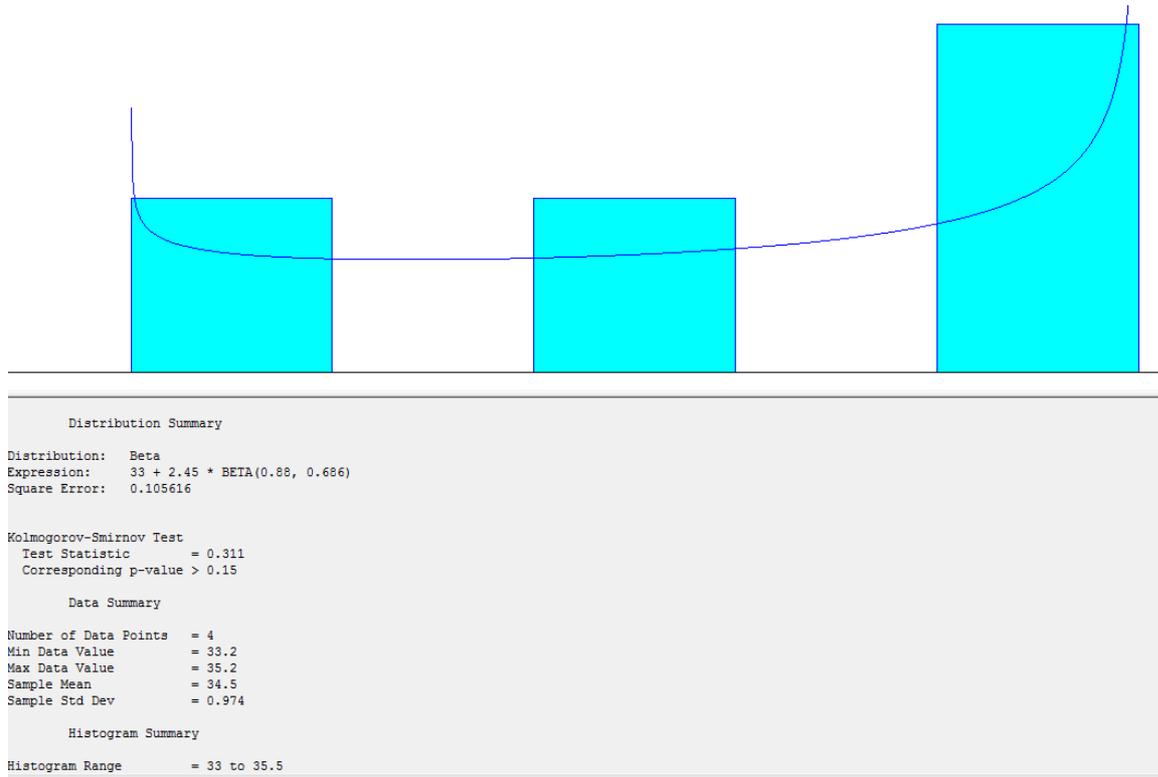


Figura 138. Distribución obtenida para la estación AC2a.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación AC2b:

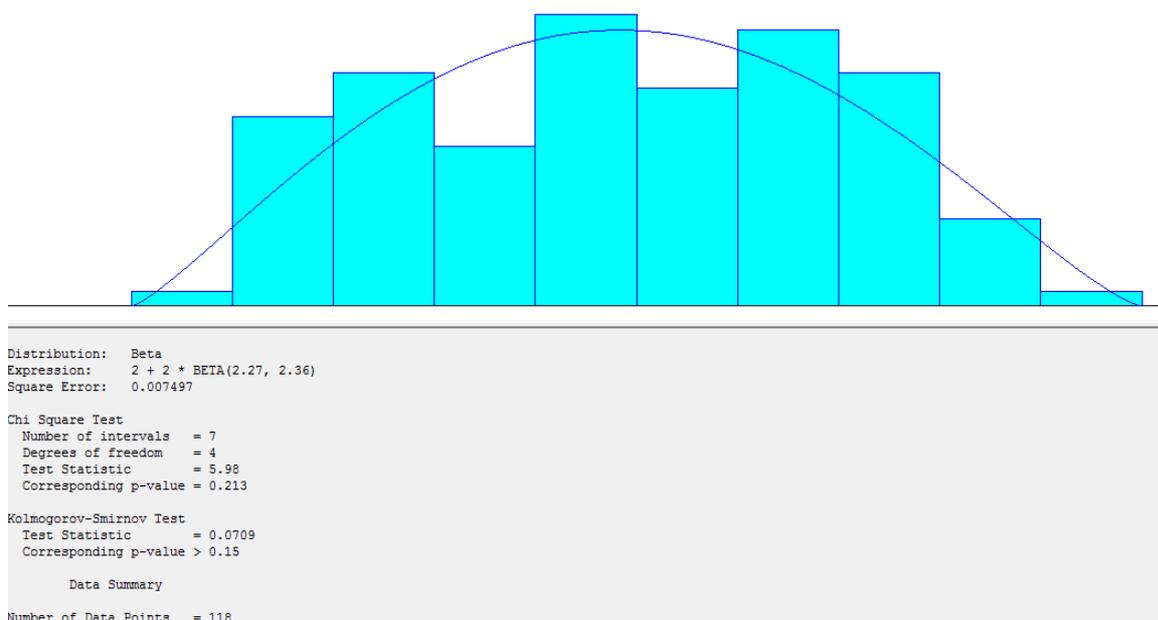


Figura 139. Distribución obtenida para la estación AC2b.

Fuente: Input Analyzer, Arena Software ®.

