

**APOYO EN LABORES DE DOCENCIA Y ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN E
INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN EL ÁREA DE
GESTIÓN**

JOHN JAIRO SUÁREZ LAMUS



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

**APOYO EN LABORES DE DOCENCIA Y ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN E
INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN EL ÁREA DE
GESTIÓN**

JOHN JAIRO SUÁREZ LAMUS

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**Director del proyecto de grado
Ing. GUILLERMO MEJÍA AGUILAR
Docente Escuela de Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

AGRADECIMIENTOS

A mi director de proyecto, profesor y amigo, Guillermo Mejía Aguilar por su orientación profesional y comprometida al permitirme ser parte del grupo de trabajo e investigación en gestión aplicada de la Escuela de Ingeniería Civil.

A mi familia, por ser el núcleo central de palabras de amor y comprensión que de manera incondicional me acompañaron de inicio a fin en la búsqueda de este objetivo.

A mi novia, amigos y compañeros, que sin razón alguna más que el valor de la amistad, siempre estuvieron a mi lado, brindando apoyo y motivos para finalizar de la mejor manera este trabajo.

A todo el cuerpo de docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, por sus enseñanzas profesionales y humanas.

A la Universidad Industrial de Santander, alma mater de mi Departamento por brindarme la oportunidad de desarrollarme como persona y de alcanzar lo que tiempo atrás era tan solo un sueño.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme sabiduría y bendiciones, necesarias Para desarrollar este trabajo de grado.

A mis padres Gilberto Suárez Triana y Esperanza Lamus Díaz, por su infinito amor, comprensión, palabras de apoyo y sacrificio que causan en mí admiración y orgullo de ser su hijo.

A mis hermanos Juan Carlos y José Luis, quienes con su sonrisa y ternura siempre fueron mi motivo y mis ganas.

A Paula Marcela, mi niña bonita, por escucharme, entenderme y convertirse en parte fundamental de mi vida, por su inmenso y sincero amor.

A mi Abuelita Graciela y a mi familia, por sus oraciones y sabios consejos brindados con sinceridad y amor.

A Mayra, Carlos Andrés, Leidy, Adriana, Edwin, Luxhelena y John Alexander por ser más que compañeros durante mi transcurrir universitario.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS..... | 4 |
| 1. PLANEACIÓN DE PROCESOS..... | 5 |
| 1.1 MARCO CONCEPTUAL | 5 |
| 1.1.1 Definiciones acerca de la planeación..... | 5 |
| 1.1.2 Objetivos de la planeación | 7 |
| 1.1.3 Alcance de la planeación | 9 |
| 1.1.4 Importancia y beneficios de la planeación | 9 |
| 1.1.5 Contenido de la planeación..... | 11 |
| 1.1.6 Razones porque se evita la planeación | 13 |
| 1.2 METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR LA PLANEACIÓN | 14 |
| 1.2.1 Requerimientos especiales | 15 |
| 1.2.2 Pasos | 23 |
| 1.2.3 Resultados finales..... | 30 |
| 1.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS | 37 |
| 1.3.1 Herramientas | 38 |
| 1.3.2 Técnicas..... | 44 |
| 1.4 ESCENARIOS DE LA CONSTRUCCIÓN..... | 52 |
| 1.5 GESTIÓN DE PROCESOS | 55 |
| 1.6 SEGUIMIENTO DE PROCESOS..... | 61 |
| 1.7 CONTROL DE PROCESOS..... | 64 |
| 1.8 MEJORAMIENTO DE PROCESOS | 66 |
| 1.9 EJERCICIOS..... | 72 |
| 1.9.1 Ejercicios resueltos | 72 |
| 1.9.2 Ejercicios propuestos | 84 |

| | |
|---|-----|
| 2. PROGRAMACIÓN DE PROCESOS..... | 86 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN..... | 86 |
| 2.2 PERSPECTIVA HISTÓRICA..... | 87 |
| 2.3 OBJETIVOS DE LA PROGRAMACIÓN..... | 89 |
| 2.4 MODELO GRÁFICO DE TIEMPOS..... | 90 |
| 2.4.1 DIAGRAMA DE GANTT..... | 90 |
| 2.4.2 DIAGRAMA DE PRECEDENCIAS DEL CPM..... | 91 |
| 2.4.3 DIAGRAMA DE REDES..... | 96 |
| 2.5 MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN..... | 109 |
| 2.5.1 MÉTODO CPM..... | 110 |
| 2.5.2 MÉTODO PERT..... | 115 |
| 2.6 METODOLOGÍA A SEGUIR EN LA PROGRAMACIÓN DE PROCESOS..... | 124 |
| 2.6.1 PLAN DE TRABAJO..... | 125 |
| 2.6.2 PROGRAMACIÓN DE TIEMPOS..... | 127 |
| 2.7 DETERMINACIÓN DE TIEMPOS, EMPLEANDO EL ALGORITMO DEL CPM..... | 127 |
| 2.8 HOLGURAS..... | 145 |
| 2.9 RUTA CRÍTICA DE UN PROCESO..... | 152 |
| 2.10 EJERCICIOS..... | 157 |
| 2.10.1 Ejercicios resueltos..... | 157 |
| 2.10.2 Ejercicios propuestos..... | 172 |
| 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS..... | 176 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN..... | 176 |
| 3.2 OBJETIVOS DE LA ESTIMACIÓN DE COSTOS..... | 178 |
| 3.3 TIPOS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS..... | 179 |
| 3.4 COSTOS INDIRECTOS..... | 180 |
| 3.5 COSTOS DIRECTOS..... | 182 |
| 3.5.1 Especificaciones..... | 182 |
| 3.5.2 Cantidades de Obra..... | 183 |

| | |
|--|-----|
| 3.5.3 Materiales | 183 |
| 3.5.4 Mano de Obra | 185 |
| 3.5.5 Equipos y Herramientas..... | 187 |
| 3.6 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS - ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS- | 188 |
| 3.7 EJERCICIOS..... | 192 |
| 3.7.1 Ejercicios resueltos | 192 |
| 3.7.2 Ejercicios propuestos | 227 |
| CONCLUSIONES | 228 |
| BIBLIOGRAFIA | 230 |
| ANEXO..... | 233 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1. Marco conceptual de la planeación.</i> | 5 |
| <i>Figura 2. Interrogantes que sirven de guía para una buena planeación.</i> | 7 |
| <i>Figura 3. Metodología para desarrollar la planeación.</i> | 14 |
| <i>Figura 4. Proceso.</i> | 16 |
| <i>Figura 5. La obra como un sistema.</i> | 22 |
| <i>Figura 6. Operaciones, procesos, tareas.</i> | 23 |
| <i>Figura 7. Modelo gráfico de procesos.</i> | 27 |
| <i>Figura 8. Modelo gráfico de procesos y tareas.</i> | 28 |
| <i>Figura 9. Modelo gráfico de tareas y actividades.</i> | 29 |
| <i>Figura 10. Técnicas y herramientas en la planeación.</i> | 37 |
| <i>Figura 11. Diagrama de afinidad para el proceso “Mampostería en ladrillo H-15”.</i> | 42 |
| <i>Figura 12. Diagrama de árbol para el proceso “Mampostería en ladrillo H-15”.</i> | 42 |
| <i>Figura 13. Diagrama de flujo para el “Acero” en el proceso de “Fundición de columnas”.</i> | 43 |
| <i>Figura 14. Histograma del consumo de concreto, cemento, ladrillo por semana para la construcción de una cabaña de descanso.</i> | 46 |
| <i>Figura 15. Diagrama de pareto.</i> | 48 |
| <i>Figura 16. Diagrama de causa – efecto.</i> | 49 |
| <i>Figura 17. Diagrama de causa - efecto para el proceso “Mampostería en ladrillo H-15”.</i> | 49 |
| <i>Figura 18. Diagrama de dispersión para el consumo de cemento por semana en la construcción de una cabaña de descanso.</i> | 50 |
| <i>Figura 19. Escenarios de la construcción.</i> | 53 |
| <i>Figura 20. Procesos y tareas administrativas.</i> | 55 |
| <i>Figura 21. Ciclo NECA para controlar.</i> | 66 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 22. Ciclo PEEA para mejorar.</i> | 67 |
| <i>Figura 23. Definición de límites para el proceso “Fundición de columnas”.</i> | 79 |
| <i>Figura 24. Definición de límites para el proceso “Frisado de muros”.</i> | 81 |
| <i>Figura 25. Definición de límites para el proceso “Enchape de baños”.</i> | 84 |
| <i>Figura 26. Diagrama de Gantt.</i> | 91 |
| <i>Figura 27. Esquema ilustrativo de los elementos de un diagrama de precedencias.</i> | 93 |
| <i>Figura 28. Relación Comienzo a Comienzo.</i> | 94 |
| <i>Figura 29. Relación Fin a Comienzo.</i> | 94 |
| <i>Figura 30. Relación Fin a Fin.</i> | 95 |
| <i>Figura 31. Relación Desfasada.</i> | 95 |
| <i>Figura 32. Tipo de relación entre actividades, diagrama de Nodos.</i> | 97 |
| <i>Figura 33. Modelo de Diagrama de Nodos.</i> | 98 |
| <i>Figura 34. Esquema ilustrativo de los elementos de un diagrama de Nodos.</i> | 99 |
| <i>Figura 35. Tipo de relación entre actividades, diagrama de Flechas.</i> | 100 |
| <i>Figura 36. Modelo de Diagrama de Flechas.</i> | 101 |
| <i>Figura 37. Esquema ilustrativo de los elementos de un diagrama de Flechas.</i> | 102 |
| <i>Figura 38. Tipos de Flechas.</i> | 103 |
| <i>Figura 39. Representación de la actividad ficticia.</i> | 104 |
| <i>Figura 40. Error #1 cometido en el diagrama de Flechas.</i> | 104 |
| <i>Figura 41. Error #2 cometido en el diagrama de Flechas.</i> | 105 |
| <i>Figura 42. Error #3 cometido en el diagrama de Flechas.</i> | 105 |
| <i>Figura 43. Modelo de Diagrama de Nodos para el ejemplo 5.</i> | 106 |
| <i>Figura 44. Modelo de Diagrama de Flechas para el ejemplo 5.</i> | 107 |
| <i>Figura 45. Modelo de Diagrama de Precedencias para el ejemplo 6.</i> | 108 |
| <i>Figura 46. Métodos de programación de tiempos.</i> | 110 |
| <i>Figura 47. Curva de distribución de probabilidades para las duraciones de una actividad.</i> | 117 |
| <i>Figura 48. Probabilidad de cumplir un tiempo programado T_S.</i> | 119 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 49. Modelo de Diagrama de Nodos para el ejemplo 8.</i> | 122 |
| <i>Figura 50. Modelo de Diagrama de Flechas para el ejemplo 8.</i> | 122 |
| <i>Figura 51. Diagrama de nodos con los tiempos tempranos de cada actividad. ...</i> | 130 |
| <i>Figura 52. Diagrama de nodos con los tiempos tardíos de cada actividad.</i> | 132 |
| <i>Figura 53. Diagrama de flechas con los tiempos tempranos de cada evento.</i> | 135 |
| <i>Figura 54. Diagrama de flechas con los tiempos tardíos de cada evento.</i> | 137 |
| <i>Figura 55. Diagrama de precedencias con los tiempos tempranos de cada actividad.</i> | 141 |
| <i>Figura 56. Diagrama de precedencias con los tiempos tardíos de cada actividad.</i> | 144 |
| <i>Figura 57. Diagrama de nodos con las holguras totales de cada actividad.</i> | 148 |
| <i>Figura 58. Diagrama de flechas con las holguras totales de cada actividad.</i> | 150 |
| <i>Figura 59. Diagrama de precedencias con las holguras totales de cada actividad.</i> | 151 |
| <i>Figura 60. Diagrama de nodos con la demarcación de la ruta crítica.</i> | 154 |
| <i>Figura 61. Diagrama de flechas con la demarcación de la ruta crítica.</i> | 155 |
| <i>Figura 62. Diagrama de precedencias con la demarcación de la ruta crítica.</i> | 156 |
| <i>Figura 63. Diagrama de nodos con los tiempos tempranos de cada actividad. ...</i> | 162 |
| <i>Figura 64. Diagrama de flechas con los tiempos tempranos de cada actividad. ...</i> | 163 |
| <i>Figura 65. Diagrama de nodos con los tiempos tardíos de cada actividad.</i> | 164 |
| <i>Figura 66. Diagrama de flechas con los tiempos tardíos de cada actividad.</i> | 165 |
| <i>Figura 67. Diagrama de nodos con la demarcación de la ruta crítica.</i> | 167 |
| <i>Figura 68. Diagrama de flechas con la demarcación de la ruta crítica.</i> | 167 |
| <i>Figura 69. Diagrama de precedencias con los tiempos tempranos de cada actividad.</i> | 169 |
| <i>Figura 70. Diagrama de precedencias con los tiempos tardíos de cada actividad.</i> | 171 |
| <i>Figura 71. Diagrama de precedencias con la demarcación de la ruta crítica.</i> | 172 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|------------|
| <i>Tabla 1. Procesos, tareas y actividades básicas para una vivienda.</i> | <i>34</i> |
| <i>Tabla 2. Simbología empleada en las cartas de proceso.</i> | <i>38</i> |
| <i>Tabla 3. Cantidades de concreto, cemento y ladrillo utilizados en la construcción de la cabaña de descanso.</i> | <i>45</i> |
| <i>Tabla 4. Matriz DOFA.</i> | <i>52</i> |
| <i>Tabla 5. Carta de procesos para el ejemplo 3 “Mampostería en ladrillo H-15”.</i> | <i>72</i> |
| <i>Tabla 6. Clasificación de actividades administrativas y productivas.</i> | <i>73</i> |
| <i>Tabla 7. Clasificación de actividades contributivas y de apoyo.....</i> | <i>74</i> |
| <i>Tabla 8. Clasificación de actividades contributivas y de apoyo para el proceso “Fundición de columnas”.....</i> | <i>78</i> |
| <i>Tabla 9. Carta de procesos para el proceso “Fundición de columnas”.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Tabla 10. Clasificación de actividades contributivas y de apoyo para el proceso “Frisado de muros”.....</i> | <i>81</i> |
| <i>Tabla 11. Carta de procesos para el proceso “Frisado de muros”.....</i> | <i>81</i> |
| <i>Tabla 12. Clasificación de actividades contributivas y de apoyo para el proceso “Enchape de baños”.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Tabla 13. Carta de procesos para el proceso “Enchape de baños”.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Tabla 14. Tipos de precedencias en el diagrama de nodos.....</i> | <i>99</i> |
| <i>Tabla 15. Errores que se pueden presentar en el diagrama de nodos.</i> | <i>100</i> |
| <i>Tabla 16. Matriz de precedencia para el ejemplo 5.</i> | <i>105</i> |
| <i>Tabla 17. Matriz de precedencia para el ejemplo 6.</i> | <i>108</i> |
| <i>Tabla 18. Cantidades de obra, rendimientos, cuadrillas de trabajo y duraciones para cada actividad que conforma el proceso “Fundición de muro de contención”.</i> | <i>113</i> |
| <i>Tabla 19. Matriz de precedencia para el ejemplo 8.</i> | <i>120</i> |

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla 20. Tiempos esperados, desviaciones estándar y varianzas del ejemplo 8.</i> | 121 |
| <i>Tabla 21. Probabilidad de ocurrencia para una duración del proceso de 30 días.</i> | 124 |
| <i>Tabla 22. Secuencia entre actividades del ejemplo 10.</i> | 125 |
| <i>Tabla 23. Secuencia entre actividades del ejemplo 11.</i> | 126 |
| <i>Tabla 24. Matrices de precedencia para el ejemplo 11.</i> | 126 |
| <i>Tabla 25. Matriz de precedencias para el ejemplo 16.</i> | 141 |
| <i>Tabla 26. Matriz de precedencia para el ejemplo 18.</i> | 148 |
| <i>Tabla 27. Holguras Totales para el ejemplo 18, mediante el diagrama de nodos.</i> | 149 |
| <i>Tabla 28. Holguras Totales para el ejemplo 18, mediante el diagrama de flechas.</i> | 151 |
| <i>Tabla 29. Holguras Totales para el ejemplo 19, mediante el diagrama de precedencias.</i> | 152 |
| <i>Tabla 30. Cantidades de obra, rendimientos, cuadrillas de trabajo y duraciones para cada actividad que conforma el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de Amarre”.</i> | 160 |
| <i>Tabla 31. Matriz de precedencia tipo 1. Para el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de Amarre”.</i> | 161 |
| <i>Tabla 32. Holguras Totales para el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de Amarre”, mediante el diagrama de nodos.</i> | 166 |
| <i>Tabla 33. Matriz de precedencia tipo 2. Para el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de Amarre”.</i> | 168 |
| <i>Tabla 34. Matriz de precedencias tipo 1. Para el proceso “Fundición de columnas”.</i> | 173 |
| <i>Tabla 35. Matriz de precedencias tipo 1. Para el proceso “Mampostería en ladrillo H-15”.</i> | 173 |

| | |
|--|-----|
| <i>Tabla 36. Matriz de precedencias tipo 2. Para el proceso “Fundición de columnas”.</i> | 174 |
| <i>Tabla 37. Matriz de precedencias tipo 2. Para el proceso “Mampostería en ladrillo H-15”.</i> | 175 |
| <i>Tabla 38. Formato de análisis de precios unitarios.</i> | 191 |
| <i>Tabla 39. Tipos de dosificaciones en volumen de concreto.</i> | 192 |
| <i>Tabla 40. Formato de análisis de precios unitarios para la “Preparación de Concreto”.</i> | 198 |
| <i>Tabla 41. Cantidad de Acero de refuerzo.</i> | 200 |
| <i>Tabla 42. Cantidad de Concreto.</i> | 200 |
| <i>Tabla 43. Cantidad de Formaleteado.</i> | 200 |
| <i>Tabla 44. WBS del proceso “Fundición de Columnas”.</i> | 201 |
| <i>Tabla 45. Recursos para el ítem de costo “Acero”.</i> | 202 |
| <i>Tabla 46. Recursos para el ítem de costo “Formaleteado”.</i> | 202 |
| <i>Tabla 47. Recursos para el ítem de costo “Concreto”.</i> | 203 |
| <i>Tabla 48. Recursos para el ítem de costo “Desformaleteado y Curado”.</i> | 203 |
| <i>Tabla 49. Rendimientos de equipos.</i> | 204 |
| <i>Tabla 50. Rendimientos de mano de obra.</i> | 204 |
| <i>Tabla 51. Consumo de materiales por unidad de obra de todo el proceso, por m³.</i> | 205 |
| <i>Tabla 52. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo “Acero A-60”.</i> | 208 |
| <i>Tabla 53. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo “Formaleteado”.</i> | 209 |
| <i>Tabla 54. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo “Concreto”.</i> | 210 |
| <i>Tabla 55. Formato de análisis de precios unitarios para el “Desformaleteado y curado”.</i> | 211 |
| <i>Tabla 56. Cantidad de Acero de refuerzo en las zapatas.</i> | 213 |

| | |
|--|------------|
| <i>Tabla 57. Cantidad de Acero de refuerzo en las vigas de amarre.</i> | <i>213</i> |
| <i>Tabla 58. Cantidad de mortero para los solados en las zapatas.</i> | <i>213</i> |
| <i>Tabla 59. Cantidad de mortero para los solados en las vigas de amarre.</i> | <i>214</i> |
| <i>Tabla 60. Cantidad de concreto para las zapatas.</i> | <i>214</i> |
| <i>Tabla 61. Cantidad de concreto para las vigas de amarre.</i> | <i>214</i> |
| <i>Tabla 62. Cantidad de suelo excavado para las zapatas.</i> | <i>215</i> |
| <i>Tabla 63. Cantidad de suelo excavado para las vigas de amarre.</i> | <i>215</i> |
| <i>Tabla 64. WBS del proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de amarre”.</i> | <i>216</i> |
| <i>Tabla 65. Recursos para el ítem de costo “Excavación”.</i> | <i>217</i> |
| <i>Tabla 66. Recursos para el ítem de costo “Acero”.</i> | <i>217</i> |
| <i>Tabla 67. Recursos para el ítem de costo “Solados”.</i> | <i>218</i> |
| <i>Tabla 68. Recursos para el ítem de costo “Concreto”.</i> | <i>218</i> |
| <i>Tabla 69. Rendimientos de equipos.</i> | <i>219</i> |
| <i>Tabla 70. Rendimientos de mano de obra.</i> | <i>219</i> |
| <i>Tabla 71. Consumo de materiales por unidad de obra de todo el proceso, por m³.</i> | <i>220</i> |
| <i>Tabla 72. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem “Excavación manual”.</i> | <i>223</i> |
| <i>Tabla 73. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo “Acero A-60”.</i> | <i>224</i> |
| <i>Tabla 74. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo “Solados”.</i> | <i>225</i> |
| <i>Tabla 75. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo “Concreto”.</i> | <i>226</i> |

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|---|------------|
| <i>Fotografía 1. Materiales.....</i> | <i>19</i> |
| <i>Fotografía 2. Métodos aplicados para realizar el proceso</i> | <i>19</i> |
| <i>Fotografía 3. Personal que opera el proceso.....</i> | <i>20</i> |
| <i>Fotografía 4. Equipos y maquinaria utilizada en el proceso.....</i> | <i>21</i> |
| <i>Fotografía 5. Medio ambiente que rodea el proceso.....</i> | <i>21</i> |
| <i>Fotografía 6. Actividades desarrolladas durante el proceso mampostería de ladrillo H-15.....</i> | <i>40</i> |
| <i>Fotografía 7. Actividades desarrolladas durante el proceso de “Fundición de columnas”.....</i> | <i>75</i> |
| <i>Fotografía 8. Actividades desarrolladas durante el proceso de “Frisado de muros”..</i> <i>.....</i> | <i>80</i> |
| <i>Fotografía 9. Actividades desarrolladas durante el proceso de “Enchape de baños”.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Fotografía 10. Actividades desarrolladas durante el proceso de “Fundición de zapatas y Vigas de amarre”.....</i> | <i>157</i> |
| <i>Fotografía 11. Preparación de concreto en obra, empleando mezcladora..</i> | <i>195</i> |

RESUMEN

TITULO: APOYO EN LABORES DE DOCENCIA Y ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN E INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN EL ÁREA DE GESTIÓN*

AUTOR: JOHN JAIRO SUÁREZ LAMUS**

PALABRAS CLAVES: Obra, procesos, operaciones, tareas, actividades, planeación, programación, estimación de costos.

DESCRIPCIÓN:

Una obra de construcción es constituida por diferentes procesos constructivos que a su vez son conformados por grupos de tareas que encierran actividades afines que emplean materiales, equipos, herramientas y cuadrillas de trabajo. La intención del texto de Construcción es servir de herramienta académica en la enseñanza de la gestión de la construcción.

El texto de Construcción se divide en tres capítulos denominados, planeación de procesos, programación de procesos y estimación de costos que engloban una serie de conceptos, modelos y metodologías que pretenden brindar al estudiante una aproximación de la realidad de las obras, esa en donde los materiales y elementos cobran vida. El presente trabajo también pretende crear en los lectores interés en las metodologías de gestión de obras, en crear interrogantes que motiven a desarrollar mejores planes de trabajo, nuevos procesos constructivos que conduzcan a administrar con mayor eficiencia los recursos involucrados y a incrementar los rendimientos que conlleven a disminuir los costos totales de realizar una obra civil.

Planear un proceso constructivo consiste en establecer sus límites, definir su alcance y la mejor metodología que permita alcanzarlo. Programar los diferentes tiempos que determinan la duración del proceso, conlleva a emplear Las metodologías de estimación del PERT y del CPM que sugieren tiempos basados en análisis estadísticos y determinísticos respectivamente. Estimar los costos del proceso implica definir detalladamente los diferentes recursos empleados y consumidos; al igual que sus precios actualizados y se realiza a través de la metodología de análisis de precios unitarios, basada en ítems de costo y en unidad de obra.

*Proyecto de grado

** Facultad de Ciencias Físico - mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: M. Sc. Guillermo Mejía Aguilar

ABSTRACT

TITLE: WORK IN SUPPORT OF TEACHING AND RESEARCH AND EXTENSION IN SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING MANAGEMENT IN THE AREA*

AUTHOR: JOHN JAIRO SUÁREZ LAMUS**

KEY WORDS: Work, processes, operations, tasks, activities, planning, programming, estimation of costs.

DESCRIPTION:

A building site consists of different construction processes, which in turn are made up of task forces that hold related activities that use materials, equipment, tools and work crews. The intention of the text of Construction is a tool in education of construction management

The text Construction of is divided into three sections called, process planning, scheduling and cost estimating processes that encompass a number of concepts, models and methodologies that claim to offer the student an approximation of the reality of the work, where such materials and come to life. This work also aims to create in the readers interest in management methodologies works, create questions that motivate the development of improved work plans, new construction processes that lead to more efficiently manage the resources involved and to increase yields leading to reduce the total costs of carrying out civil works.

Planning a constructive process is to set limits, define its scope and methodology to achieve better Schedule different times to determine the duration of the process leads to the use of estimation methodologies of the PERT and the CPM suggests that time based on statistical analysis and deterministic respectively. Estimating the costs of the process involves the detailed definition of the different resources used and consumed, as well as their prices are updated through the methodology of analysis of unit prices based on cost items and unit of work.

*Project of degree

** Physics-Mechanics Engineering Faculty, Civil Engineering School, Director: M. Sc. Guillermo Mejía Aguilar

INTRODUCCIÓN

Durante el transcurrir de su vida universitaria, el estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander –UIS-, es rodeado de un ambiente teórico, en el que prevalecen los cálculos matemáticos de cualquier estructura civil y se obvia o simplemente se deja a la imaginación la metodología, los recursos, el tiempo y el dinero que conlleva construir dichos elementos diseñados.

Por lo anterior, el presente trabajo de grado pretende ser una herramienta dinámica para los estudiantes de pregrado que se enfrentan por primera vez a las obras de construcción, ya que enseña de manera clara y sencilla los pasos necesarios para la apropiada gestión de cualquier obra civil. Con el propósito de analizar detalladamente las diferentes etapas de los Procesos Constructivos en una obra, el texto de Construcción se ha dividido en tres grandes capítulos denominados: Planeación, Programación y Estimación de Costos.

Planear un Proceso Constructivo sugiere definir de manera clara y objetiva desde donde se inicia hasta su terminación: tareas, actividades, metodologías y recursos necesarios para alcanzar lo propuesto. Formular estrategias tácticas y operativas conducen a desarrollar medios que brinden la oportunidad de realizar seguimiento a cada tarea involucrada dentro del proceso, a su vez pueden arrojar resultados que permitan controlar y mejorar cada actividad dentro del mismo.

La Programación de Tiempos, resulta ser de suma importancia en el resultado final de un proceso; ya que se establece una fecha de inicio y terminación a cada actividad, controlando así el tiempo de duración. Se estudiarán los métodos del CPM y PERT como herramientas de estimación de tiempos y se emplearán los

diagramas de redes y de precedencias como gráficos para determinar dichos tiempos. Un proceso que tarde más de lo presupuestado contribuye con disminución de utilidades económicas o con pérdidas en el valor total de la obra, sin olvidar que el factor económico es quien finalmente prevalece en la construcción de cualquier obra civil.

Estimar las cantidades de obra, la cantidad de materiales, el número de equipos y herramientas, la calidad y cantidad de personal requerido durante el proceso, dentro de las especificaciones técnicas requeridas, al igual que el valor económico de los anteriores recursos mencionados hacen parte de la Metodología de Análisis de Precios Unitarios, que sirve de herramienta para la estimación de los costos que conlleva realizar un Proceso Constructivo.

JUSTIFICACIÓN

La carencia de un material bibliográfico de fácil acceso a los estudiantes, impreso y actualizado que permita visualizar, investigar y reforzar los conocimientos en forma didáctica de temas aplicados en Gestión de la Construcción, es un factor importante que incide en la clara y apropiada obtención del conocimiento de los estudiantes que cursan la Asignatura de Construcción. Es importante implementar un texto guía para la asignatura de Construcción que brinde al alumno una herramienta Pedagógica y Metodológica, le permita explorar y trabajar con los conceptos y problemas que la administración de cualquier obra civil demanda, le permita revisar ejemplos y ejercicios con el propósito de despejar dudas surgidas en clase y le invite al desarrollo de nuevos y óptimos procesos de gestión, es una urgencia manifiesta de la Escuela.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Brindar apoyo en labores de docencia y actividades de extensión e investigación en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, específicamente en el área de Gestión.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

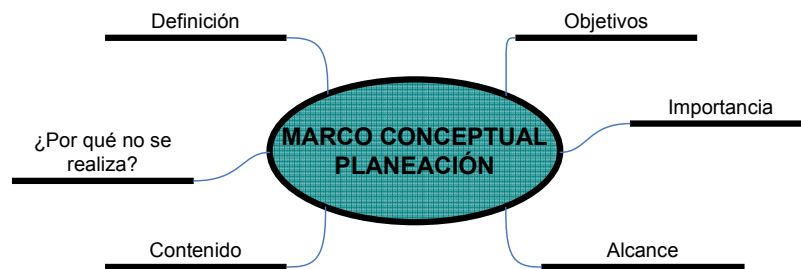
- Revisar y actualizar el texto guía para la asignatura de Construcción³. Los temas a revisar son: Planeación de procesos y operaciones, programación de procesos y estimación de costos de procesos en la construcción.
- Servir de apoyo en actividades generales que se presenten en el área de Gestión en la Escuela de Ingeniería Civil.

³ Construcción es el nombre de la asignatura de octavo nivel del nuevo pensum que reemplaza a la asignatura Construcción I.

1. PLANEACIÓN DE PROCESOS

1.1 MARCO CONCEPTUAL

Figura 1. Marco conceptual de la planeación.



Fuente: El Autor.

1.1.1 Definiciones acerca de la planeación

¿Qué es planear?

En los diccionarios, planear⁴ es un verbo, que significa trazar o formar el plan de una obra metódicamente organizado para obtener un objetivo determinado. Planear, consiste en tener una definición clara, desde donde se inicia hasta donde se quiere llegar y las tareas y actividades que se deben realizar para alcanzarlo. Para Serpell, "La planeación puede ser definida como la determinación de la metodología o camino que se va a utilizar para el cumplimiento de un objetivo específico"⁵.

⁴ Diccionario de la Lengua Española. Vigésima primera edición. Madrid. 1992. p.1147.

⁵SERPELL, Alfredo. Administración de operaciones de construcción. Segunda edición. México D.F. Alfaomega grupo editores S.A. p.81.

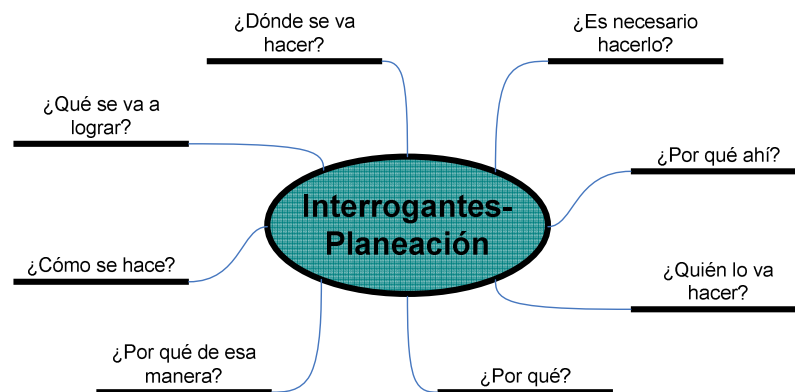
¿Cómo se desarrolla la planificación?

La planeación o planificación se desarrolla a través de un conjunto de actividades relacionadas y lógicas que deben realizarse como etapa de cualquier proceso, para cumplir las metas fijadas y satisfacer las demandas aprovechando de la mejor manera los recursos, entendiéndose también como la administración de recursos para producir bienes y/o servicios que ofrece una organización o empresa.

¿Qué implica la planeación?

Para brindar control e implementar esta metodología es necesario identificar los límites del proceso, su alcance y las actividades que lo componen, intentándoles dar un orden de ejecución, se debe mirar la capacidad del proceso y analizar dentro de las actividades empleadas cuáles de ellas son convenientes realizar dentro del proceso y cuáles delegarlas a otros sistemas, conociéndose esto como *integración vertical*, a manera de ejemplo en la construcción de un muro se analizaría por razones de costo, personal y tiempo si el mortero es mejor prepararlo en obra o adquirirlo ya hecho. A través de la planeación se busca brindar control a un proceso desde su inicio hasta su final, tener conocimiento de qué y cuánto se necesita para lograr un producto. En la planeación se deben dar respuesta a los siguientes interrogantes:

Figura 2. Interrogantes que sirven de guía para una buena planeación.



Fuente: El Autor.

1.1.2 Objetivos de la planeación

Objetivo general: Conocer de una manera casi precisa el resultado final que se debe alcanzar y tener claras las técnicas y estrategias que se deben utilizar para lograrlo.

Objetivos particulares:

- Recopilar y analizar información necesaria para identificar y solucionar problemas con el propósito de brindar soluciones oportunas, calcular riesgos y anticipar consecuencias.
- Definir detalladamente los procesos y actividades que contiene una obra como herramienta de ejecución y control, estableciendo prioridades, responsabilidades y asignando recursos, garantizando así el logro de los objetivos con eficacia.

- Formular estrategias tácticas y operativas que sean oportunas y específicas que permitan lograr las metas u objetivos.
- Garantizar la calidad y eficiencia del trabajo.

Estrategias para lograr los objetivos

Una planeación debe ser desarrollada bajo el establecimiento de objetivos que permitan conocer el buen funcionamiento del proceso y de la empresa; Para alcanzar estos objetivos se requiere implementar algunas estrategias como: *la flexibilidad, el tiempo, la calidad y el costo:*

Flexibilidad: Es la posibilidad de cambiar la forma de realizar el proceso en un momento determinado, incluyendo la variabilidad en la producción o rendimiento.

Tiempo: Es muy importante, por la responsabilidad que se adquiere con el cliente en la entrega oportuna del producto y con el control del rendimiento que debe tener los empleados según un estudio o estadísticas de tiempos habitualmente usados para determinada actividad.

Control de calidad: Debe ser realizado en el proceso, el producto, el personal y en todo aquello que involucre directamente la satisfacción de la demanda que se maneja en la construcción.

Costo: En el momento de diseñar y/o desarrollar un proyecto de construcción, el dinero disponible es el factor que predomina; el cliente puede tener una idea de lo que quiere pero según su solvencia económica puede hacer todo o parte de su sueño realidad. En la planeación se debe procurar bajar al máximo los costos en insumos garantizando siempre un buen producto.

1.1.3 Alcance de la planeación

Brindar una serie de herramientas que enuncien la metodología para elaborar un *plan de trabajo*, en el que se enseñe de manera ordenada y secuencial las fases de ejecución de una obra de construcción, se enuncien los distintos procesos que se necesitan para llevarla a cabo, el conjunto de tareas y actividades que requiere cada proceso constructivo e identificar las metodologías de seguimiento y control de cada una de estas actividades que facilitarán la evaluación del producto final entregado. La planeación **no** va medir ningún resultado tangible, tan solo identificará, enunciará y planeará la forma de transformar los insumos en productos, el control que se debe ejercer y todos los recursos y parámetros empleados para ello.

1.1.4 Importancia y beneficios de la planeación

- Sirve como base de referencia para el seguimiento y control.
- Permite definir la forma como se lleva a cabo una operación, los sistemas y procedimientos que ésta implica.
- Permite una utilización eficiente de los recursos y fortalece la posición del administrador frente a la transferencia de responsabilidades al personal de obra.
- Ofrece un mejoramiento en los sistemas productivos y operativos de una organización.
- Permite tener una visión clara, en tres etapas: inicial, durante y final. Las etapas de la planificación se pueden llevar a cabo realizando una evaluación de la capacidad actual y proyectándola hacia el futuro, haciendo

una estimación de las necesidades y lo que se quiere realizar, teniendo en cuenta qué se va hacer y la disposición para hacerlo, definiendo las alternativas, seleccionando la mejor e implementando los planes para llevarla a cabo.

- Permite minimizar costos y maximizar utilidades, con una mejor utilización de recursos que logran sostenimiento en el mercado y consolidación financiera.
- Logra minimizar costos de inventario, porque estableciendo una buena planeación se obtiene una clara medida del inventario que debe utilizarse, reduciendo así costos generales en la obra pues en cierta manera se reducen desperdicios de materiales que permanecen almacenados en vez de utilizarse.
- Reduce cambios en los niveles de producción, ya que se logra un mejor control sobre la productividad obtenida en cada obra.
- Minimiza cambios en el personal de trabajo, evitando improductividad, incremento en los gastos de entrenamiento y selección.
- Maximiza el servicio al cliente, viéndose reflejado en una mayor satisfacción de los dueños de la obra y los receptores finales del producto.
- Mejora el aprovechamiento del espacio en la obra.
- Logra una alta percepción de los acontecimientos futuros, previendo obstáculos para evitarlos a tiempo.

- Asegura que las actividades se realicen correctamente, en el lugar indicado, en el momento preciso y que efectivamente se ejecuten.

1.1.5 Contenido de la planeación

- Distribución en planta de las instalaciones: Dentro de la planeación de debe diseñar la distribución en planta de las instalaciones para la producción, brindando comodidad a los empleados y evitando el desperdicio de tiempo en transporte. Se puede hablar de un tipo de distribución en planta según el tipo de proyecto, por ejemplo en la industria de la construcción podemos hablar de una *distribución de planta fija* y una *distribución en planta por procesos*.

Distribución de planta fija: Recibe este nombre porque el producto, es decir, la obra no se mueve, los obreros y materiales se mueven en función de ella.

Distribución en planta por procesos: Recibe este nombre porque internamente la obra se maneja en procesos más pequeños en donde los materiales se van moviendo.

Manejar la distribución de planta mediante procesos, le brinda flexibilidad a la obra al permitir pequeños cambios en el método de trabajo o del producto que pueden ser controlados eficientemente.

- Descripción del proceso a montar
- Claridad en el alcance que se quiere obtener, esto se logra con la definición de sus objetivos.

- Montar un plan de trabajo con la definición de las actividades que intervienen en la elaboración del producto. Se debe dar una asignación de trabajo con una secuencia dada.
- Análisis de los métodos que serán usados para hacer un seguimiento al proceso, dejando claro cómo y cuando se desarrollarán, por ejemplo encuestas, muestreos y también en qué momento se tomarán las correcciones necesarias, sin olvidar que se habla de realizar procesos basados en la mejora continua. Es necesario tener en cuenta que el control depende además del tipo de materiales que se usan, de la compromiso e interés que el trabajador asuma; logrando que el empleado adopte un sentido de pertenencia con la empresa.
- Formulación de redes de actividades.
- Métodos de producción, consiste en dividir trabajo a realizar y en establecer sobre los tipos de mecanismos de coordinación de dicho trabajo.
- Planificación a corto plazo, es un método más dedicado inferior a quince días en los que se asigna trabajos, recursos, responsabilidades y objetivos.
- Factor calidad, influye directamente en el gusto del cliente por el producto y en la reducción de costos y aumento de formalidad.
- Métodos de trabajo, consiste en decidir sobre las mejores combinaciones de procesos en término de costos, calidad, eficiencia, mano de obra.