Estación AC3:

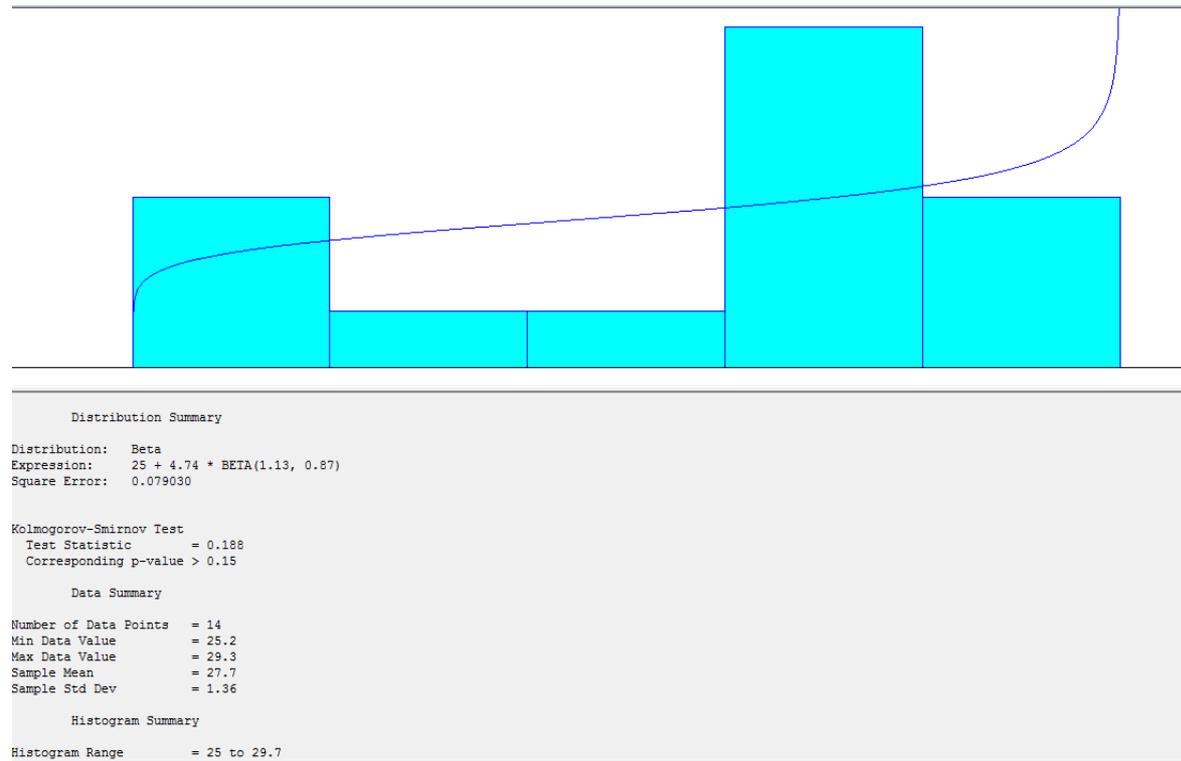


Figura 140. Distribución obtenida para la estación AC3.

Fuente: *Input Analyzer, Arena Software* ®.

Anexo 41: Submodelos de la simulación del estado actual.

Submodelo de Corte

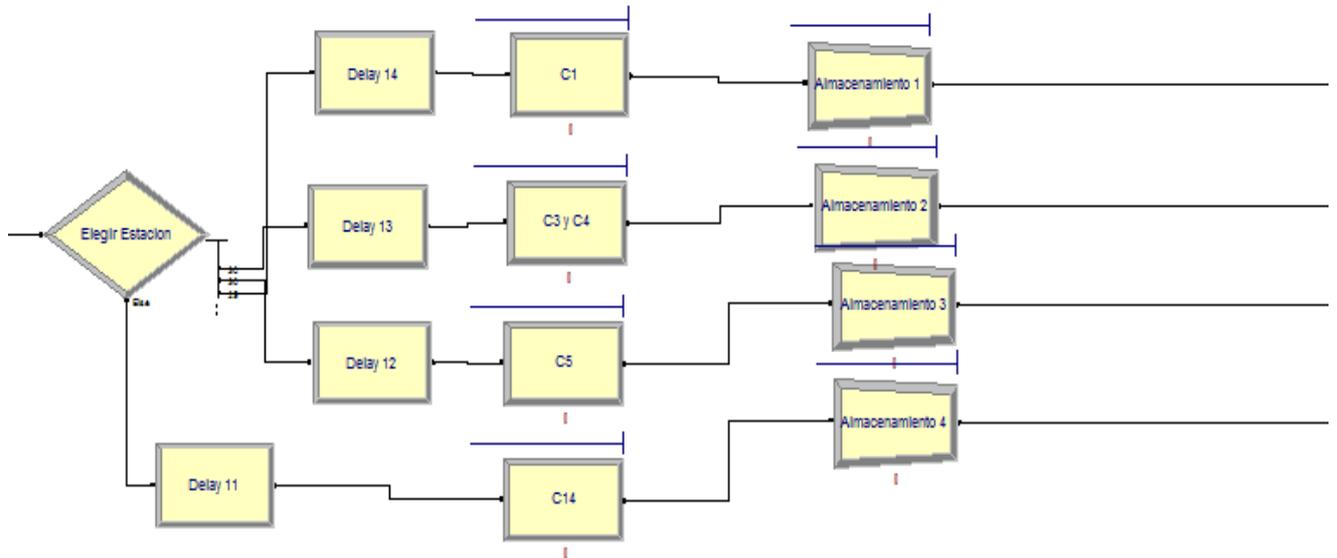


Figura 141. Modelo de simulación en Arena Software®, submodelo del proceso de corte.
Elaboración Propia.

Submodelo de Aparado 1

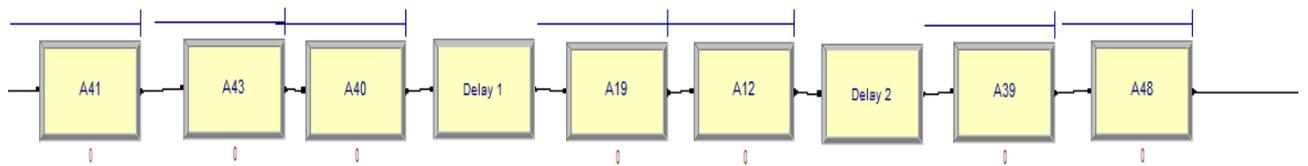


Figura 142. Modelo de simulación en Arena Software®, submodelo del proceso de aparato 1.
Elaboración Propia.

Submodelo de Aparado 2

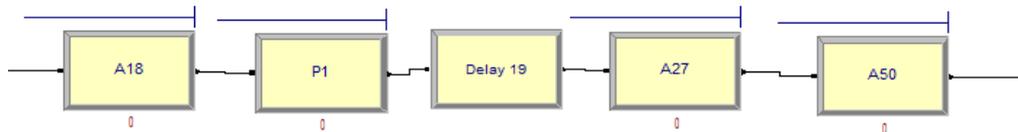


Figura 143. Modelo de simulación en Arena Software®, submodelo del proceso de aparato 2.
Elaboración Propia.

Submodelo de Aparado Final

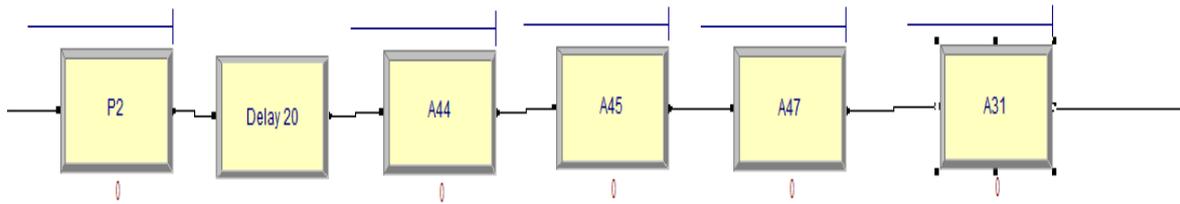


Figura 144. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de aporado final.
Elaboración Propia.

Submodelo de Armado 1

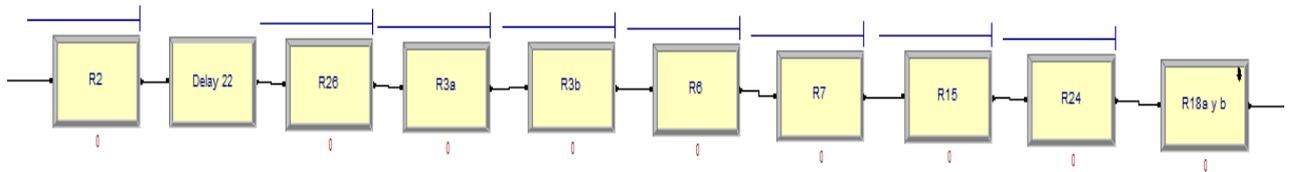


Figura 145. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de armado.
Elaboración Propia.

Submodelo de Goodyear

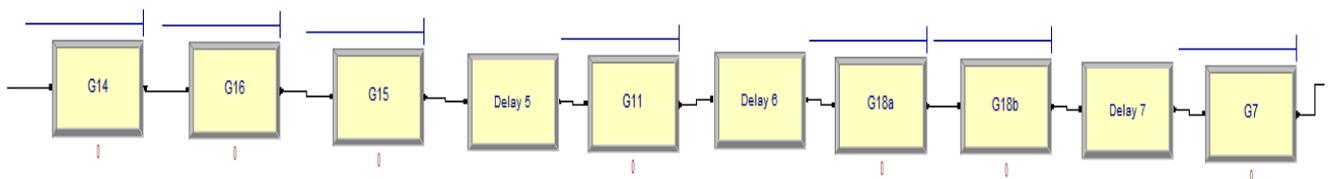


Figura 146. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de goodyear.
Elaboración Propia.

Submodelo de Acabados1

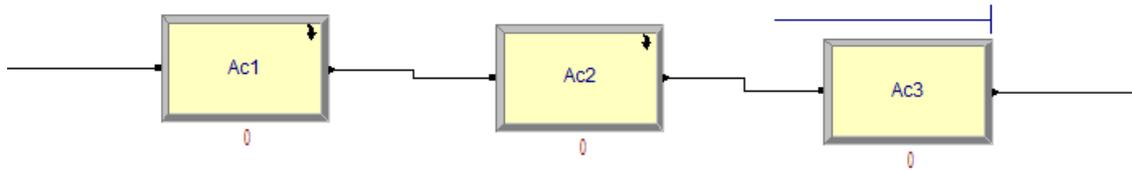


Figura 147. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de acabado.
Elaboración Propia.