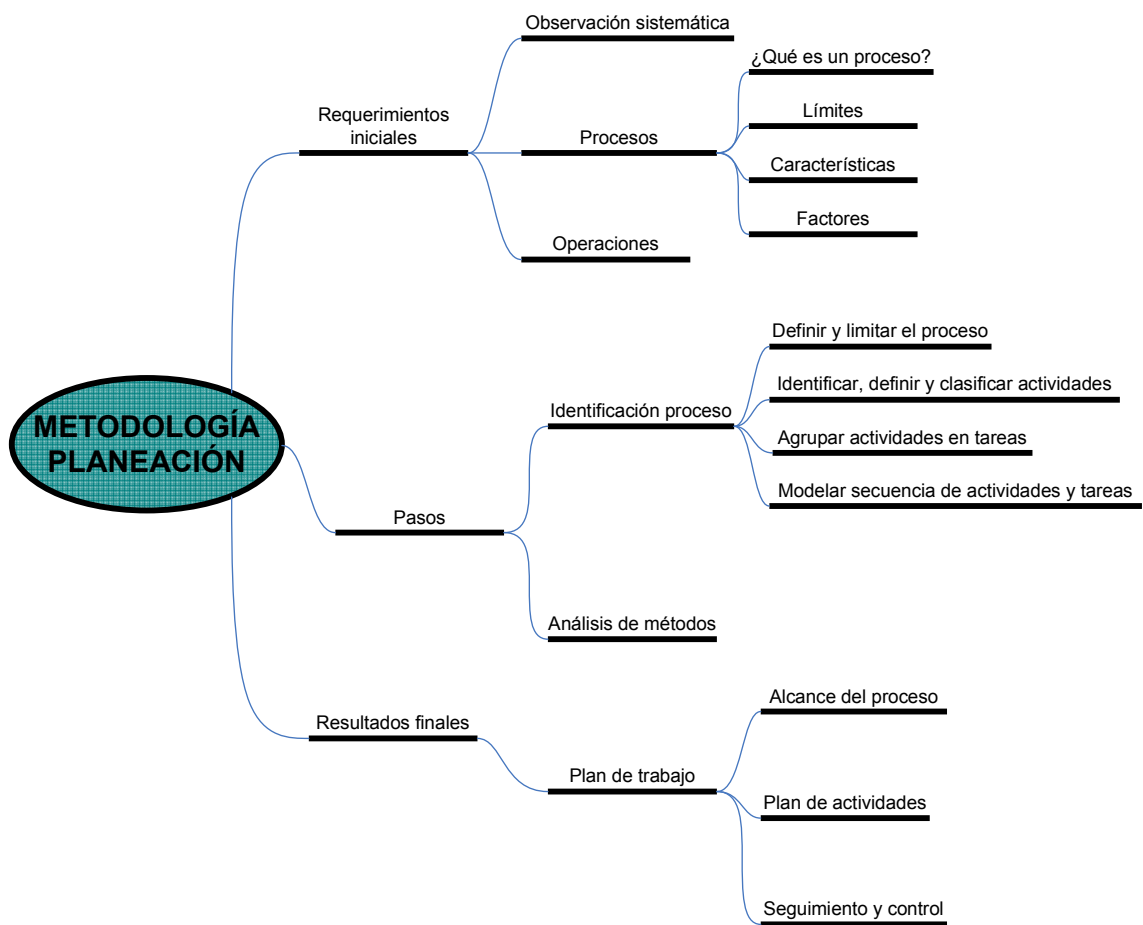
1.1.6 Razones porque se evita la planeación

- Limitado valor práctico: Algunos administradores, gerentes, empresarios, afirman que la planeación es demasiado teórica.
- Consume mucho tiempo: Algunos administradores aseguran que se malgasta el tiempo al no verse ningún producto final tangible.
- Muy costosa: Algunas empresas se oponen a gastar recursos diferentes a los procesos que generan el producto tangible.
- Pereza: Las personas no desean realizar el esfuerzo que genera reunirse a diseñar un plan de trabajo.
- Experiencia desagradable: Quizá por experiencias previas desagradables en el momento de formular un plan de trabajo o en los resultados que se obtuvieron.
- Exceso de confianza: Con el pasar del tiempo, las personas adquieren experiencia y por ende confían menos en la planeación formal.
- Miedo: Este sentimiento se experimenta por temor al fracaso, ya que el riesgo disminuye si no se lleva a cabo ninguna acción, y por temor a lo desconocido, porque las personas se sentirían inseguras con los nuevos sistemas de trabajo o con su habilidad para desarrollarlos.
- Demora las acciones: Las emergencias y apariciones súbitas de situaciones imprevistas demandan decisiones al momento.

- Ahoga la iniciativa: Se cree que la planeación obliga a las personas a ejecutar su trabajo de una manera rígida.

1.2 METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR LA PLANEACIÓN

Figura 3. Metodología para desarrollar la planeación.



Fuente: El Autor.

1.2.1 Requerimientos especiales

✓ Observación sistemática

- Este tipo de observación, se da bajo normas específicas sobre un campo debidamente delimitado y con una finalidad previamente definida.
- La observación sistemática debe desarrollarse en términos cuantitativos y puede ser de campo o de laboratorio; produce datos e información.
- La observación sistemática se realiza de acuerdo a una serie de criterios previamente establecidos. Dichos criterios se resumen en: a) la intención, b) el objeto, c) el sujeto, d) el procedimiento mental. A continuación se definirán cada uno de estos criterios:
 - **Intención:** Busca determinar cuál es el propósito o la voluntad de la actividad, tarea, proceso u obra a desarrollar.
 - **Objeto:** Es observar cuál es el fin o por qué se desarrolla la actividad, tarea, proceso u obra.
 - **Sujeto:** Consiste en analizar las personas, cuántas, qué características deben tener para llevar a cabo la ejecución de la actividad, tarea, proceso u obra.
 - **Procedimiento mental:** Consiste en imaginar la manera como se realizará el trabajo, los métodos a seguir, el movimiento de las personas, materiales para conseguir el objeto de lo que se está desarrollando.

✓ Procesos

¿Qué es un proceso?

Un proceso es definido como el conjunto de actividades relacionadas que al ser articuladas *transforman* unos *insumos* o recursos variables (entradas) en *productos* finales con valor (salidas); logrando definirse también como un sistema.

Figura 4. Proceso.



Fuente: El Autor.

Límites de un proceso

Los límites de un proceso determinan el área en la cual se desarrollará el proceso, se logrará el cumplimiento de los objetivos, y determinarán el alcance del proceso, desde donde inicia (límite inicial) hasta donde finaliza (límite final).

- **Límite inicial:** El inicio de un proceso es determinado por la culminación de un proceso previo, todo proceso inicia con una *actividad* que puede ser el final de un proceso anterior o una *actividad* independiente que marca el comienzo del conjunto de actividades que conforman el sistema como un proceso.

- **Límite final:** El fin de un proceso es determinado por la *última actividad* desarrollada en dicho proceso. Luego de terminado el proceso se abre paso a otros procesos, que sólo pueden comenzar si se ha terminado el proceso actual. Dentro de un sistema no puede iniciar un proceso sin que el proceso predecesor haya culminado totalmente.

Ejemplo 1. Definición de límites para el proceso “Fundición de columnas del primer nivel”.



Fuente: El Autor.

Características de un proceso

- **Flujo:** Procedimientos o técnicas empleadas para convertir los insumos o recursos (input = entradas) en productos con valor (salidas = output).
- **Efectividad:** Es directamente proporcional a la satisfacción generada en las necesidades del cliente y se relaciona con la calidad del proceso.
- **Eficiencia:** Tiene que ver con el uso acertado de los recursos para generar los productos.

- **Adaptabilidad:** Flexibilidad para cambiar cualquier expectativa propuesta por el cliente o por cualquier circunstancia influyente en el proceso (ambiental, económica, social, etc.).
- **Tiempo de ciclo:** Es el tiempo necesario para transformar los insumos en productos (entradas en salidas).
- **Costos:** Valor monetario de todo el proceso.

Factores que intervienen en los procesos

Durante la transformación de los insumos y recursos en productos intervienen ocho factores claves conocidos como las ocho emes, según Mariño Navarrete. p. 13.

- **Tipo de gerencia que guía el proceso (management):** Se refiere hacia el énfasis de la gerencia: puede ser una gerencia enfocada hacia la calidad, cantidad, las personas o respecto al estilo propio del gerente que puede ser democrático, autocrático o de la vista gorda (*laisse – faire*).
- **Materiales empleados (materials):** En cuanto a tipo, calidad, suministro a tiempo y cantidad de materiales empleados durante el proceso. Cualquier falla en este factor puede causar grandes retrasos de tiempo y pérdidas económicas.

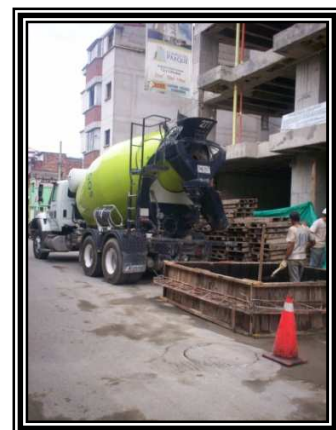
Fotografía 1. Materiales.



Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la asignatura construcción I.

- **Métodos de trabajo empleados durante el proceso (methods):** Son las prácticas utilizadas para desarrollar el proceso; todos los trabajadores que intervienen con el proceso deben tener clara la metodología que rige su trabajo, la manera de ejecutar las actividades y los procedimientos que permiten obtener el producto final.

Fotografía 2. Métodos aplicados para realizar el proceso.



Fuente: Fotografías tomadas por alumnos de la asignatura construcción I.

- **Personal que opera el proceso (manpower):** Características como experiencia y conocimiento en el área de desempeño del personal que va trabajar; éstas personas deben estar dispuestas a aprender nuevos conceptos, utilizar nuevas herramientas y tecnología apropiada con el propósito de incrementar la productividad, la competitividad y mejorar la calidad de los resultados en obra.

Fotografía 3. Personal que opera el proceso.



Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la asignatura construcción I.

- **Equipos y maquinaria utilizados (machines):** Es importante emplear equipos y maquinaria en buen estado, con tecnología apropiada, que brinden seguridad y rendimiento para desarrollar el proceso con una mayor productividad.

Fotografía 4. Equipos y maquinaria utilizada en el proceso.



Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la asignatura construcción I.

- **Medio ambiente (enviromental media):** Incluye conceptos como ahorro del agua, contaminación auditiva, visual, conservación del aire, las condiciones de riesgo profesional como accidentes de trabajadores, enfermedades, entre otros.

Fotografía 5. Medio ambiente que rodea el proceso.



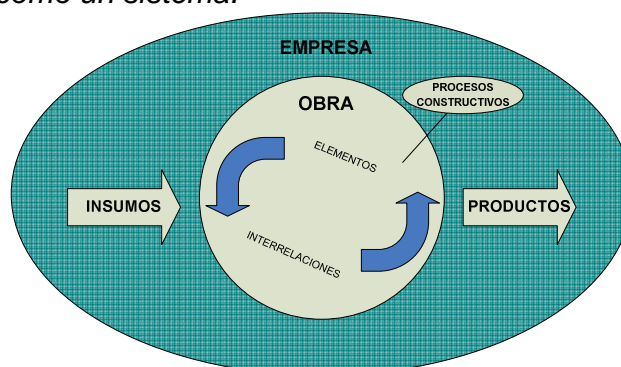
Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la asignatura construcción I.

- **Factor económico (money):** Valor monetario de los recursos (materiales, equipos, mano de obra) empleados para la transformación de insumos en productos. También se deben realizar estudios económicos que permitan saber con cuánto dinero se dispone para desarrollar el proceso.
- **Sistema utilizado para la medición de resultados del proceso (measurements):** Se refiere a los sistemas que controlan, supervisan y miden la eficiencia, calidad y el trabajo efectuado en la obtención del producto final; es desarrollado por supervisores, interventores, auditores internos y externos, etc. Con el propósito de tomar medidas correctivas y conocer en qué se está trabajando erradamente.

✓ Operaciones

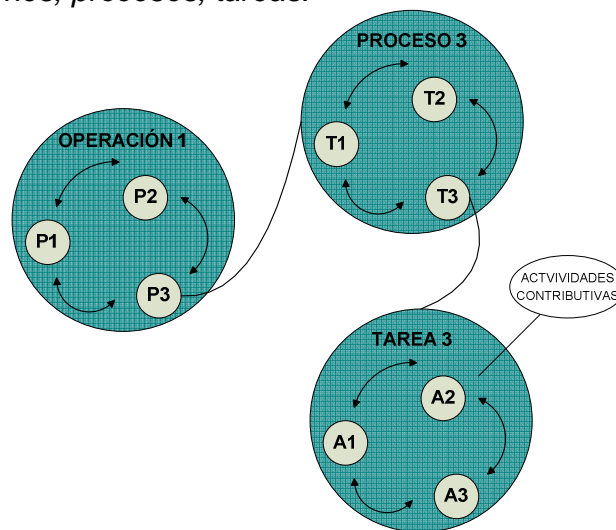
Se puede definir una operación como un conjunto de procesos que mantienen alguna afinidad entre sí. Por ejemplo los procesos constructivos como: “Fundición de zapatas”, “Fundición de columnas”, “Fundición de vigas” son *procesos* que tienen como afinidad ser de concreto y brindar soporte estructural a una vivienda; estos procesos podrían agruparse en una *operación* denominada “Estructuras de soporte”.

Figura 5. La obra como un sistema.



Fuente: Escuela de Ingeniería Civil. Gma.

Figura 6. Operaciones, procesos, tareas.



Fuente: Escuela de Ingeniería Civil. Gma.

1.2.2 Pasos

- ✓ **Identificación del proceso**

Definición del proceso:

- **WBS (Work breakdown structure):** Estructura desagregada de tareas, consiste en definir el proceso a desarrollar o a trabajar, definir las tareas que requieren y a su vez desagregar estas tareas en las actividades necesarias para poder ser efectuadas. Responde al interrogante ¿Qué tareas y actividades conforman el proceso?
- **Programa de tiempos:** Consiste en estimar la duración de cada actividad, tarea y proceso; de acuerdo a datos estadísticos o mediciones en obra. Responde al interrogante ¿Cuánto demora ejecutar el proceso?

- **Programa de presupuestos:** Intenta estimar el precio económico del proceso. Responde al interrogante ¿Cuánto cuesta ejecutar el proceso?
- **Límite predecesor y sucesor:** Consiste en definir qué proceso o actividad precede al proceso bajo estudio y qué proceso o actividad sucede o continúa después del proceso bajo estudio.

Identificar, definir y clasificar actividades:

Actividad: Una actividad es una acción o conjunto de acciones realizadas con procedimiento, con regularidad y planeación, que requieren la capacidad de un grupo de trabajo y que de manera articulada con otras actividades constituyen las tareas que conforman la estructura de trabajo de las obras.

Definir las actividades requeridas para el proceso, según:

- **Objetivos y metas:** De acuerdo al objetivo del proceso y a su alcance, se pueden definir las actividades.
- **Productos y subproductos:** Según lo que se quiera producir, la forma para lograrlo, la cantidad de productos y subproductos, se pueden definir las actividades. Por ejemplo construir un muro con ladrillo a la vista no requiere las mismas actividades que entregar el muro pintado; este último necesita de un pañete y friso sobre el ladrillo que logre una superficie lisa apta para la pintura.
- **Transformación y manipulación de material:** Las actividades pueden variar de acuerdo al sistema empleado para transformar o manejar el material; no requieren las mismas actividades fundir una losa con concreto hecho en obra a fundir una losa con concreto traído de una planta.

Clasificar las actividades en:

- **Administrativas / Productivas**

Las Actividades Administrativas son aquellas que permiten modificar los procesos a través de un nuevo direccionamiento y son efectuadas por la gerencia del proyecto.

Las Actividades Productivas transforman insumos o recursos en productos tangibles y se utilizan para la representación de la programación del proceso. Su resultado final es cantidad de obra ejecutada. Pueden clasificarse en *Operaciones, Procesos, Tareas*

- **Tareas / Procesos**

La Tarea es la actividad productiva básica del proceso constructivo, es el concepto unitario de trabajo; es conformada por un grupo de *actividades afines*.

El Proceso es un conjunto de tareas afines que a su vez contienen un grupo de actividades afines.

- **Contributivas / No contributivas**

Dentro de las *actividades productivas* se encuentran las actividades contributivas que son esenciales para el desarrollo del proceso y las actividades no contributivas que no son esenciales para el desarrollo del proceso.

- **Agregan valor / Sirven de apoyo**

Las actividades contributivas son actividades que agregan valor al proceso, es decir contribuyen de manera directa a la producción y las actividades de apoyo son aquellas que deben realizarse para que el trabajo productivo pueda llevarse a cabo.

Ejemplos:

Actividades no contributivas: Caminar de un lado a otro, tomar gaseosa, hablar.

Actividades de apoyo: recoger escombros, descargar materiales, limpiar el espacio.

Actividades que agregan valor: Colocación de ladrillos, armado de refuerzo.

Agrupar actividades en tareas:

Una vez clasificadas las actividades, se procede a agrupar éstas actividades en tareas, teniendo en cuenta que las actividades se relacionen entre sí de alguna manera; para ello se debe seguir el siguiente procedimiento

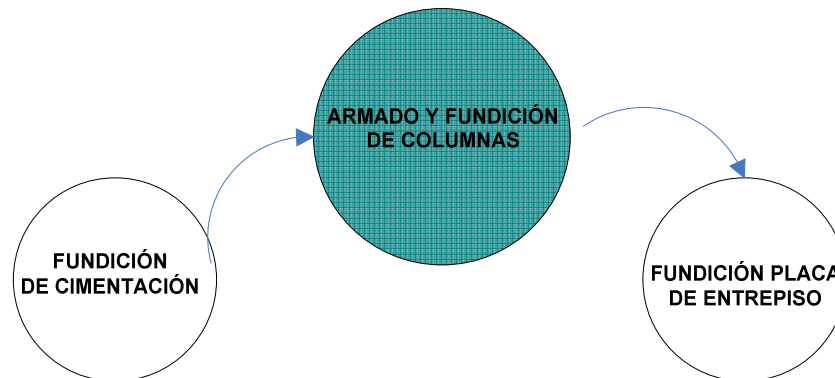
- **Definir actividades productivas:** Tener en cuenta solo las actividades que agregan valor al proceso, las actividades de apoyo necesarias y omitir las actividades no contributivas ya que no son esenciales para la producción.
- **Agrupar actividades de apoyo:** Todas las actividades de apoyo necesarias escogidas se deben agrupar en torno o alrededor de las actividades que agregan valor para establecer las tareas.

- **Agrupar tareas:** Una vez elegidas y clasificadas las tareas que agregan valor, sus tareas de apoyo necesarias; se agrupan en torno o alrededor del proceso ya definido para analizar.

Modelar secuencia de actividades y tareas:

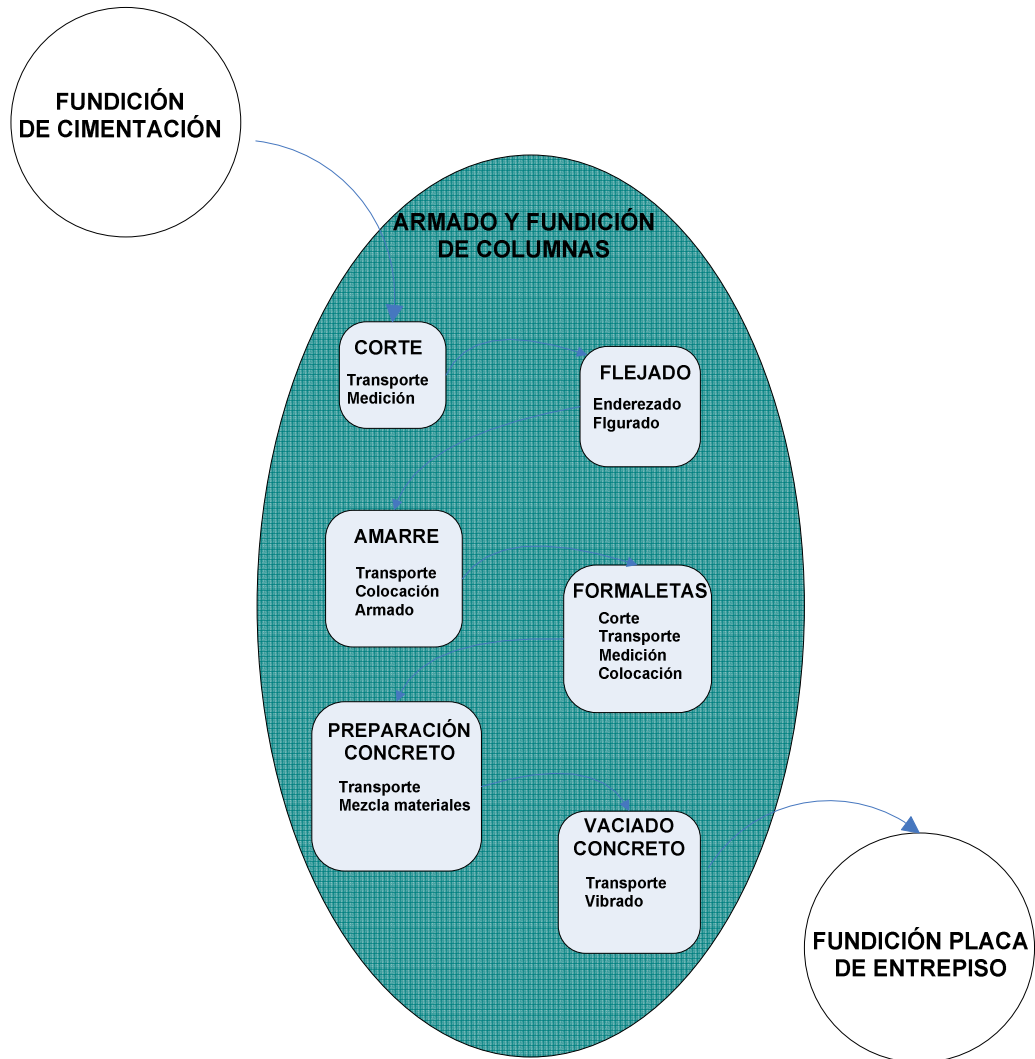
Una manera fácil y dinámica de observar la secuencia en que el proceso se desarrolla; es decir, los insumos o recursos se transforman para convertirse en productos tangibles es a través de modelos gráficos, donde interactúan las actividades, las tareas, los procesos mediante fotografías, flechas, imágenes, que hacen de una manera práctica ver lo que está sucediendo en la obra.

Figura 7. Modelo gráfico de procesos.



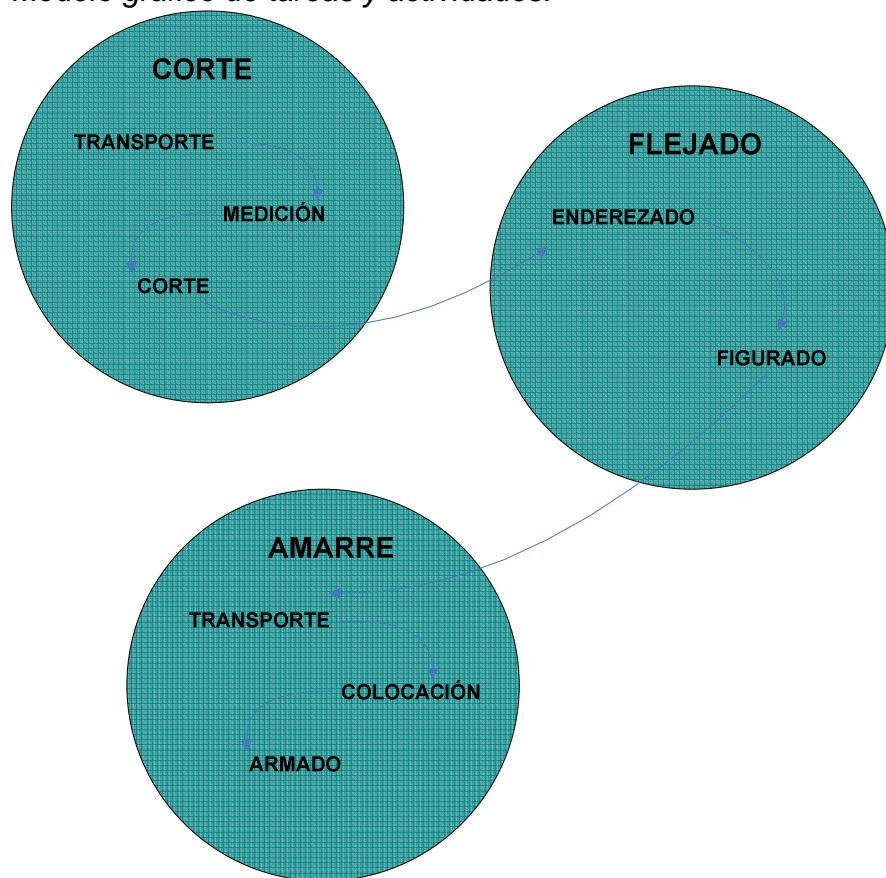
Fuente: El Autor.

Figura 8. Modelo gráfico de procesos y tareas.



Fuente: El Autor.

Figura 9. Modelo gráfico de tareas y actividades.



Fuente: El Autor.

✓ Análisis de métodos

Para analizar otras alternativas de tareas y actividades necesarias para llevar a cabo el proceso, se deben seguir los siguientes pasos:

- Identificar y definir alternativas
- Analizar criterios de selección
- Evaluar alternativas
- Seleccionar método apropiado

Consiste en analizar otras alternativas, un nuevo conjunto de tareas y actividades que logren el mismo objetivo pero que puedan desarrollarse mediante una metodología distinta que quizá pueda ofrecer un ahorro en tiempo, dinero, mano de obra, consumo de recursos, etc. Para luego con criterio de eficiencia seleccionar la mejor.

1.2.3 Resultados finales

✓ **Elaboración del plan de trabajo**

El plan de trabajo como herramienta de planificación, permite identificar, definir, ordenar y sistematizar información para que pueda tenerse una visión general del trabajo a realizar y así poder formular: objetivos, metas, actividades, procedimientos, recursos, responsabilidades y cronograma de actividades. Permite definir estrategias de ejecución, seguimiento y control de los procesos a desarrollar.

Alcance del proceso:

El alcance del proceso abarca el trabajo que debe realizarse para entregar un producto, servicio o resultado final, con las funciones y características especificadas; se debe definir y describir con detalle los productos entregables del proceso, así como el trabajo requerido para crear tales productos.

- **Definición:** *Definir* el proceso y asignarle el *nombre* más adecuado, de tal manera que facilite la comunicación.
- **Delimitación:** Delimitar el proceso consiste en definir cuándo empieza (límite inicial) y cuándo termina (límite final); también en este paso se

identifica el límite predecesor que le da paso al proceso en estudio y el límite sucesor que es el proceso que inicia al finalizar el proceso en estudio.

- **Requerimientos y características del producto final:** Identificar y definir qué requiere y cuáles son las características que debe tener el producto final son tareas que demandan un análisis detallado del producto a entregar. Por ejemplo al trabajar el proceso de “fundición de columnas” se necesita saber qué resistencia debe tener el concreto, 3000psi, 2500psi u otra.
- **Condiciones requeridas para comenzar el proceso:** Consiste en identificar y definir las características y condiciones necesarias para darle inicio al proceso, por ejemplo en un “proceso de excavación”, se debe esperar a que las condiciones ambientales sean favorables, que las lluvias no sean prolongadas y fuertes porque impedirían un eficiente trabajo de excavación o para el “proceso de fundición de columnas” es necesario tener totalmente armado el refuerzo y formateado el espacio a fundir para poder iniciarlo.

Plan de actividades:

- **Procedimiento paso a paso:** Describir el procedimiento de transformación de los insumos a productos, requiere desglosar con mucho detalle cada paso productivo necesario para finalizar el producto.
- **Clasificación de actividades:** Analizar cada actividad requerida en el proceso, agregarle valor o grado de contribución y posteriormente clasificarla en tareas según la afinidad que las relacione.

- **Estructura desagregada de tareas y procesos:** Consiste en responder el interrogante ¿Qué tareas y actividades conforman el proceso? Las tareas requieren: Definición del alcance (límites), descripción del procedimiento (forma de ejecutar las actividades), definición de recursos (materiales utilizados, equipos necesitados y mano de obra empleada), indicar el lugar apropiado y el momento propicio para desarrollar las tareas, definición de condiciones de costo y tiempo, definición de parámetros de costo y tiempo.
- **Relación de precedencias:** Consiste en asignar un orden a la ejecución de las actividades dentro de una tarea y en relacionar las tareas de acuerdo también a un orden de ejecución dentro de un proceso. Responde a interrogantes como ¿Qué actividad continua o sucede a la que se está realizando?, ¿Qué actividad precede a la actividad que da inicio a el proceso?, luego de esta tarea ¿cuál sigue? Por ejemplo la preparación del concreto precede al vaciado del mismo y sucede al formateado en el proceso de fundición de columnas.
- **Modelo gráfico:** Son diagramas que permiten plasmar sobre el papel el movimiento o recorrido que hacen los recursos (materiales, equipos, mano de obra) durante la transformación de los insumos en productos, enseñan de manera dinámica y fácil la relación de precedencias de actividades y tareas requeridas para llevar a cabo el proceso. Más adelante en el capítulo 3.4 Técnicas y herramientas se estudiará con detalle estos gráficos.

Seguimiento y control:

El seguimiento y control del proceso es la última etapa que debe ir contenida en el *plan de trabajo*, esta etapa será objeto de estudio detallado más adelante. Debe contener los siguientes ítems:

- Definir los indicadores e índices del proceso (tiempo y costo).
- Priorizar las actividades a controlar.
- Realizar mediciones y datos.
- Procesar y analizar información.
- Tomar decisiones y acciones oportunas cuando se identifiquen desviaciones.

Ejemplo 2. Planeación del proyecto correspondiente a la construcción de una casa.

La construcción de una vivienda de un solo nivel acarrea una serie de procesos constructivos, el acertado desglose de estos procesos y la apropiada definición de las actividades necesarias para llevarlos a buen término permiten planear la obra y observar los resultados tangibles que se esperan de ella. A continuación se presentará una tabla que enseña algunos procesos constructivos, tareas y actividades que hacen parte de la obra negra de una vivienda de un solo nivel.

Tabla 1. Procesos, tareas y actividades básicas para una vivienda.

| PROYECTO: OBRA NEGRA DE UNA VIVIENDA DE UN SOLO NIVEL | | | |
|---|------------------------|-----------------------------------|---|
| OPERACIONES | PROCESOS | TAREAS | ACTIVIDADES |
| PRELIMINARES | | Localización | Medición del terreno |
| | | | Demarcación de los límites de la vivienda |
| | | Descapote y Replanteo del terreno | Desmante del lote |
| | | | Nivelación topográfica |
| | | | Limpieza y retiro de material |
| | | | Demarcación de las divisiones de la casa |
| | | Excavación manual | Corte manual |
| | | | Acarreo interno |
| | | Relleno | Relleno con recebo |
| | | | Acarreo interno |
| CIMENTACIONES | ZAPATAS | Excavación manual | Corte manual |
| | | | Acarreo interno |
| | | Solados | Preparación del solado |
| | | | Vaciado del solado |
| | | Acero de refuerzo | Corte y figurado acero |
| | | | Amarre del acero |
| | | Fundición de las zapatas | Preparación del concreto |
| | | | Transporte interno |
| | | | Vaciado del concreto |
| | Curado | Aplicación de aditivos | |
| | Relleno | Compactación manual | |
| | VIGAS DE AMARRE | Excavación manual | Corte manual |
| | | | Acarreo interno |
| | | Solados | Preparación del solado |
| | | | Vaciado del solado |
| | | Acero de refuerzo | Corte y figurado acero |
| | | | Amarre del acero |
| | | Fundición de las vigas de amarre | Preparación del concreto |
| Transporte interno | | | |
| Vaciado del concreto | | | |
| Curado | Aplicación de aditivos | | |
| Relleno | Compactación manual | | |

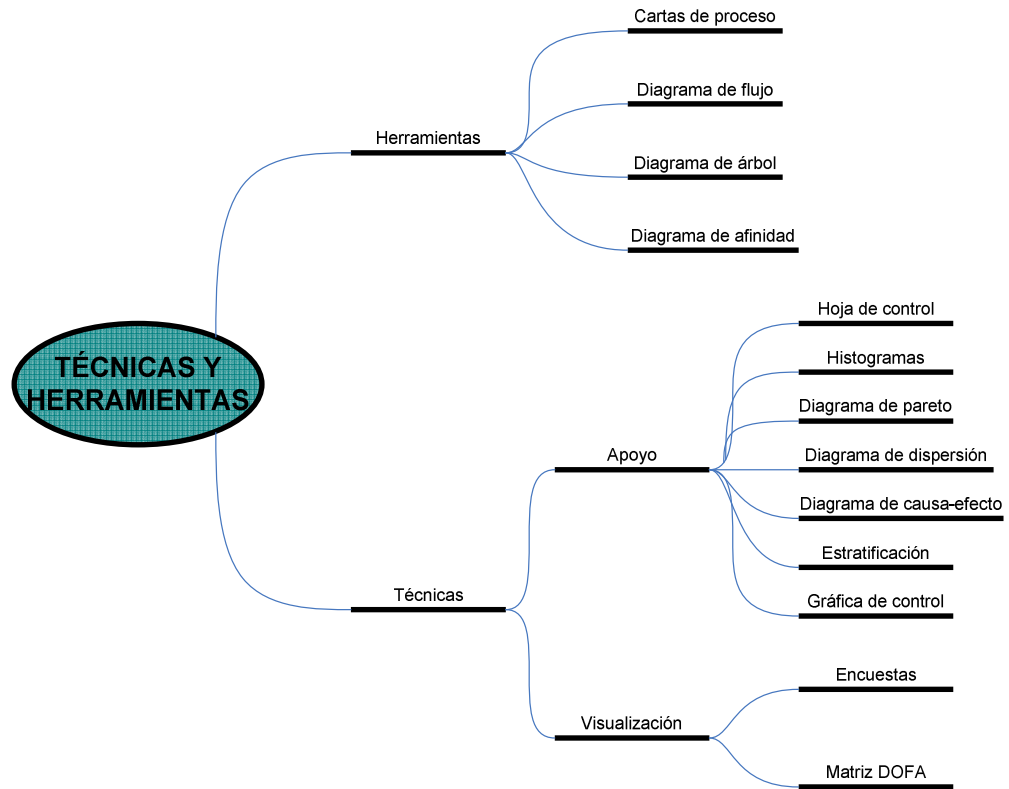
Fuente: El Autor.

| | | | |
|---------------------------------|---|--------------------------------|--|
| ESTRUCTURAS DE SOPORTE | COLUMNAS | Acero de refuerzo | Corte y figurado acero |
| | | | Amarre del acero |
| | | Replanteo de ejes | Medición de distancias |
| | | Armado columna | Armado de la columna |
| | | Formaleteado | Fabricación de tableros |
| | | | Instalación de formaletas |
| | | Fundición de las columnas | Preparación del concreto |
| | | | Transporte interno |
| | | | Vaciado del concreto |
| | | | Vibrado del concreto |
| | Ajuste de verticalidad | Ajuste de verticalidad | |
| | Desformateado | Retiro manual de formaletas | |
| | Curado | Aplicación de aditivos | |
| | VIGAS | Acero de refuerzo | Corte y figurado acero |
| | | | Amarre del acero |
| | | Armado de la viga | Armado de la viga |
| | | Formaleteado | Fabricación de tableros |
| | | | Instalación de formaletas |
| | | Fundición de las vigas aéreas | Preparación del concreto |
| Transporte interno | | | |
| Vaciado del concreto | | | |
| Vibrado del concreto | | | |
| Desformateado | Retiro manual de formaletas | | |
| Curado | Aplicación de aditivos | | |
| MUROS DE MAMPOSTERÍA | MAMPOSTERIA EN LADRILLO H-15 (Muros de cerramiento) | Preliminares de la mampostería | Transporte interno de ladrillos |
| | | | Demarcación de ejes con cimbra y metro |
| | | Armado del muro | Preparación del mortero |
| | | | Mortero de nivelación |
| | | | Pega de ladrillo |
| | Verificación de nivel y plomada | | |
| | Aseo y limpieza | Retiro de mortero sobrante | |
| | MAMPOSTERIA EN LADRILLO H-10 (Muros divisorios) | Preliminares de la mampostería | Transporte interno de ladrillos |
| | | | Demarcación de ejes con cimbra y metro |
| | | Armado del muro | Preparación del mortero |
| Mortero de nivelación | | | |
| Pega de ladrillo | | | |
| Verificación de nivel y plomada | | | |

| | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| CUBIERTA | TEJA DE ASBESTO CEMENTO | Instalación de cerchas | Amarre y elevación |
| | | | Anclaje en columnas |
| | | Instalación de correas | Elevación de correas |
| | | | Alineación de correas sobre cerchas |
| | | | Anclaje de correas |
| | | Instalación de tejas | Elevación y alineación |
| | | | Anclaje a la correa |
| | | | Instalación de caballetes |
| | | INSTALACIONES | INSTALACIÓN SANITARIA Y PLUVIAL |
| Instalación de tubería Sanitaria | Medición y corte de la tubería | | |
| | Empalme de accesorios y tubería P.V.C | | |
| Cajas de inspección | Fabricación de formaletas | | |
| | Colocación de formaletas | | |
| | Preparación del mortero | | |
| | Vaciado del mortero | | |
| Relleno de zanjas | Compactación manual | | |
| Instalación de aguas lluvias | Instalación canaleta de aguas lluvias | | |
| | Medición y corte de la tubería P.V.C | | |
| | Empalme de accesorios y tubería | | |
| Acometida | Empalme de redes con alcantarillado | | |
| INSTALACIÓN HIDRÁULICA | Acometida | | Empalme con red matriz |
| | | | Instalación medidor de agua |
| | Adecuación inicial | | Replanteo y excavación de zanjas |
| | | | Rompimiento de paredes |
| | Instalación de tubería | | Medición y corte de la tubería P.V.C |
| | | | Empalme de accesorios y tubería P.V.C |
| Adecuación final | Compactación manual | | |
| | Resane de paredes | | |
| INSTALACIÓN ELÉCTRICA | Acometida | Instalación de contador | |
| | Cableado eléctrico | Instalación de ductos eléctricos | |
| | | Instalación del cableado dentro de ductos | |
| | | Ubicación de salidas eléctricas | |
| | | Colocación de elementos eléctricos | |
| PISOS | Base | Transporte interno | |
| | | Instalación de base, recebo arenoso | |
| | Fundición del piso | Preparación del concreto simple | |
| | | Transporte interno | |
| | | Vaciado del concreto simple | |

1.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS

Figura 10. Técnicas y herramientas en la planeación.