Submodelo de Acabados2

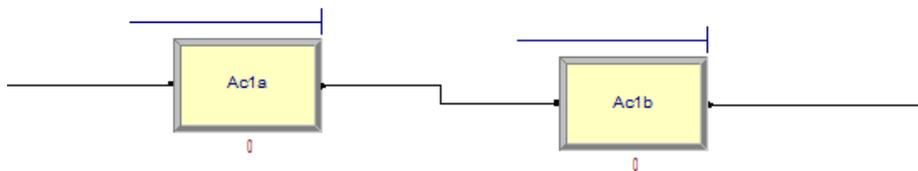


Figura 148. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de acabado.
Elaboración Propia.

Submodelo de Acabados3

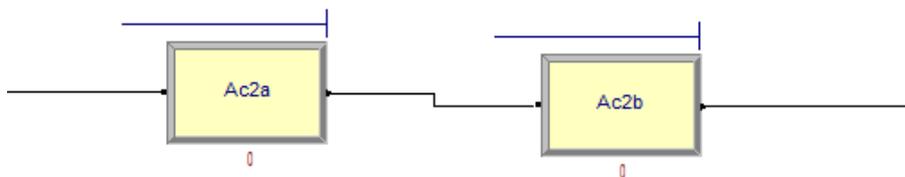


Figura 149. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de acabado.
Elaboración Propia.

Submodelo de Armado 2

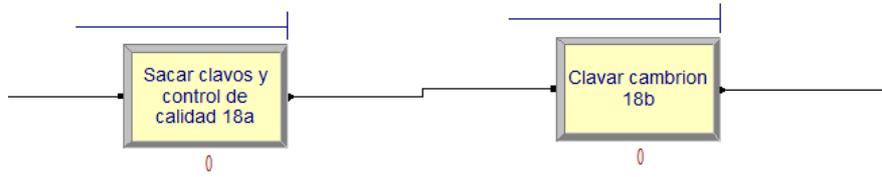


Figura 150. Modelo de simulación en Arena Software ®, submodelo del proceso de armado. Elaboración Propia.

Anexo 42: Modelo de simulación del estado actual.

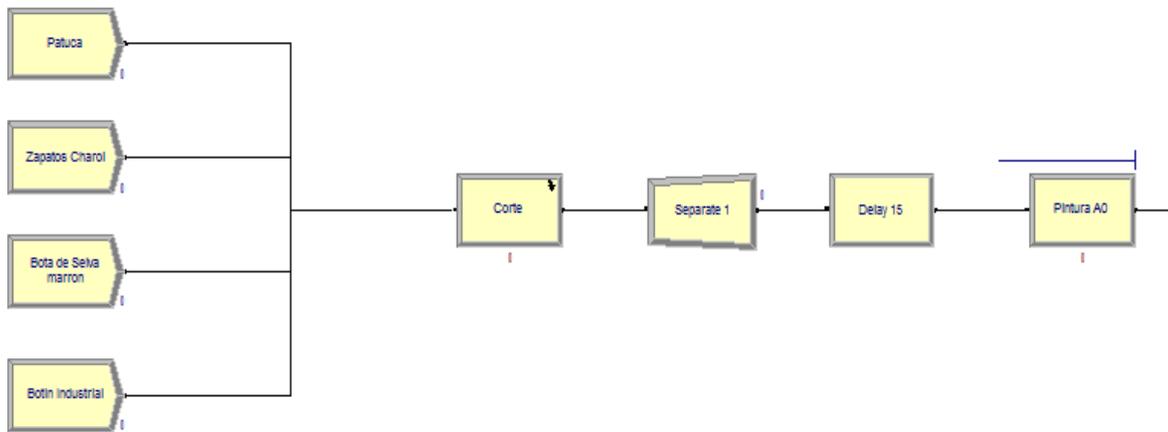


Figura 151. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde bodega hasta el proceso de pintura. Elaboración Propia.

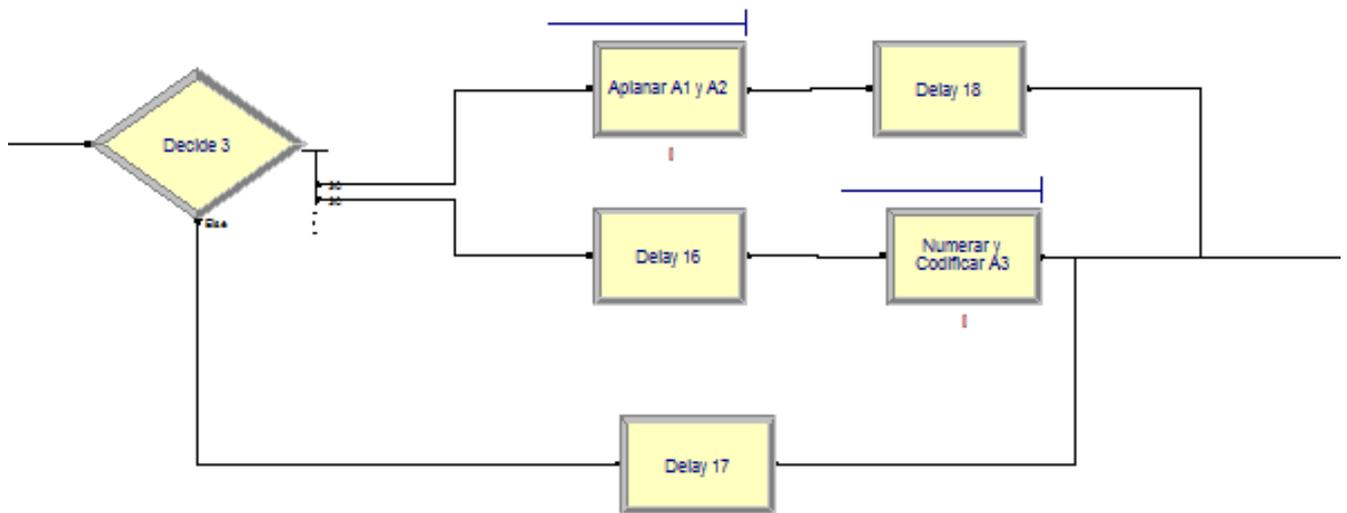


Figura 152. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde el proceso de aplanado hasta el proceso de numerado. Elaboración Propia.