Fuente: El Autor.

¿Qué son?


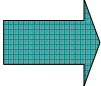
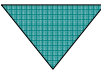
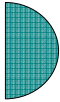

Estas herramientas y técnicas son croquis, ya sean distribuidos en el espacio, como recorrido que haga un material o en el tiempo con la secuencia de las tareas y actividades y sirven como guía para asegurar la calidad de un producto y el cumplimiento de la planeación.

1.3.1 Herramientas⁶

Cartas de proceso:

Están conformadas por una serie de símbolos que representan cada parte del proceso y que correctamente enlazados realizan la secuencia establecida para la ejecución de una operación.

Tabla 2. Simbología empleada en las cartas de proceso.

| ACTIVIDAD | SÍMBOLO | INTERPRETACIÓN |
|----------------|---|---|
| OPERACIÓN |  | Procedimiento - Actividad. Es un paso definido en un proceso, generalmente produce cambios. |
| TRANSPORTE |  | Desplazamiento. Cualquier movimiento de obreros, materiales o equipos. |
| ALMACENAMIENTO |  | Almacenamiento planificado y autorizado, que es controlado |
| DEMORA |  | Demora no prevista, generalmente temporal, producto de una secuencia poco apropiada, o del que no se logró una coordinación entre los pasos de la operación |
| INSPECCIÓN |  | Actividad de Control de calidad o verificación de cantidades, medidas, peso, etc. |

Fuente: *Administración de operaciones de construcción. Serpell. Op. Cit. P. 90.*

⁶ SERPELL, Alfredo. Administración de operaciones de construcción. Segunda edición. México D.F. Alfaomega grupo editores S.A. p.90.

Diagrama de flujo:

Están conformadas por una serie de símbolos que representan cada parte del proceso y que correctamente enlazados realizan la secuencia establecida para la ejecución de una operación o el recorrido dentro de la obra de un material importante.

Diagrama de afinidad:

Organiza la información reunida en sesiones de lluvia de ideas (Brainstorming), que se obtienen dándole participación a el personal involucrado en el proyecto, para que aporten sus ideas; Los trabajadores de la obra, expresarán sus opiniones sobre cada una de las actividades que deben realizarse y posteriormente basados en obras similares realizadas decidirán cuáles de ellas se efectuarán, para así conformar cada uno de los procesos contenidos en el proyecto.

Diagrama de árbol:

Representa gráficamente las tareas necesarias para realizar un proceso y las actividades que a su vez conforman cada tarea.

Ejemplo 3. Proceso de Mampostería en ladrillo H-15.

La mampostería en ladrillo H-15, es utilizada preferiblemente para muros divisorios, estos soportan su propio peso y sirven además para darle rigidez a los muros de carga. Para que no se volteen estos muros, deben estar adheridos a la estructura (losa, techo o muros cargueros), con mortero de pega en los bordes de contacto y deben tener un grueso mínimo de 10cms. Las siguientes son las actividades desarrolladas durante el proceso:

- Bodegaje del material en obra.
- Transporte interno de material.
- Replanteo.
- Preparación del mortero.
- Mortero de nivelación.
- Colocación del ladrillo.
- Verificación de nivel y plomada.
- Terminación del muro.
- Limpieza del muro.

Fotografía 6. Actividades desarrolladas durante el proceso mampostería de ladrillo

H-15.



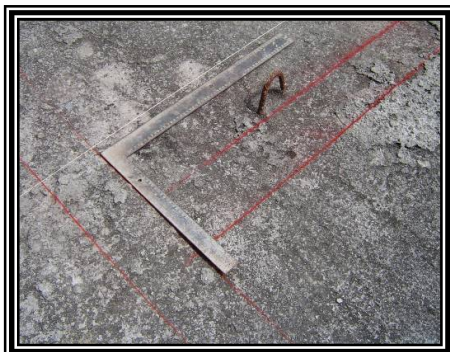
1. BODEGAJE DEL LADRILLO

- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



2. TRANSPORTE INTERNO LADRILLO

- ✓ Equipos: Carretilla
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



3. REPLANTEO

- ✓ Equipos: Cimbra, metro y escuadra.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



4. PREPARACIÓN MORTERO DE PEGA

- ✓ Materiales: Cemento, arena, agua.
- ✓ Equipos: Palustre, batea, balde.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



5. MORTERO DE NIVELACION

- ✓ Materiales: Mortero de Pega.
- ✓ Equipos: palustre, batea, balde, regla e hilo.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



6. COLOCACION DE LADRILLO

- ✓ Materiales: Mortero de Pega y ladrillo.
- ✓ Equipos: palustre, batea, balde, pala, elevador, plomada y nivel.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



7. VERIFICACIÓN DE NIVEL Y PLOMADA

- ✓ Materiales: Mortero de Pega, y ladrillo.
- ✓ Equipos: Plomada, nivel, hilo y cinta métrica.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



8. TERMINACION DE MURO

- ✓ Materiales: Mortero de Pega, y ladrillo.
- ✓ Equipos: palustre, batea, balde, pala, regla, plomada y nivel.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)

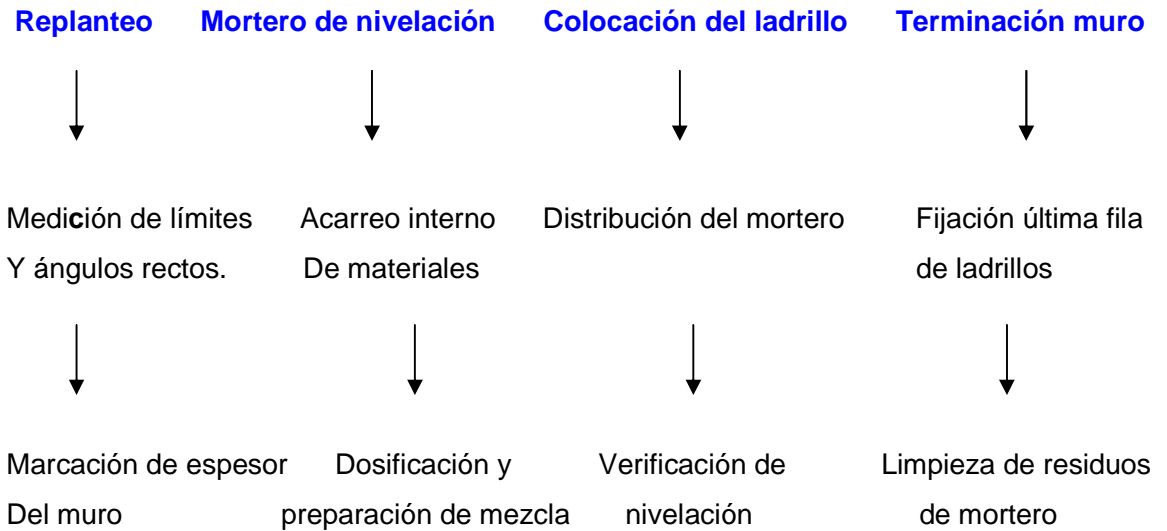


9. LIMPIEZA DEL MURO

- ✓ Equipos y materiales: Palustre, esponja, bayetilla y agua.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)

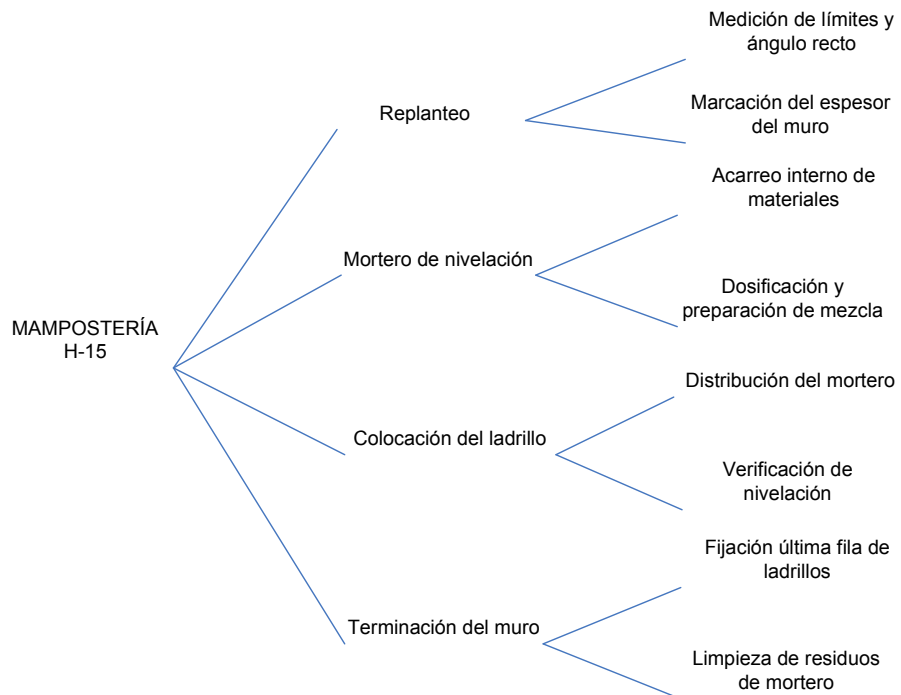
Fuente: Fotografías tomadas por alumnos en la asignatura construcción I.

Figura 11. Diagrama de afinidad para el proceso "Mampostería en ladrillo H-15".



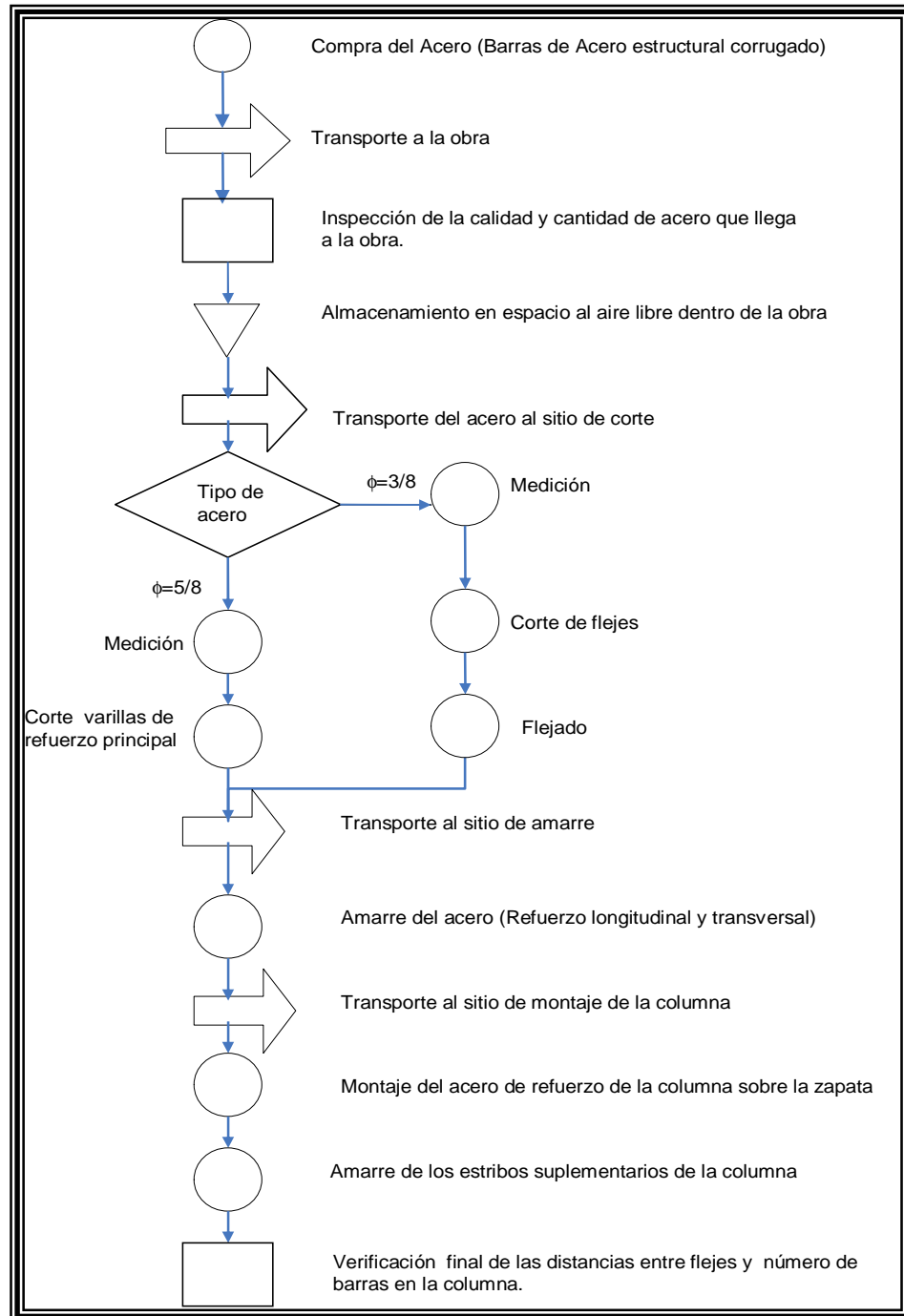
Fuente: El Autor.

Figura 12. Diagrama de árbol para el proceso "Mampostería en ladrillo H-15".



Fuente: El Autor.

Figura 13. Diagrama de flujo para el “Acero” en el proceso de “Fundición de columnas”.



Fuente: El Autor.

1.3.2 Técnicas⁷

Técnicas de apoyo:

Hoja de control:

También llamada hoja de registro, es empleada para reunir y clasificar información según determinadas categorías. Primero, se identifica lo que se quiere estudiar; segundo, se detalla la categoría que lo caracteriza; tercero, se registra en una hoja, indicando la frecuencia de observación procurando siempre que refleje la verdad. Su función es facilitar el análisis de datos y permitir observar variaciones en ellos de (peso, volumen, longitud, calidad, etc.), además de hallar y apartar lo que se encuentre defectuoso y las causas que lo produjeron.

Histogramas:

Gráfico que representa una serie de medidas clasificadas y ordenadas que se ubican en forma de filas y columnas; utilizados para obtener una información clara y efectiva de la variabilidad de un sistema, permitiendo encontrar cualquier cambio en el sistema e identificar anomalías al examinar la forma del gráfico.

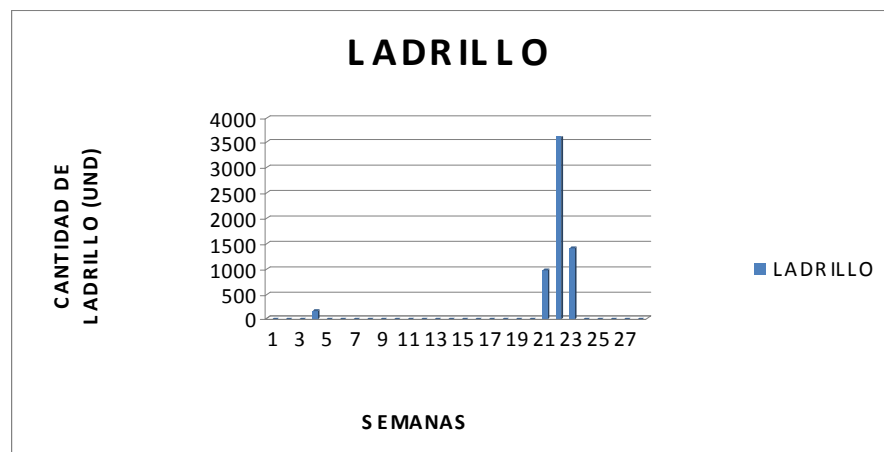
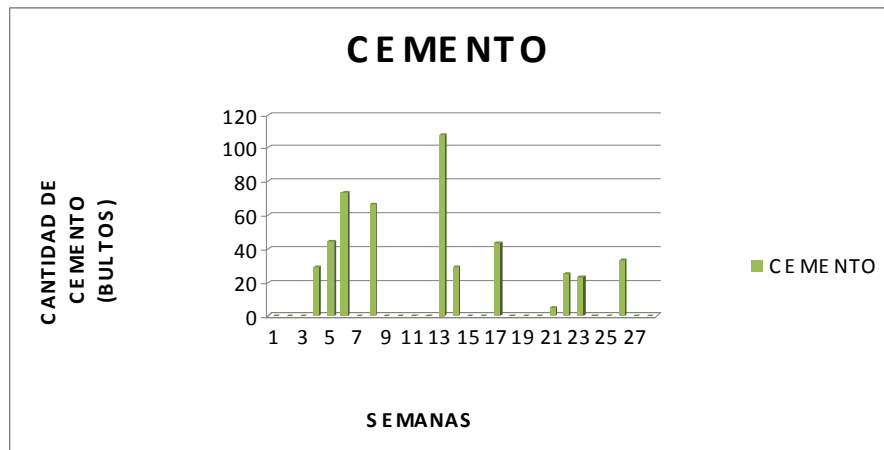
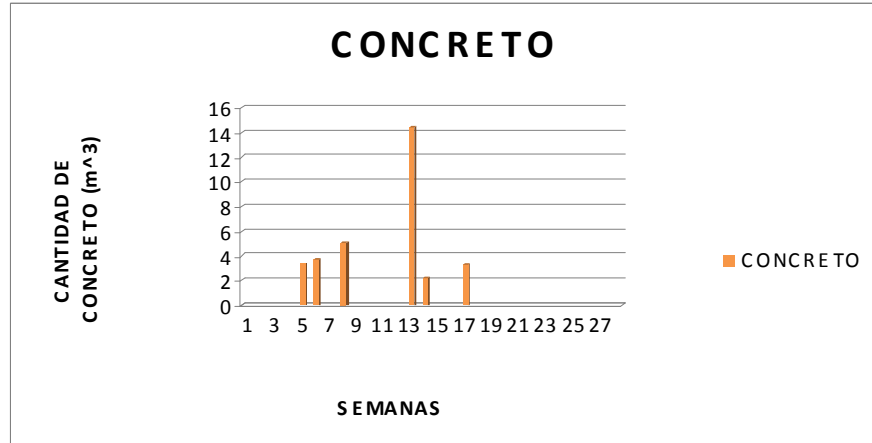
⁷ MARIÑO NAVARRETE, Hernando. Gerencia de procesos. Alfa omega S.A. Bogotá. 2001. p. 107.

Tabla 3. Cantidades de concreto, cemento y ladrillo utilizados en la construcción de la cabaña de descanso.

| SEMANA | CANTIDAD DE CONCRETO (m3) | CANTIDAD DE CEMENTO (bultos) | CANTIDAD DE LADRILLOS (und) |
|--------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 28,9 | 180 |
| 5 | 3,38 | 44,6 | 0 |
| 6 | 3,75 | 73,26 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 5,042 | 66,55 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 14,41 | 108 | 0 |
| 14 | 2,236 | 29,51 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 3,272 | 43,19 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 4,95 | 986 |
| 22 | 0 | 25,34 | 3616 |
| 23 | 0 | 23,49 | 1424 |
| 24 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 33 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: El Autor.

Figura 14. Histograma del consumo de concreto, cemento, ladrillo por semana para la construcción de una cabaña de descanso.



Fuente: Trabajo de construcción II, segundo semestre de 2008. Grupo de trabajo Dinaljo.

Diagrama de Pareto:

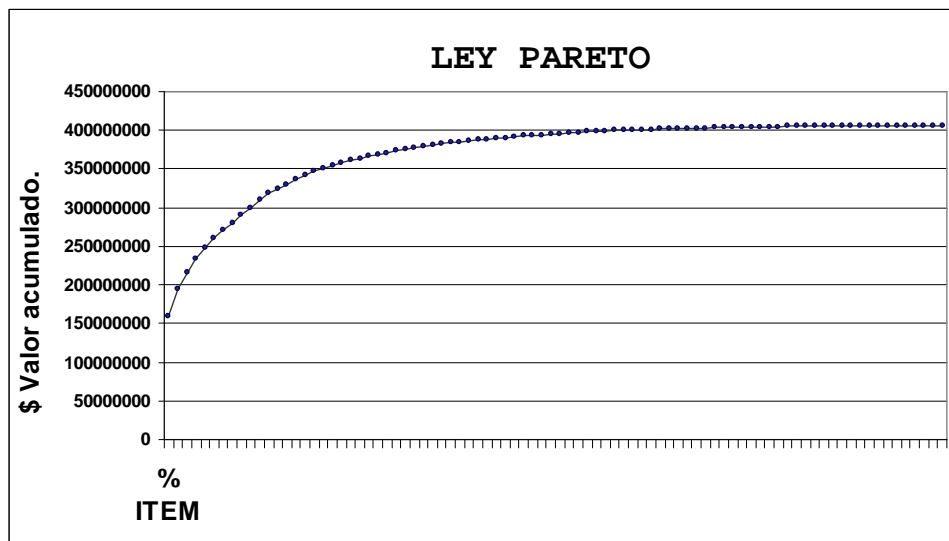
Herramienta empleada para darle prioridad a los problemas o a las causas que lo generan. Su objetivo es seleccionar entre varias opciones de proyectos, revisando variables como el costo, calidad, rendimiento y economía, el más útil. También se conoce como la regla 80/20, si se tiene un problema con muchas causas, el 20% de las causas resuelven el 80% del problema y el 80% de las causas solo resuelven el 20% del problema.

Procedimientos para elaborar el diagrama de Pareto:

- a) Identificar el problema a analizar.
- b) Diseñar una tabla para conteo o verificación de datos, en el que se registren los totales.
- c) Recoger los datos y el cálculo de totales.
- d) Elaborar una tabla de datos para el diagrama conformada con la lista de ítems, los totales individuales, los totales acumulados, la composición porcentual y los porcentajes acumulados.
- e) Clasificar y llenar la tabla respectiva con los ítems por orden de cantidad.
- f) Construir un gráfico de barras representando las cantidades y porcentajes de cada ítem.
- g) Dibujar la curva acumulada y unir finalmente los puntos con una línea continua.

h) Escribir cualquier anotación relevante sobre el diagrama.

Figura 15. Diagrama de Pareto.

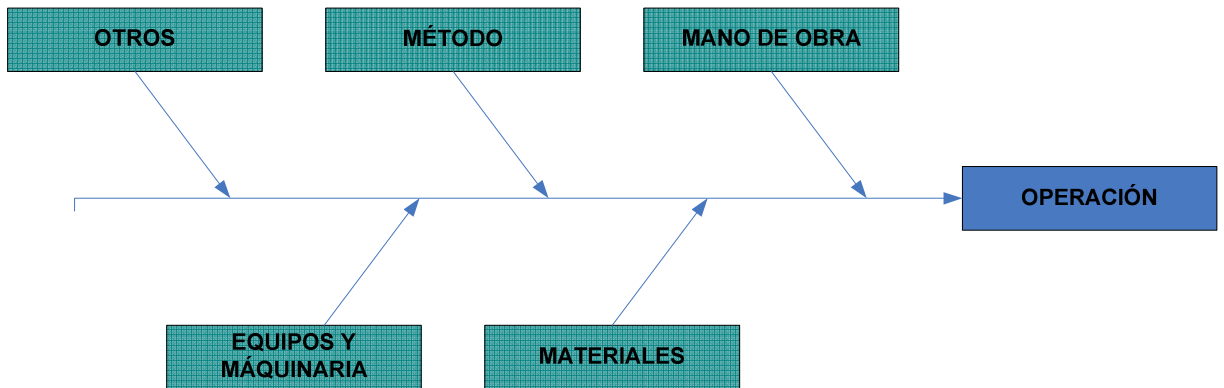


Fuente: Trabajo de construcción II, segundo semestre de 2007

Diagrama de causa – efecto

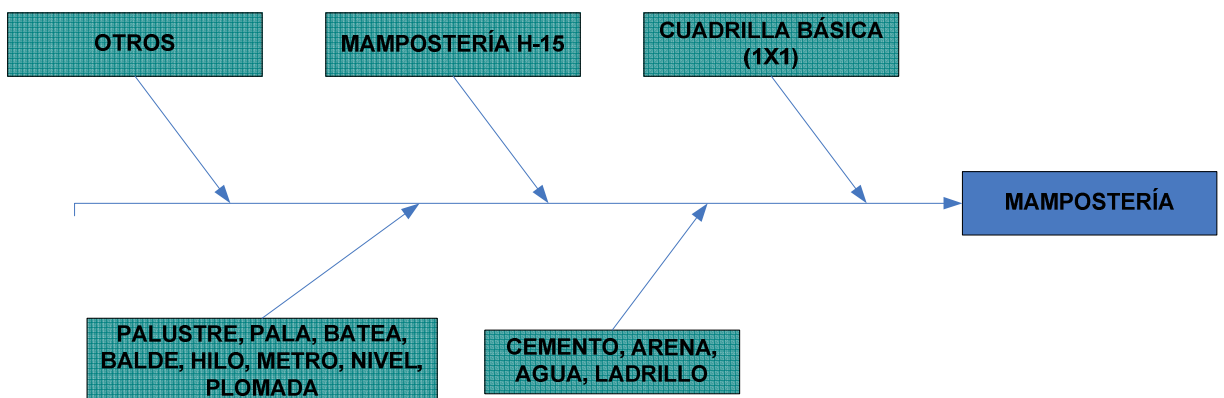
Conocido como *espina de pescado* es un gráfico que permite observar rápidamente los factores esenciales para realizar un proceso determinado. Cualquier proceso constructivo requiere: maquinaria, mano de hombre, método de desarrollo y materiales.

Figura 16. Diagrama de causa – efecto.



Fuente: El Autor.

Figura 17. Diagrama de causa - efecto para el proceso "Mampostería en ladrillo H-15".



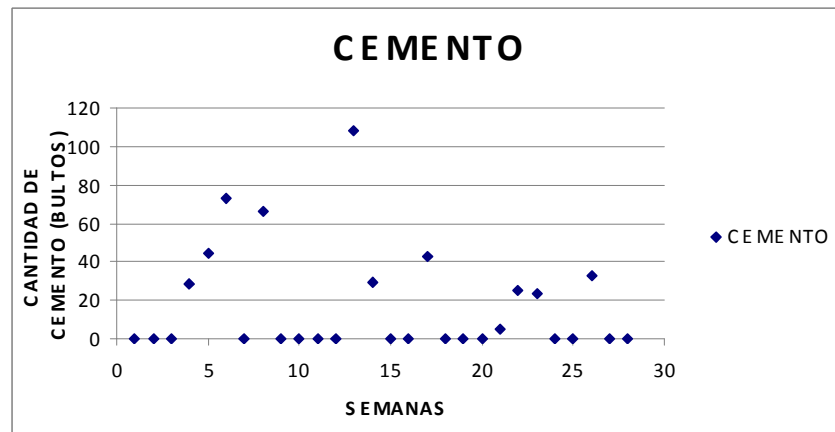
Fuente: El Autor.

Diagrama de dispersión:

Gráfico que permite el análisis y estudio de variables como: una característica de calidad y un factor que la afecta, dos características de calidad relacionadas, o dos

factores relacionados con una sola característica de calidad o sencillamente el consumo de material o cualquier agente sujeto a cambio durante la obra.

Figura 18. Diagrama de dispersión para el consumo de cemento por semana en la construcción de una cabaña de descanso.



Fuente: El Autor.

Estratificación:

Consiste en clasificar la información recopilada sobre una característica de calidad, dicha información se clasifica de acuerdo a trabajadores individuales en equipos y máquinas específicas. Los criterios efectivos para la estratificación son:

- a) Tipo de defecto.
- b) Causa y efecto.
- c) Localización del defecto.
- d) Material, producto, fecha de producción, grupo de trabajo, operador, proveedor, etc.

Gráfica de control:

Gráfica lineal en la que se determina estadísticamente un límite de control superior y un límite de control inferior a ambos lados de la línea central que refleja el producto del proceso. Estos límites proveen señales estadísticas que ponen en aviso a la administración del proceso indicando si el proceso está bajo control o no, si el resultado requiere explicación y los pasos a seguir para una mejora del proceso. Son muy útiles para estudiar propiedades de los productos, factores de variabilidad en el proceso, costos, errores y otros datos administrativos.

Técnicas de visualización:

Encuestas

Su objetivo es recopilar información requerida a través de una serie de personas que visitan obras similares y realizan algunas preguntas sobre procesos constructivos, maquinaria, rendimientos, tiempos, etc.

Matriz de selección de problemas:

Más conocida como matriz DOFA, es una herramienta de gran utilidad para entender y tomar decisiones en toda clase de situaciones en negocios y empresas. DOFA es el acrónimo de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. Los encabezados de la matriz proveen un buen marco de referencia para revisar la estrategia, posición y dirección de una empresa, propuesta de negocios o idea.⁸

⁸El análisis DOFA, http://www.latinpymes.com/asp_noticia.

Tabla 4. Matriz DOFA.

| | | |
|--|--|--|
| | FORTALEZAS "F" Lista de fortalezas | DEBILIDADES "D" Lista de debilidades |
| OPORTUNIDADES "O" Lista de oportunidades | ESTRATEGIAS "FO" Uso de fortalezas para aprovechar oportunidades | ESTRATEGIAS "DO" Vencer debilidades aprovechando oportunidades |
| AMENAZAS "A" Lista de amenazas | ESTRATEGIAS "FA" Uso de fortalezas para evitar amenazas | ESTRATEGIAS "DA" Reducir al mínimo las debilidades y evitar las amenazas |

Fuente: www.sercol.org.co/graficas/dofa.gif⁹

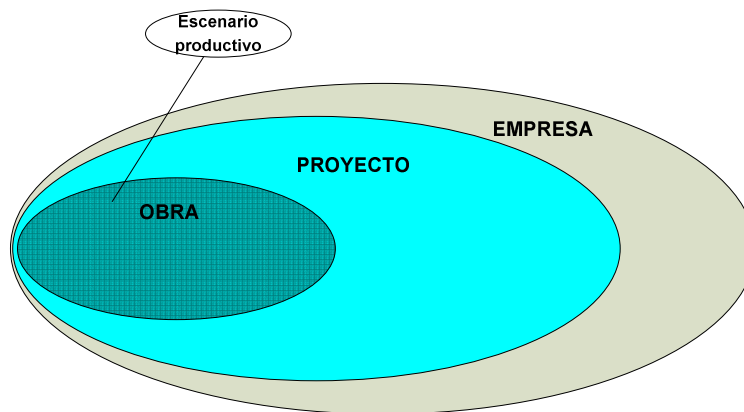
1.4 ESCENARIOS DE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción puede ser definida como la combinación de materiales y servicios para la producción de bienes tangibles y puede caracterizarse de otras industrias en poseer una planta móvil de trabajo y en crear un producto fijo, necesarios para el sano crecimiento de la economía de cualquier sociedad. La industria de la construcción ocupa un sector importante y dinámico en la economía de un país por su vinculación con la creación de infraestructura básica como: apertura de caminos, carreteras, puentes, centrales eléctricas, hidroeléctricas, presas, obras de irrigación, construcciones industriales, comerciales, escenarios deportivos, plantas petroquímicas; además de satisfacer necesidades humanas como suministro de agua potable, plantas de saneamiento, obras de vivienda, centros hospitalarios y centros educativos.

⁹ MUÑOZ, Jairo. Metodologías para el diagnóstico y el diseño de metas. Publicaciones Pizarrón No 24. <http://www.sercol.org.co/pizarra24.htm>.

La industria de la construcción es administrada por *empresas* constructoras que en su gran mayoría se encargan de planear, diseñar, ejecutar y evaluar los diversos *proyectos* que realizarán cualquier *obra* civil con un propósito específico ya sea de proveer algún servicio o satisfacer una necesidad. La construcción se concibe bajo tres escenarios de desempeño: a) Empresa, b) Proyecto, c) Obra; siendo este último escenario la esencia de esta industria, donde se transforman los insumos en productos y objeto de estudio de nuestra asignatura y del presente texto.

Figura 19. Escenarios de la construcción.



Fuente: Escuela de Ingeniería Civil. Gma.

Obras de Construcción

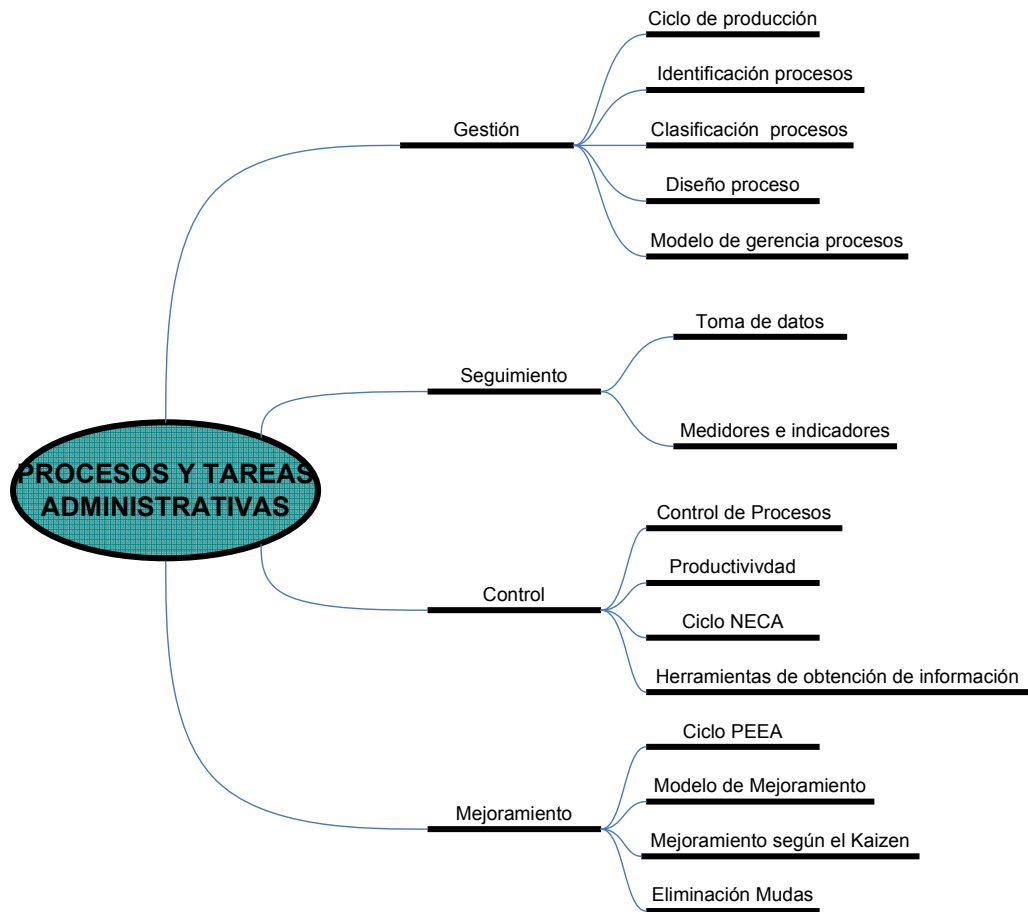
Una obra de construcción es el espacio físico en donde se ejecutan y llevan a la realidad tangible los proyectos diseñados por arquitectos e ingenieros con el propósito de satisfacer la necesidad de alguien o de una comunidad denominada cliente. Una obra de construcción consiste en desarrollar una serie de actividades debidamente coordinadas y planificadas que permiten materializar paso a paso el producto tangible a entregar; en su ejecución intervienen desde los ingenieros

constructores que pueden ser Auxiliares, Residentes, Directores, como Arquitectos e Ingenieros calculistas, contratistas, interventores, hasta los obreros como maestros, contra maestros y ayudantes que contribuyen con la actividad productiva; es decir, la acción humana que tiene como fin aportar significativamente al proceso constructivo, obteniendo como resultado cantidad de obra ejecutada.

Para desarrollar las obras de construcción, es necesario analizar el trabajo en procesos y tareas tanto administrativas como productivas. A continuación se estudiarán los procesos y tareas de tipo administrativo ya que los de tipo productivo fueron analizados previamente.

Para administrar procesos constructivos se deben precisar metas claras e implementar metodologías que conlleven al logro de esos objetivos, mediante planes de acción enfocados en la gestión, control, seguimiento y mejoramiento de actividades, empleando siempre de la mejor manera los recursos y medios necesarios para alcanzar los resultados que se esperan.

Figura 20. Procesos y tareas administrativas.



Fuente: El Autor.

1.5 GESTIÓN DE PROCESOS

Ciclo de producción:

Planeación: Se debe determinar objetivos, diseñar e implementar estrategias y políticas, determinar el marco referencial del trabajo y formular el plan de actividades (WBS) que debidamente realizadas transformarán los recursos e insumos en productos tangibles y conformarán cada uno de los distintos procesos constructivos que constituyen una obra de construcción.

Organización: Distribuir y asignar responsabilidades y recursos de acuerdo al plan de actividades formulado (WBS). Se debe determinar qué se necesita, cómo, en qué momento, quién y dónde se realiza.

Dirección: Bajo este ciclo se coordinan productivamente todos los recursos y actividades necesarias y trabajadas que materializan el proyecto.

Control: Consiste en plantear un seguimiento, idear una serie de sistemas de medidas que permitan indicar dónde y de qué proporción son las fallas presentes, con el propósito de formular mejoramiento y asegurar el buen cumplimiento de los procesos con la calidad esperada.

Identificación de procesos:

Identificar los procesos a desarrollar en una organización es un factor clave para el buen funcionamiento de la misma y para obtener un producto final esperado. Se necesita determinar cuáles son, cómo se describen, qué requieren, quiénes los desarrollan, cómo se relacionan entre ellos, para qué se hacen, entre otras características. El objetivo de identificar y clasificar los procesos es obtener medidas del trabajo que se está desarrollando con el fin de poder identificar las fallas, mejorarlas y así poder satisfacer al cliente.

Una manera fácil y práctica de determinar los procesos que una organización debe desarrollar es revisar su misión y visión del futuro. Los procesos que surgen en el planteamiento de la misión, de la razón de ser de la organización se han denominado *procesos misionales* y aquellos que surgen de la declaratoria de la visión se han denominado *procesos visionarios*.

Procesos Misionales: Establecen los procesos esenciales en que la organización debe trabajar, identifica clientes, mercado y el tipo de tecnología a utilizar.

Procesos Visionarios: Determinan factores que conllevan al éxito, competencias a desarrollar, necesidades de mejoramiento a mediano y largo plazo.

Clasificación de procesos

Luego de identificar los procesos principales (misionales y/o visionarios), se procede a clasificarlos de acuerdo a su carácter dentro de la organización. Esta clasificación se logra desagregando cada proceso principal en subprocesos, imprimiéndole así más detalle.

Algunos beneficios de la clasificación de procesos es que establece cuáles son los resultados que se producen y cuál es el siguiente paso de todo el proceso así como especifica quién es el responsable de la gerencia de todo el proceso.

Procesos Organizacionales

- Son actividades que transforman entradas en salidas que son ejecutadas al interior de una misma área funcional.
- Son procesos de carácter horizontal o transversal cuya responsabilidad recae en toda la organización y generan valor a el cliente externo (dueño de la obra, interventor).
- Un ejemplo clásico de actividades horizontales en una obra de construcción sería: la pega de ladrillos no puede realizarse si previamente la mezcla no ha sido preparada y esta mezcla no puede desarrollarse si no se ha adquirido el material (cemento, arena, agua).