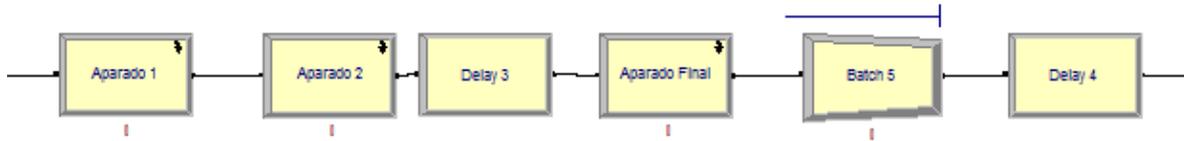


Figura 153. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde el proceso de aparado1 hasta el proceso de aparado final.
Elaboración Propia.



Figura 154. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde el proceso de aparado final hasta el proceso de armado.
Elaboración Propia.

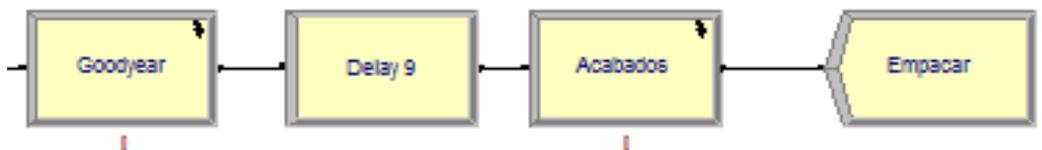


Figura 155. Modelo de simulación en Arena Software ®, desde el proceso de armado hasta el proceso de goodyear.
Elaboración Propia.

ANEXO 43: Tiempos de espera de las estaciones de la situación actual.

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
A12.Queue	0.00188528	< 0,00	0.00162149	0.00214078	0.00	0.01360948
A18.Queue	0.00001243	< 0,00	0.00000202	0.00003041	0.00	0.00124349
A19.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A27.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A31.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A39.Queue	0.00003444	< 0,00	0.00000588	0.00015506	0.00	0.00776019
A40.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A41.Queue	0.00206489	< 0,00	0.00169886	0.00245427	0.00	0.01579494
A43.Queue	0.00000264	< 0,00	0.00000003	0.00000570	0.00	0.00034169
A44.Queue	0.00026037	< 0,00	0.00015710	0.00042313	0.00	0.00816440
A45.Queue	0.00050120	< 0,00	0.00032728	0.00067956	0.00	0.00953280
A47.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A48.Queue	0.00000961	< 0,00	0.00000154	0.00002689	0.00	0.00175530
A50.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac1a.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac1b.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac2a.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac2b.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac3.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Almacenamiento 1.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Almacenamiento 2.Queue	0.07358889	< 0,01	0.03662948	0.2936	0.00	5.1103
Almacenamiento 3.Queue	0.0981	< 0,00	0.07730705	0.2003	0.00	3.8807
Almacenamiento 4.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aplanar A1 y A2.Queue	0.00000590	< 0,00	0.00	0.00002431	0.00	0.00056312
Batch 5.Queue	1.1423	< 0,00	1.0984	1.3081	0.00	2.8457
C1.Queue	0.5536	< 0,01	0.4033	0.7058	0.00	1.5605
C14.Queue	0.7541	< 0,02	0.4704	1.0719	0.00	2.2649
C3 y C4.Queue	0.6004	< 0,01	0.4508	0.7468	0.00	1.6031
C5.Queue	1.5165	< 0,02	1.2536	2.0201	0.00	4.2820
Clavar cambrion 18b.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
G11.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
G14.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
G15.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
G16.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
G18a.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
G18b.Queue	0.00022171	< 0,00	0.00014219	0.00028940	0.00	0.00384727
G7.Queue	0.07327147	< 0,00	0.06619295	0.08155375	0.00	0.1716
Numerar y Codificar A3.Queue	0.00000144	< 0,00	0.00	0.00000653	0.00	0.00024010
P1.Queue	1.7413	< 0,02	1.4092	1.9989	0.00	3.6509
P2.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pintura A0.Queue	0.00122491	< 0,00	0.00102082	0.00148140	0.00	0.00861092
R15.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
R2.Queue	0.1520	< 0,00	0.1403	0.1535	0.00	0.3102
R24.Queue	0.08091755	< 0,00	0.06712338	0.1088	0.00	0.2141
R26.Queue	0.2389	< 0,00	0.2170	0.2510	0.00	0.5256
R3a.Queue	0.00001327	< 0,00	0.00000438	0.00002725	0.00	0.00103166
R3b.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
R6.Queue	0.00000277	< 0,00	0.00	0.00000817	0.00	0.00080476
R7.Queue	0.1150	< 0,00	0.0916	0.1392	0.00	0.3026
Sacar clavos y control de calidad 18a.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 156. Tiempos de espera para las estaciones en la situación actual.

Fuente: Resultados de Simulación en Arena Software ®.

Anexo 44: Utilización de cada recurso en la situación actual.

Instantaneous Utilization	Average					
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Aplanadora 1	0.01095486	< 0,00	0.00827097	0.01408420	0.00	1.0000
Aplanadora 2	0.01095486	< 0,00	0.00827097	0.01408420	0.00	1.0000
Codificador 1	0.00995823	< 0,00	0.00756277	0.01247596	0.00	1.0000
Maquina de coser	0.0993	< 0,00	0.0903	0.1143	0.00	1.0000
Maquina de coser 10	0.1210	< 0,00	0.1098	0.1359	0.00	1.0000
Maquina de coser 11	0.7834	< 0,01	0.7115	0.8852	0.00	1.0000
Maquina de coser 12	0.7833	< 0,01	0.7063	0.8778	0.00	1.0000
Maquina de coser 13	0.1464	< 0,00	0.1327	0.1645	0.00	1.0000
Maquina de coser 2	0.08369732	< 0,00	0.07576451	0.0962	0.00	1.0000
Maquina de coser 3	0.05670222	< 0,00	0.05143449	0.06524882	0.00	1.0000
Maquina de coser 4	0.02969263	< 0,00	0.02696420	0.03415133	0.00	1.0000
Maquina de coser 5	0.1396	< 0,00	0.1265	0.1605	0.00	1.0000
Maquina de coser 6	0.1042	< 0,00	0.0938	0.1195	0.00	1.0000
Maquina de coser 7	0.08200183	< 0,00	0.07376212	0.0947	0.00	1.0000
Maquina de coser 8	0.07562263	< 0,00	0.06799519	0.08717586	0.00	1.0000
Maquina de coser 9	0.01965796	< 0,00	0.01783539	0.02250011	0.00	1.0000
Maquina Ojaleadora	0.1154	< 0,00	0.1047	0.1296	0.00	1.0000
Pegadora	0.07023922	< 0,00	0.05787567	0.08634237	0.00	1.0000
Pegadora 1	0.1013	< 0,00	0.07626170	0.1160	0.00	1.0000
Pegadora 10	0.3981	< 0,01	0.3396	0.4804	0.00	1.0000
Pegadora 11	0.08557624	< 0,00	0.06967333	0.1036	0.00	1.0000
Pegadora 2	0.2590	< 0,01	0.1925	0.3033	0.00	1.0000
Pegadora 3	0.1774	< 0,01	0.1341	0.2052	0.00	1.0000
Pegadora 4	0.0918	< 0,00	0.06984741	0.1061	0.00	1.0000
Pegadora 5	0.1605	< 0,01	0.1223	0.1854	0.00	1.0000
Pegadora 6	0.3218	< 0,01	0.2522	0.3908	0.00	1.0000
Pegadora 7	0.1498	< 0,00	0.1195	0.1805	0.00	1.0000
Pegadora 8	0.3637	< 0,01	0.3002	0.4489	0.00	1.0000
Pegadora 9	0.1357	< 0,00	0.1128	0.1675	0.00	1.0000
Resource 1	0.2454	< 0,01	0.1669	0.3255	0.00	1.0000
Trabajador1	0.04083548	< 0,00	0.03696950	0.04721412	0.00	1.0000
Trabajador10	0.1867	< 0,00	0.1593	0.2246	0.00	1.0000
Trabajador11	0.3018	< 0,01	0.2582	0.3634	0.00	1.0000
Trabajador12	0.2228	< 0,00	0.1910	0.2696	0.00	1.0000
Trabajador2	0.8462	< 0,01	0.7670	0.9580	0.00	1.0000
Trabajador3	0.4430	< 0,00	0.4007	0.4994	0.00	1.0000
Trabajador6	0.1562	< 0,00	0.1291	0.1915	0.00	1.0000
Trabajador7	0.1575	< 0,00	0.1297	0.1941	0.00	1.0000
Trabajador8	0.2090	< 0,00	0.1733	0.2567	0.00	1.0000
Trabajador9	0.3357	< 0,01	0.2804	0.4125	0.00	1.0000
Troqueladora hidraulica	0.1781	< 0,00	0.1408	0.2235	0.00	1.0000
Troqueladora hidraulica 4	0.1916	< 0,00	0.1623	0.2407	0.00	1.0000
Troqueladora hidraulica2	0.4784	< 0,01	0.3953	0.5819	0.00	1.0000
Troqueladora hidraulica3	0.1916	< 0,00	0.1623	0.2407	0.00	1.0000

Figura 157. Utilización de cada recurso en la situación actual.

Fuente: Resultados de Simulación en Arena Software ®.

Anexo 45: Simulación de la propuesta con algoritmo MÚLTIPLE.