Procesos Funcionales

- Se desarrollan al interior de cada proceso, generando valor a las personas u obreros que ejecutan el proceso.
- Son procesos de carácter vertical y se generan al interior de una misma área funcional.
- Un ejemplo de actividades verticales sería la nivelación de un muro en mampostería el cual al irse levantando agrega valor a los trabajadores que pegan los ladrillos.

Megaprosesos

Los megaprosesos agrupan los principales procesos que debe realizar una organización de acuerdo con las actividades necesarias para cumplir con la misión y la visión de la organización. Estos macroprocesos se han clasificado en tres tipos: procesos gerenciales, procesos operativos y procesos de soporte.¹⁰

Procesos Gerenciales: Se realizan con el propósito de brindar dirección a toda la organización mediante estrategias corporativas y son responsabilidad total de la alta gerencia.

Procesos Operativos: Son los procesos constructivos desarrollados por los obreros y coordinados por los ingenieros directores, residentes y auxiliares, encargados de transformar los insumos y recursos en productos tangibles.

¹⁰ MARIÑO NAVARRETE, Hernando. Gerencia de procesos. Alfa omega S.A. Bogotá, Colombia. 2001. p. 37

Procesos de Apoyo: Los procesos de apoyo se encargan de dar soporte a los procesos operativos con el propósito de realizar eficientemente cada actividad.

Diseño del proceso

El diseño del proceso consiste en seleccionar los materiales, mano de obra, equipos, herramientas, operaciones, flujos de trabajo y métodos que conducen a la elaboración del producto final. Debe presentar un análisis detallado de cada una de las actividades que componen el proceso, clasificarlas según su contribución y determinar cuáles son esenciales o no para el cumplimiento de los objetivos.

Factores condicionantes

- **Flexibilidad:** Es la adaptabilidad al cambio del proceso debido a una posible variación en algún recurso empleado, estas variaciones pueden traer consigo retrasos de tiempo, disminución de calidad y aumentos de costos.
- **Capital empleado:** En el desarrollo de un proceso constructivo, las operaciones pueden desarrollarse manualmente o mecánicamente, siendo este último parámetro un factor influyente en el incremento del capital necesario para llevar a cabo el proceso porque se requiere el alquiler o compra de equipos; un aumento del personal que trabaja en el proceso puede significar un aumento de costos, sin embargo también se debería considerar el aumento en productividad de cantidad ejecutada y analizar las diferencias en precios que esto originaría.

Modelo para la gerencia de procesos:¹¹

En la práctica de la gerencia de procesos es importante establecer objetivos e idear metodologías que conduzcan al logro de los mismos, mediante planes de seguimiento, control y mejoramiento.

Ejecución

Es la puesta en marcha de todo lo planeado, además de los administradores de la obra, los empleados son los directamente responsables de la calidad del producto final. La producción depende del trabajador y de las condiciones de su entorno.

Seguimiento

Etapa correspondiente al proceso de obtención de información sobre la obra, que se acompaña en la toma de datos, en el análisis y evaluación de resultados mediante la formulación de encuestas, toma de tiempos, fotografías, videos, entre otros. Es responsabilidad de los ingenieros directores, residentes, auxiliares y de las personas encargadas de la auditoría.

Control

Posterior al seguimiento sigue el control, que consiste en comparar los datos arrojados en la etapa previa con lo inicialmente planeado, y a partir de los resultados tomar decisiones sobre el desarrollo futuro de la obra. Un buen producto se mide por el grado de calidad que brinde, calidad en su elaboración y en su servicio, enfocándose al cumplimiento de la norma de calidad ISO 9000.

¹¹ MARIÑO NAVARRETE, Hernando. Gerencia de procesos. Alfa omega S.A. Bogotá, Colombia. 2001. p. 43

Mejoramiento

Un enfoque de mejora continua sobre los procesos desde su planeación, implica que siempre se tenga la posibilidad de ser mejorado dicho proceso. El mejoramiento involucra actividades, manejo de recursos y concientización del personal.

1.6 SEGUIMIENTO DE PROCESOS

¿En qué consiste el seguimiento de un proceso?

El seguimiento de un proceso consiste en medir el proceso con el propósito de observar, controlar y administrar con precisión cada tarea y cada actividad que lo conforman para tomar decisiones oportunas de manera inteligente. Para llevar a cabo el seguimiento, es necesario valerse de una serie de herramientas prácticas y dinámicas como: formulación de encuestas, toma de datos, fotografías, videos y evaluación de tiempos. Las mediciones son una herramienta útil para el mejoramiento, pues por medio de ellas se puede verificar que las actividades y requisitos programados se estén cumpliendo.

Medidores e indicadores¹²

Los medidores e indicadores son herramientas que exteriorizan las posibles fallas, errores, inconvenientes, resultados que se presentan en las actividades de un proceso constructivo o en las salidas de dicho proceso. Se caracterizan por: poderse medir, tener significado (definición sobre qué es y qué pretende medir) y poderse controlar.

¹² MARIÑO NAVARRETE, Hernando. Gerencia de procesos. Alfa omega S.A. Bogotá, Colombia. 2001. p. 69

Importancia de la medición

Los medidores e indicadores son empleados con el propósito de:

- Evaluar el desempeño del proceso y medir el grado de cumplimiento de los objetivos.
- Establecer el grado de estabilidad del proceso y definir el tipo de mejoramiento.
- Fijar el nivel de desempeño alcanzado por el proceso.
- Sugerir tendencias, evaluar efectividad y proveer anomalías.
- Identificar problemas o detectar oportunidades de mejoramiento.
- Facilitar la comunicación entre ingenieros y obreros.
- Determinar si el proceso continúa siendo competitivo.

Tipos de Indicadores

- **Indicadores de proceso:** Son *puntos de control*, que por lo general constituyen actividades o eventos que conforman el proceso. Mide la variación existente en el proceso a través de las actividades, miden el qué hace el proceso.
- **Indicadores de resultado:** Miden los resultados o producto final del proceso con los requerimientos inicialmente establecidos, para ello es

necesario conocer y considerar las especificaciones propuestas por las normas vigentes y por los diseñadores de la obra.

- **Indicadores de eficacia:** Mide el logro de los resultados propuestos, la forma en que se hicieron las cosas.
- **Indicadores de eficiencia:** Mide el rendimiento y la productividad de los recursos empleados en el proceso.

Eficiencia: Es la capacidad para lograr los objetivos con el mínimo de recursos posibles.

Eficacia: Es la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.

Efectividad: Es la cuantificación de la meta, del objetivo.

Efectividad = Eficiencia + Eficacia

Herramientas de obtención de información

- a) **Informes de control:** Informes de costo, Informes de avance, Informes de productividad, e informes de calidad.
- b) **Información sobre métodos y procedimientos:** Cuestionarios, encuestas de interrupciones y demoras, muestreo del trabajo, cartas de proceso, técnicas de observación como: estudio de tiempos con cronómetros, fotografías a intervalos de tiempo y videos.
- c) **Sistemas informales:** Observación directa, reuniones informales y preguntas a los trabajadores.

1.7 CONTROL DE PROCESOS

Controlar el proceso consiste en cumplir los modelos y operaciones establecidas para el desarrollo del proceso y el producto, con el propósito de verificar una adecuada ejecución y que los resultados del proceso plasmen las expectativas y necesidades del dueño de la obra.

En esta etapa de la administración se conocen los resultados de los datos tomados durante la etapa de seguimiento y se identifican las Desviaciones y anomalías que se presentan durante la ejecución del proceso; un parámetro de obligado análisis es la productividad. A continuación se cuestionan algunos conceptos relacionados con este parámetro fundamental.

Productividad¹³

La productividad puede ser definida como la relación entre la cantidad producida y la cantidad de recursos empleados. Un valor bajo de productividad es originado por una pobre planeación y un mal manejo de recursos, afectando de esta manera el valor del producto final a entregar.

Productividad = Cantidad producida / Recursos empleados

La productividad se coliga a un proceso de transformación y es afectada por los recursos necesarios para producir el producto como: mano de obra, materiales, maquinaria y equipo. En los materiales se debe evitar desperdicios, en la mano de obra recae el ritmo de trabajo del proceso y en la maquinaria se debe evitar las pérdidas en la utilización de este tipo de recurso.

¹³ SERPELL, Alfredo. Administración de operaciones de construcción. Segunda edición. México D.F. Alfaomega grupo editores S.A. p.29.

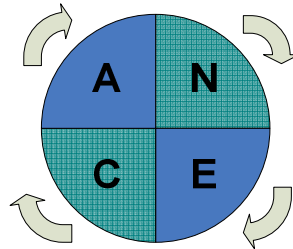
- **Factores que perjudican la productividad:** El diseño deficiente, clima adverso, mano de obra incapaz, administración deficiente, información insuficiente y materiales de mala calidad, entre otros.
- **Factores que incrementan la productividad:** Buena supervisión, procedimientos apropiados, planificación adecuada, buena organización y unos incentivos apropiados, entre otros.

Ciclo NECA

El ciclo NECA, es una herramienta administrativa que permite controlar el proceso. El gerente de la obra debe girar varias veces el ciclo de control, con el propósito de encontrar anomalías y ejercer de esta manera el control sobre el proceso. A continuación se explicará cada una de las fases que constituyen este ciclo:

- **N. Normalizar el proceso:** Consiste en reglamentar con algunas normas el proceso que soporten, guíen y limiten la ejecución.
- **E. Ejecutar el proceso:** Realizar paso a paso el proceso, siguiendo la norma previamente establecida.
- **C. Comprobar la estabilidad del proceso:** Verificar si los resultados entregados por el proceso siguen el procedimiento establecido. En esta fase se miden las actividades y sus resultados, se analizan anomalías y determinan variaciones con lo planeado.
- **A. Actuar:** Es la toma de acciones que conlleven a eliminar las causas de las anomalías y variaciones presentes en el proceso.

Figura 21. Ciclo NECA para controlar.



Fuente: Gerencia de procesos. Mariño Navarrete. p. 45

1.8 MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Mejoramiento significa buscar continuamente nuevas maneras de hacer mejor el trabajo, de desarrollar nuevos procesos que produzcan productos con mayor calidad con el propósito de satisfacer las expectativas de los dueños de la obra y superarlas, maravillándolos con los resultados.

El mejoramiento puede lograrse mediante innovación, cambiando las tareas que se desarrollan y la manera como se elaboran; esta forma de aplicar el mejoramiento se denomina *reingeniería de procesos*, trae mejoramiento a través de capital invertido, tecnología aplicada.

Otra manera de lograr mejoramiento es haciendo de este una tarea continua, perenne, paso a paso desarrollada por todas las personas que interactúan con el proceso; esta forma de alcanzar el mejoramiento es llamada bajo el término japonés *Kaizen* y se fundamenta en los conceptos de habilidad y creatividad.

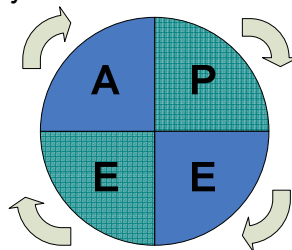
Ciclo PEEA

Es una técnica que busca mejorar constantemente e innovar en el desarrollo de cualquier proceso constructivo y es una metodología que intenta mejorar un

proceso existente con la confianza de que a nivel mundial muchas empresas han adoptado este sistema de mejoramiento en sus agendas de trabajo. A continuación se explicará cada una de las fases que constituyen este ciclo:

- **P. Planear:** Elaborar un plan de acción para mejorar el proceso, estableciendo metas que permitan evaluar los objetivos; y, responder a los interrogantes, qué, por qué, cuándo, dónde y cómo se realiza el proceso.
- **E. Ejecutar:** Llevar a cabo el plan de acción, invirtiendo en capacitación de las personas que intervienen en el proceso con el propósito de mejorar su desempeño. Posteriormente desarrollar una prueba “piloto” como prueba y error.
- **E. Estudiar:** Analizar detalladamente los resultados arrojados en la anterior prueba, como su efectividad. Es quizá la etapa más importante del ciclo de mejoramiento porque requiere cantidad y calidad de tiempo de parte de los gerentes de la obra.
- **A. Actuar:** Adoptar los cambios arrojados en la anterior etapa, formular y establecer un nuevo tipo de procedimiento para el proceso que conduzca a resultados esperados y de calidad.

Figura 22. Ciclo PEEA para mejorar.



Fuente: Gerencia de procesos. Mariño Navarrete. Op. Cit. P. 48

Luego de mejorar el proceso, el ciclo debe girarse de nuevo, hasta que sea pertinente hincar un nuevo ciclo de mejoramiento.

Modelo de mejoramiento

El éxito en el mejoramiento es basado en darle respuesta a tres interrogantes, como lo son: ¿Cuál es el objetivo que se intenta alcanzar?, ¿Qué conocimientos se tienen acerca del proceso?, ¿Qué estrategias se deben formular para mejorar? A continuación se estudiará cada uno de estos interrogantes que conforman el modelo de mejoramiento.

Objetivo a alcanzar

Entre los ingenieros y trabajadores que intervienen en el desarrollo de un proceso se debe establecer cuál es el objetivo que se desea alcanzar y cuáles son los esfuerzos que cada uno debe aplicar para mejorar sus actividades y rendimientos con el propósito de mejorar el proceso.

Catalogar conocimiento actual

Los ingenieros y trabajadores deben contestar qué conocimientos poseen acerca del proceso, en qué consiste el mismo y analizar las actividades que agregan valor o no al proceso.

Estrategia de aprendizaje

Desarrollar una metodología de aprendizaje que permita incrementar el conocimiento acerca del proceso, desarrollando y probando cambios a través de aplicar el ciclo PEEA para mejorar.

Actividades y estrategias del modelo:

- **Identificar oportunidades de mejoramiento:** Analizar información existente sobre el proceso, realizar un análisis de Pareto (visto en las técnicas de planeación) para priorizar actividades y establecer la manera de desarrollar el mejoramiento, individual o en equipo.
- **Describir y analizar el proceso actual:** Definir y describir los límites y etapas del proceso mediante el diagrama de flujo (visto en herramientas de la planeación), identificar medidores de resultado y de procesos (visto en tipos de indicadores).
- **Escuchar al cliente:** Atender a los requerimientos del cliente, dueño de la obra antes, durante y después de entregar el producto.
- **Catalogar los conocimientos:** Determinar las causas de los errores, defectos y problemas del proceso, entender la relación causa-efecto ayudándose del diagrama causa-efecto (visto en técnicas de apoyo), elaborar un catálogo de conocimientos acerca del proceso e identificar qué no se sabe acerca del proceso.
- **Desarrollar una estrategia de aprendizaje:** Implementar un procedimiento que conduzca a llenar las falencias de conocimientos y a preparar técnicamente el equipo de trabajo.
- **Desarrollar y ejecutar soluciones:** Implantar cambios que conduzcan al éxito del proceso.

- **Medir y monitorear los cambios:** Desarrollar y ejecutar un plan de acción que permita medir, comunicar y controlar los cambios que mejoran el proceso.
- **Mejoramiento suficiente:** Analizar los resultados obtenidos por el mejoramiento.

Mejoramiento según el KAIZEN¹⁴

Kaizen es un término japonés que se indica un mejoramiento continuo, desarrollado paso a paso por todas las personas involucradas en el proceso, es un mejoramiento progresivo e incesante que involucra cambios pequeños pero muy benéficos. Para alcanzar el mejoramiento continuo y obtener una producción justo a tiempo (Just in time) es necesario estandarizar y eliminar mudas (desperdicios) a través de la metodología japonesa de las “5 S”, llamada de esta forma porque las 5 palabras japonesas comienzan con la letra “S”. A continuación se describirán los 5 pasos empleados para alcanzar el mejoramiento en obra:

- **Seiri:** Retirar del lugar cualquier estorbo que perjudique con el buen trabajo del proceso. Refiriéndose a estorbos, todas esas cosas que no son necesarias para el desarrollo del proceso.
- **Seiton:** Brindarle una metodología al desarrollo de las actividades, ejecutarlas una por una y ubicarlas dentro del espacio físico de la obra.
- **Seiso:** Asear o limpiar el espacio físico de trabajo, los equipos a utilizar, para mejorar seguridad y mantenimiento.

¹⁴ MARIÑO NAVARRETE, Hernando. Gerencia de procesos. Alfa omega S.A. Bogotá, Colombia. 2001. p. 04.

- **Seiketsu:** Corregir todos los detalles que indiquen mala calidad, también sugiere la utilización de elementos de protección para evitar accidentes en los empleados, como cascos, botas, gafas, guantes, entre otros.
- **Shitsuke:** Implementar una continuidad de los pasos anteriores a todos los procesos desarrollados en la ejecución de la obra.

Eliminación de mudas o desperdicios:







- **Mudas de movimiento:** Eliminar los movimientos de personal en obra que son innecesarios para el desarrollo de cada actividad, ya que generan una disminución de rendimiento.
- **Mudas de transporte:** La falta de planear el traslado de materiales dentro de la obra, generan retrasos en la ejecución de tareas y actividades; se debe planear la cantidad de materiales a mover y la forma de hacerlo para cada proceso.
- **Mudas de sobreproducción:** Se presentan cuando se construye más de lo demandado, muchas veces por malos cálculos en cantidad de material y por ineficiencia técnica de los obreros.
- **Mudas de espera:** Se producen por llegada tarde de materiales requeridos, tiempos excesivos en el desarrollo de alguna actividad, carencia o daño en herramientas y equipos o por la ausencia de supervisores.
- **Mudas por fallas y corrección:** Son originadas por errores presentes al final de la obra y/o durante la ejecución del proceso ya que en ocasiones se toman medidas correctivas que atrasan el tiempo de entrega del producto.

1.9 EJERCICIOS

1.9.1 Ejercicios resueltos

Ejercicio 1. Diseñar la carta de procesos para el ejemplo 3 “Mampostería en ladrillo H-15” ya estudiado. De acuerdo a la metodología planteada en el capítulo Cartas de proceso.

Tabla 5. Carta de procesos para el ejemplo 3 “Mampostería en ladrillo H-15”.

| SIMBOLO | ACTIVIDAD |
|---|---------------------------------|
|  | Bodegaje del material |
|  | Transporte interno |
|  | Replanteo |
|  | Preparación del mortero |
|  | Mortero de nivelación |
|  | Colocación del ladrillo |
|  | Verificación de nivel y plomada |
|  | Terminación del muro |
|  | Limpieza del muro |

Fuente: El Autor.

Ejercicio 2. Clasificar la siguiente lista de actividades en administrativas y actividades productivas; de acuerdo a la metodología de clasificación ya planteada.

Tabla 6. Clasificación de actividades administrativas y productivas.

| ACTIVIDAD | PRODUCTIVA | ADMINISTRATIVA |
|----------------------------------|------------|----------------|
| Compra de materiales | | x |
| Bodegaje de materiales | x | |
| Excavación mecánica | x | |
| Preparación de mortero | x | |
| Transporte vertical de ladrillos | x | |
| Contratación de personal | | x |
| Limpieza de muro | x | |
| Elaboración de planos | | x |
| Corte de acero | x | |
| Vaciado de concreto | x | |

Fuente: El Autor.

Ejercicio 3. Clasificar cada una de las actividades productivas propuestas en el ejemplo 3. Proceso de "Mampostería en ladrillo H-15". Según el grado de contribución al proceso; de acuerdo a la metodología de clasificación planteada.