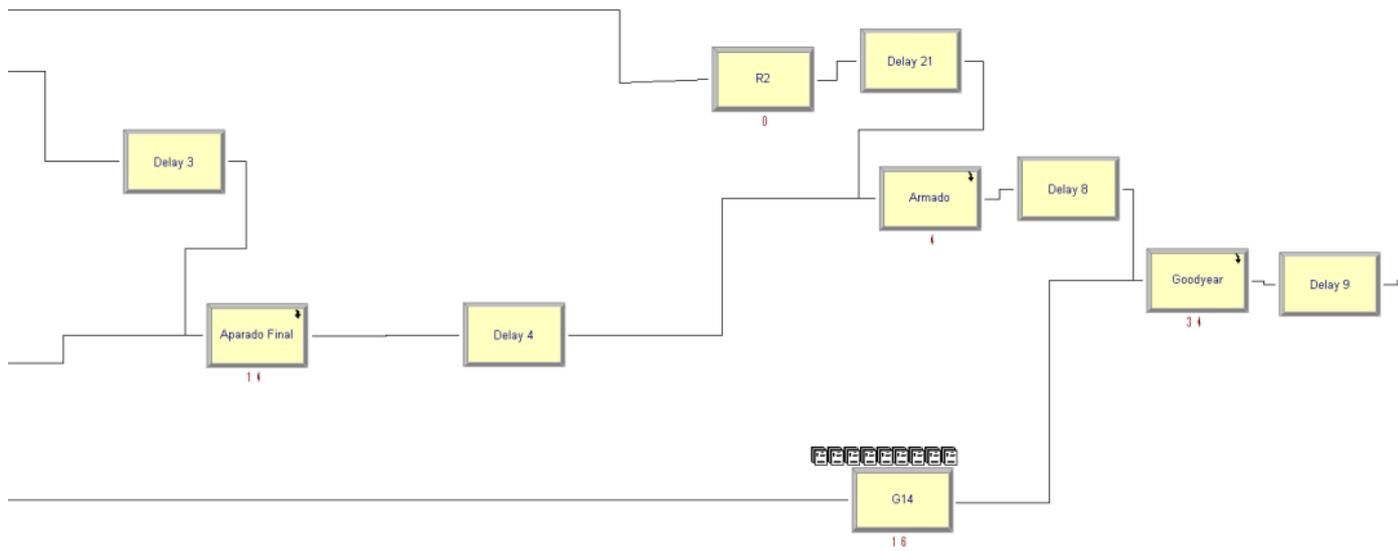


Figura 158. Modelo de simulación en Arena Software®, de la propuesta obtenida con el algoritmo MÚLTIPLE.

Elaboración Propia.

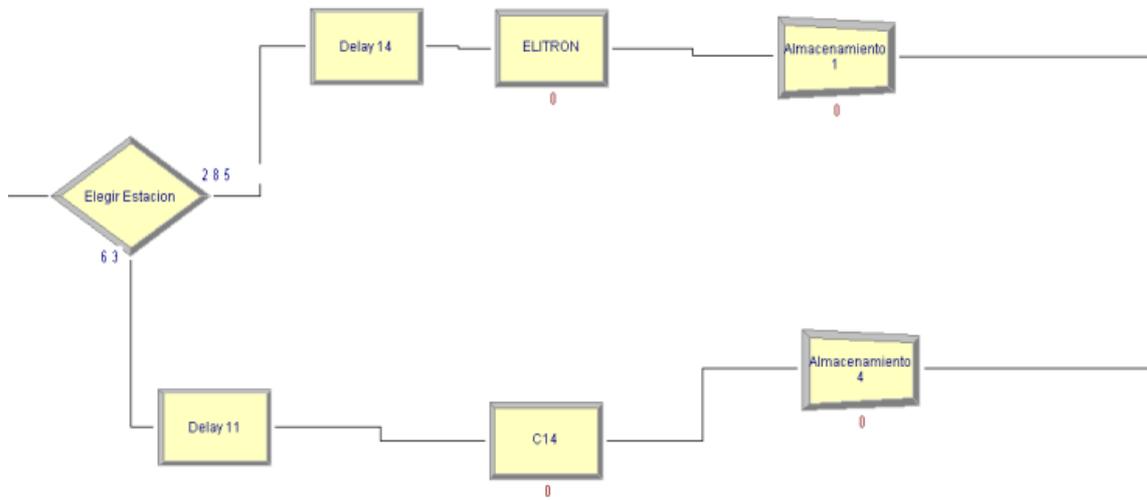
Anexo 46: Simulación de propuesta de automatización.

Figura 159. Modelo de simulación en Arena Software ®, con máquina de corte automatizada. Elaboración Propia.

Anexo 47: Tiempo de espera de estaciones en la simulación de la propuesta de automatización.

Replications: 117 Time Units: Hours

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
A12.Queue	0.00166815	< 0,00	0.00091720	0.00348364	0.00	0.01920389
A18.Queue	0.00000760	< 0,00	0.00	0.00013938	0.00	0.00181191
A19.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A27.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A31.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A39.Queue	0.00004008	< 0,00	0.00000449	0.00017002	0.00	0.00991033
A40.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A41.Queue	0.00058886	< 0,00	0.00037056	0.00087113	0.00	0.00772504
A43.Queue	0.00000199	< 0,00	0.00000017	0.00000544	0.00	0.00032373
A44.Queue	0.9555	< 0,01	0.8293	1.1377	0.00	2.4485
A45.Queue	0.01354185	< 0,00	0.00419666	0.04003431	0.00	0.08651523
A47.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
A48.Queue	0.00001026	< 0,00	0.00000002	0.00002969	0.00	0.00141801
A50.Queue	0.00005597	< 0,00	0.00	0.00033625	0.00	0.00474804
Ac1a.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac1b.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac2a.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac2b.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ac3.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Almacenamiento 1.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Almacenamiento 4.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aplanar A1 y A2.Queue	0.00000030	< 0,00	0.00	0.00002480	0.00	0.00039674
C14.Queue	0.8613	< 0,02	0.5617	1.2253	0.00	2.5127
Clavar cambrion 18b.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
ELITRON.Queue	0.3844	< 0,00	0.3428	0.4263	0.00	0.9289
G11.Queue	0.00003187	< 0,00	0.00001288	0.00004828	0.00	0.00202767
G14.Queue	0.05566883	< 0,00	0.03049266	0.07726963	0.00	0.1652
G15.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
G16.Queue	0.01738653	< 0,00	0.00723426	0.03391542	0.00	0.2439
G18a.Queue	0.01964481	< 0,00	0.00777213	0.03745061	0.00	0.1985
G7.Queue	0.2992	< 0,01	0.1954	0.3806	0.00	0.8053
Numerar y Codificar A3.Queue	0.00000010	< 0,00	0.00	0.00000514	0.00	0.00013376
P1.Queue	0.00222815	< 0,00	0.00	0.00966063	0.00	0.04540603
P2.Queue	0.7283	< 0,01	0.6026	0.8502	0.00	1.8038
Pintura A0.Queue	0.00000755	< 0,00	0.00	0.00003149	0.00	0.00122167
R15.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
R2.Queue	0.00008344	< 0,00	0.00000098	0.00030800	0.00	0.00343517
R24.Queue	0.06201034	< 0,00	0.02577229	0.1109	0.00	0.3499
R26.Queue	0.00969040	< 0,00	0.00155400	0.04193274	0.00	0.1924
R3a.Queue	0.00000419	< 0,00	0.00	0.00001246	0.00	0.00107382
R3b.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
R6.Queue	0.00000091	< 0,00	0.00	0.00000432	0.00	0.00068451
R7.Queue	0.04671838	< 0,00	0.00704037	0.1044	0.00	0.3647
Sacar clavos y control de calidad 18a.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 160. Tiempo de espera de estaciones en la simulación de la propuesta de automatización.

Fuente: Resultados de Simulación en Arena Software ®.

Anexo 48: *Layout* propuesto de las bodegas de materia prima de la planta de calzado.



Figura 161. *Layout* Propuesto de la Bodega#1 de Materia Prima de la Planta de Calzado de FAME S.A.
Elaboración Propia.

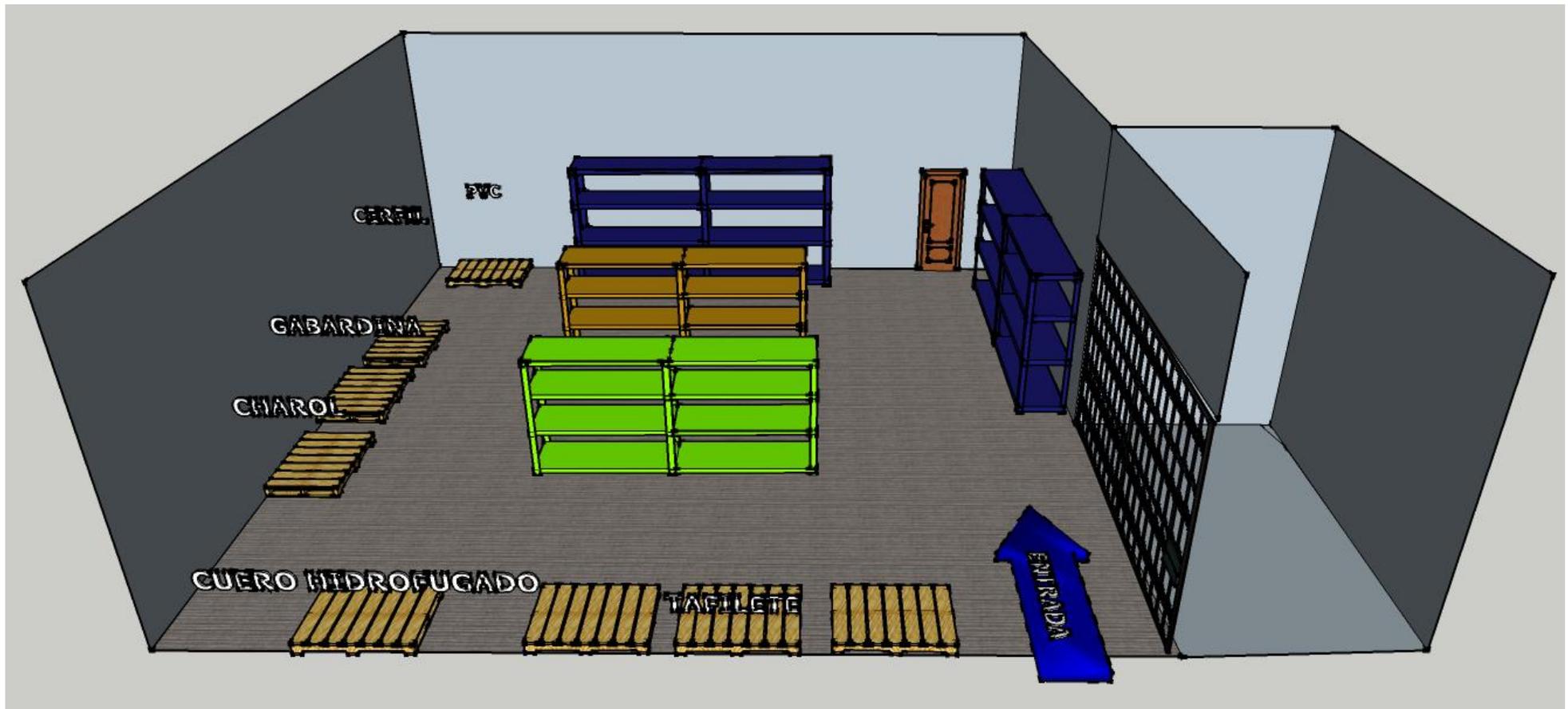


Figura 162. Layout Propuesto de la Bodega#2 de Materia Prima de la Planta de Calzado de FAME S.A.
Elaboración Propia.