Tabla 7. Clasificación de actividades contributivas y de apoyo.

| ACTIVIDAD | CONTRIBUTIVAS | NO CONTRIBUTIVAS | DE APOYO |
|---------------------------------|---------------|---------------------|----------|
| Bodegaje del material | | x | |
| Transporte interno | | | x |
| Replanteo | | | x |
| Preparación del mortero de pega | x | | |
| Mortero de nivelación | x | | |
| Colocación del ladrillo | x | | |
| Verificación de nivel y plomada | | | x |
| Terminación del muro | x | | |
| Limpieza del muro | | x | |

Fuente: El Autor.

Ejercicio 4. Clasificación de actividades productivas, carta de procesos y límites para el proceso “Fundición de columnas”.

Clasificar cada una de las actividades productivas ejecutadas en el proceso de “Fundición de columnas” realizado en la construcción de edificios. Clasificar las actividades en contributivas, no contributivas y de apoyo, de manera similar al ejercicio 1.3. Luego de tener claras las actividades productivas se procede a realizar una carta de procesos para el mismo y determinar los límites anterior y posterior guiados con la metodología del capítulo Cartas de procesos y el capítulo Límites de un proceso respectivamente.

Fotografía 7. Actividades desarrolladas durante el proceso de “Fundición de columnas”.



1. BODEGAJE DEL ACERO

- ✓ Herramienta: Guantes.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



2. CORTE DEL ACERO

- ✓ Materiales: Barras y chipas de acero.
- ✓ Equipos: Metro, tronzadora, cizalla.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



3. FLEJADO Y FIGURADO DEL ACERO

- ✓ Materiales: Barras y chipas de acero.
- ✓ Equipos: Tablón con pines de acero, tubo metálico.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)

4. AMARRE DEL ACERO

- ✓ Materiales: Barras y estribos de acero, alambre negro.
- ✓ Equipos: Metro, bichiroco, alicates.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



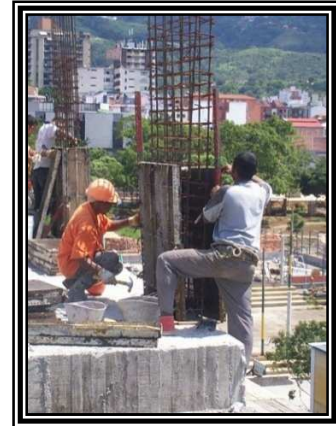
5. REPLANTEO

- ✓ Equipos: Cimbra, metro y escuadra.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



6. ARMADO DE COLUMNA

- ✓ Materiales: Columna amarrada.
- ✓ Equipos: Metro, andamios.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 3)



7. COLOCACIÓN DE FORMALETAS

- ✓ Materiales: Formaletas metálicas, tornillos.
- ✓ Equipos: Martillo, llaves especiales.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



8. DESCARGUE DE CONCRETO (Camión)

- ✓ Materiales: Concreto.
- ✓ Equipos: Camión, depósito momentáneo.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



9. TRANSPORTE INTERNO DEL CONCRETO (VERTICAL Y HORIZONTAL)

- ✓ Equipos: Polea, balde, Carretilla, guantes.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 3)





- 10. VACIADO DEL CONCRETO**
- ✓ Materiales: Concreto.
 - ✓ Equipos: Baldes, andamios.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



- 11. VIBRADO DEL CONCRETO**
- ✓ Materiales: Concreto.
 - ✓ Equipos: Vibrador eléctrico.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



- 12. AJUSTE DE VERTICALIDAD**
- ✓ Equipos: Metro, parales metálicos.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 1)



- 13. RETIRO DE FORMALETAS**
- ✓ Materiales: Formaletas metálicas, tornillos.
 - ✓ Equipos: Martillo, llaves especiales.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



- 14. CURADO**
- ✓ Materiales: Aditivo especial o agua.
 - ✓ Equipos: Aspersor manual, manguera.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)


Fuente: El Autor.

Tabla 8. Clasificación de actividades contributivas y de apoyo para el proceso "Fundición de columnas".

| ACTIVIDAD | CONTRIBUTIVAS | NO CONTRIBUTIVAS | DE APOYO |
|--|---------------|---------------------|----------|
| Bodegaje del material | | x | |
| Corte del acero | x | | |
| Flejado y figurado del acero | x | | |
| Amarre del acero | x | | |
| Demarcación de ejes | | | x |
| Armado de la columna | x | | |
| Colocación de formaletas | x | | |
| Descargue de concreto (preparado en fábrica) | x | | |
| Transporte del concreto | | | x |
| Vaciado del concreto | x | | |
| Vibrado del concreto | x | | |
| Ajuste de verticalidad | | | x |
| Retiro de formaletas | | x | |
| Curado | | x | |

Fuente: El Autor.

Tabla 9. Carta de procesos para el proceso “Fundición de columnas”.

| SIMBOLO | ACTIVIDAD |
|---|--|
|  | Bodegaje del material |
|  | Corte del acero |
|  | Flejado y figurado del acero |
|  | Amarre del acero |
|  | Demarcación de ejes |
|  | Armado de la columna |
|  | Colocación de formaletas |
|  | Descargue de concreto (preparado en fábrica) |
|  | Transporte del concreto |
|  | Vaciado del concreto |
|  | Vibrado del concreto |
|  | Ajuste de verticalidad |
|  | Retiro de formaletas |
|  | Curado |

Fuente: El Autor.

Figura 23. Definición de límites para el proceso “Fundición de columnas”.



Fuente: El Autor.

Ejercicio 5. Clasificar cada una de las actividades productivas ejecutadas en el proceso de “Frisado de muros” en contributivas, no contributivas y de apoyo.

Los muros a entregar deben estar listos para aplicar estuco o instalar sobre ellos algún tipo de enchape.

Fotografía 8. Actividades desarrolladas durante el proceso de “Frisado de muros”.



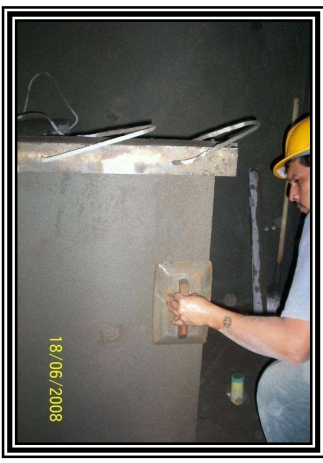
- 1. PREPARACIÓN MORTERO DE FRISO**
- ✓ Materiales: Cemento, arena, agua.
 - ✓ Equipos: Pala, batea, balde.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)



- 2. APLICACIÓN DEL MORTERO DE FRISO**
- ✓ Materiales: Mortero
 - ✓ Equipos: Pala, batea, palustre
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)



- 3. NIVELACIÓN DEL MORTERO**
- ✓ Equipos: Palustre, elemento metálico.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)



- 4. ALISADO DEL MORTERO**
- ✓ Equipos: Lana metálica o de madera.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)

Fuente: El Autor.

Tabla 10. Clasificación de actividades contributivas y de apoyo para el proceso "Frisado de muros".

| ACTIVIDAD | CONTRIBUTIVAS | NO CONTRIBUTIVAS | DE APOYO |
|-------------------------------------|---------------|------------------|----------|
| Preparación del mortero para frisar | x | | |
| Aplicación del mortero de friso | x | | |
| Nivelación de mortero en el muro | x | | |
| Alisado de muros | x | | |

Fuente: El Autor.

Tabla 11. Carta de procesos para el proceso "Frisado de muros".

| SIMBOLO | ACTIVIDAD |
|---------|-------------------------------------|
| ● | Preparación del mortero para frisar |
| ● | Fijación del mortero en los muros |
| ● | Nivelación de mortero en el muro |
| ● | Alisado de muros |

Fuente: El Autor.

Figura 24. Definición de límites para el proceso "Frisado de muros".



Fuente: El Autor.

Ejercicio 6. Clasificar cada una de las actividades productivas ejecutadas en el proceso de “Enchape de baños” en contributivas, no contributivas y de apoyo.

Fotografía 9. Actividades desarrolladas durante el proceso de “Enchape de baños”.



1. PREPARACIÓN DE MEZCLA

- ✓ Materiales: Cemento, Aglutinante especial, agua.
- ✓ Equipos: Palustre, balde.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)



2. APLICACIÓN DE MEZCLA EN PARED

- ✓ Materiales: Mortero
- ✓ Equipos: Palustre, llana metálica.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)



3. CORTE DE BALDOSAS

- ✓ Materiales: Baldosas, enchape
- ✓ Equipos: Cortadora mecánica
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)



4. COLOCACIÓN DEL ENCHAPE

- ✓ Materiales: Mortero, baldosas.
- ✓ Equipos: Martillo de goma.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)



- 5. EMBOQUILLADO DE JUNTAS**
- ✓ Materiales: Material de emboquillado.
 - ✓ Equipos: Palustre, llana encauchada.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)

- 6. LIMPIEZA**
- ✓ Equipos y materiales: Esponja, bayetilla y agua.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)

Fuente: El Autor.

Tabla 12. Clasificación de actividades contributivas y de apoyo para el proceso "Enchape de baños".

| ACTIVIDAD | CONTRIBUTIVAS | NO CONTRIBUTIVAS | DE APOYO |
|---|---------------|---------------------|-------------|
| Preparación de mezcla | x | | |
| Fijación de capa de mezcla en el piso o pared | x | | |
| Corte de baldosas | | | x |
| Colocación del enchape | x | | |
| Emboquillado de juntas | x | | |
| Limpieza | | x | |

Fuente: El Autor.

Tabla 13. Carta de procesos para el proceso “Enchape de baños”.

| SÍMBOLO | ACTIVIDAD |
|---------|---|
| | Preparación de mezcla para pegar enchape |
| | Fijación de capa de mezcla en el piso o pared |
| | Corte de baldosas |
| | Colocación del enchape |
| | Brechado sobre el enchape |
| | Limpieza |

Fuente: El Autor.

Figura 25. Definición de límites para el proceso “Enchape de baños”.



Fuente: El Autor.

1.9.2 Ejercicios propuestos

Ejercicio 1. Para los tres procesos constructivos llevados a cabo en la construcción de una vivienda de dos niveles “cimentación, incluyendo zapatas y vigas de amarre; placa de entrepiso e instalación hidro-sanitaria” determinar los límites anterior y posterior en cada uno de ellos.

Ejercicio 2. Para los tres procesos constructivos llevados a cabo en la construcción de una vivienda de dos niveles “cimentación, incluyendo zapatas y vigas de amarre; placa de entepiso e instalación hidro-sanitaria” identificar el conjunto de actividades productivas necesarias para su realización y clasificar cada una de las actividades en contributivas, no contributivas y de apoyo.

Ejercicio 3. Desarrollar el diagrama de flujo de los materiales: concreto, acero y tubería en los procesos constructivos: cimentación, placa de entepiso e instalaciones hidro-sanitarias respectivamente. Guiarse de la figura 13.

2. PROGRAMACIÓN DE PROCESOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo del texto se estudio en detalle la definición de la planeación de un proceso, su metodología de desarrollo y las bases que permiten definir las actividades y tareas que conforman un proceso, su precedencia y la asignación de diferentes recursos que intervienen en ellos. El segundo paso para gestionar un proceso constructivo es el de encontrar la duración de dicho proceso; para ello, se debe partir de la elaboración de un plan de trabajo a seguir, que enseñe una definición del proceso y que plasme de manera clara y ordenada su planeación. Es aquí donde se enlaza el primer capítulo del texto con la programación.

La programación de tiempos resulta ser bastante importante en el resultado final de un proceso; ya que asigna una fecha de inicio y fin a cada actividad que controlan el tiempo de duración del proceso. Un proceso que tarde más de lo presupuestado contribuye con disminución de utilidades económicas o con pérdidas en el valor total de la obra, recordando que el factor económico es quien finalmente prevalece en la construcción de cualquier obra civil. Es por eso, que el manejo de tiempos en una obra requiere de un análisis detallado de varios parámetros como la definición objetiva de la estructura desagregada de actividades de un proceso (WBS), el tipo de proceso constructivo a desarrollar, la calidad y cantidad de obreros y cuadrillas de trabajo, la calidad y cantidad de los materiales y una muy importante, el rendimiento de las diferentes cuadrillas de trabajo y de los distintos equipos necesarios para efectuar un proceso, entre otras.

La estimación de la duración de un proceso puede desarrollarse a través de varias herramientas metodológicas de programación, como el PERT y el CPM, con la ayuda de una serie de modelos gráficos como la matriz de precedencia, el diagrama de Gantt y diagramas de redes conocidos como diagramas de nodos y de flechas. Finalmente se determinará una ruta crítica para el proceso que enmarcará las actividades críticas, es decir aquellas de mayor cuidado cuyo retraso ocasionaría un aumento en la duración final del proceso. Conociendo la ruta crítica se estimaría la duración final del proceso, que es el principal objetivo a lo largo de este capítulo.

2.2 PERSPECTIVA HISTÓRICA

Antes del desarrollo de los métodos PERT y CPM, el sistema que mejor representaba y controlaba un plan de trabajo en la construcción era la carta de Gantt o diagrama de barras, que a pesar de su gran utilidad, demostraba ineficiencias al no mostrar las relaciones de precedencias entre las actividades o diferentes etapas que conformaban un proceso y en no permitir ver qué actividades son necesario acelerar para que la duración del proyecto sea la estimada en caso de retrasos.

Entre los años 1956 y 1958 debido a los desarrollos tecnológicos y científicos, la necesidad de establecer mejores sistemas de planeación y control de operaciones aplicados en proyectos complejos conllevó a varios países, principalmente a Estados Unidos y Gran Bretaña a interesarse en estudiar estos problemas.

En el año de 1958 la Oficina de Proyectos Especiales de la Marina Norteamericana comenzó el proyecto del “submarino atómico Polaris”, en el proyecto estaban vinculados 250 contratistas directos y alrededor de 9.000

subcontratistas¹⁵; observando la necesidad de coordinar y controlar estos esfuerzos, los contratistas debieron estimar el tiempo requerido de sus operaciones bajo ciertos criterios que contemplaban el grado de suerte o éxito de su realización, con el objetivo de desarrollar los procesos con eficacia bajo un nivel razonable de costo y tiempo; para luego someter a procesos matemáticos estas estimaciones y así determinar la fecha de terminación de cada contrato, y a este procedimiento probabilístico se le denominó **PERT**, siglas de las palabras inglesas: Program Evaluation and Review Technique, que traduce Programa de evaluación y revisión técnica. Esta nueva herramienta permitió reducir el tiempo presupuestado inicial del proyecto de 5 años, a 3 años.

De manera paralela la empresa constructora E.I. Du Pont de Nemours, quien trabajaba construyendo importantes plantas químicas en América, desarrolló un sistema de mejoramiento en la planificación y programación de dichos proyectos constructivos, denominado inicialmente "Programación y planeación de proyectos (PPS), cuyas siglas en inglés corresponden a: Project Planning and Scheduling" que luego denominó **CPM**, siglas de las palabras inglesas: Critical Path Method, que traduce Método de la ruta crítica. Este sistema incluía los trabajos de diseño, construcción y mantenimiento de dichas obras civiles; generó grandes resultados a la compañía en su primer año de aplicación, ya que eliminó las demoras y le permitió ahorrar más de un millón de dólares. Al requerir el método CPM una serie de tiempo y costos realistas, hacían que fuera más representativo que el PERT. Este punto de análisis le dio mayor acogida a esta herramienta en la industria de la construcción.

¹⁵ CHUEN, Luis Yu. Aplicaciones prácticas del PERT y CPM. Tercera edición. España, Ediciones Deusto, 1969. p.17.

2.3 OBJETIVOS DE LA PROGRAMACIÓN

- Obtener un conocimiento más o menos acertado de las fechas de inicio y terminación de cada actividad para así poder estimar la duración que tendrán las actividades, tareas y el proceso en general, que conlleven a un eficiente control durante la ejecución de obra.
- Determinar el número de actividades requeridas en cada periodo de tiempo, por ejemplo por días, semanas o meses.
- Identificar las actividades críticas, que componen la ruta crítica, es decir, aquellas cuyo retraso en la ejecución suponen un incremento en la duración total del proceso.
- Detectar y cuantificar las holguras de las actividades no críticas, es decir, el tiempo que pueden retrasarse (en su comienzo o finalización) sin que el proceso se vea retrasado por ello.
- Hacer una asignación de los recursos (cuadrillas, materiales, equipos) de las actividades teniendo en cuenta las prioridades que se puedan presentar guiados por la ruta crítica y otras restricciones que se puedan presentar durante la ejecución de los procesos.
- Tener conocimiento claro de las diferentes fechas importantes en la administración de un proceso como son, contratos de obreros, compra y transporte de materiales, alquiler de maquinarias, etc.
- Encontrar las actividades y tareas que requieren una aceleración para contrarrestar el retraso general del proceso.

- Continuar con el propósito planteado en la planeación de lograr una buena metodología que conlleve a la realización de un proceso eficiente y de características técnicas excelentes que contribuyan con un proceso económico para el dueño de la obra.

2.4 MODELO GRÁFICO DE TIEMPOS

Con el propósito de conocer de manera clara la marcha de la obra, entender y controlar su avance en el tiempo; se han creado algunas herramientas gráficas que permiten estos logros de una forma dinámica y objetiva, a continuación se enunciarán y explicarán con detalle cada uno de estos modelos gráficos de tiempos.

2.4.1 DIAGRAMA DE GANTT¹⁶

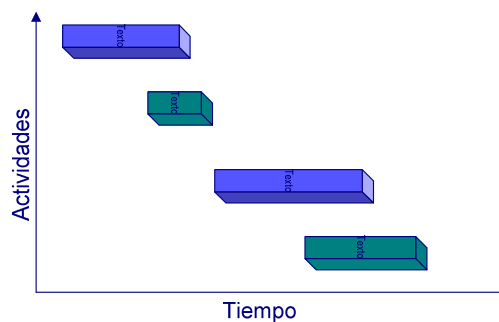
El diagrama de Gantt es una herramienta gráfica de barras desarrollada por el ingeniero Norteamericano Henry Gantt para la programación del arsenal Frankford durante la I Guerra Mundial. Su objetivo es mostrar las fechas de comienzo y terminación de las actividades y las duraciones estimadas a lo largo de un periodo de tiempo determinado, pero omitiendo las relaciones y dependencias entre dichas actividades. El gráfico consiste en un sistema de coordenadas, en donde el eje horizontal representa la escala de tiempos que se está manejando, cuya unidad puede ser horas, días, semanas, meses u otra. El eje vertical indica las actividades a realizar; la duración y posición en el tiempo de cada actividad se representa mediante el dibujo de líneas horizontales. Las actividades son representadas por medio de rectángulos cuya longitud señala su duración y cuya

¹⁶ CHASE B, Richard. JACOBS Robert. AQUILANO Nicholas. Administración de la Producción y Operaciones: Para una ventaja competitiva. Décima edición. México. Mc Graw Hill, 2005.p79

altura no tiene importancia. La posición de cada bloque rectangular en el diagrama señala los instantes de inicio y terminación de cada actividad a que corresponden. Como ventajas del diagrama de Gantt está la facilidad de construcción, comprensión y la visualización que ofrece de la distribución temporal del proceso; como desventajas, no muestra relaciones entre tareas, no muestra la dependencia que existe entre ellas, no permite hacer cálculos y el concepto de porcentaje de realización es un concepto subjetivo.

Este tipo de diagrama sirvió como base para la elaboración de redes direccionadas como las de PERT y CPM.

Figura 26. Diagrama de Gantt.



Fuente: El Autor.

2.4.2 DIAGRAMA DE PRECEDENCIAS DEL CPM

El sistema de precedencias del CPM, permite emplear varios tipos de relaciones entre las actividades, generando así una mayor flexibilidad en el desarrollo de la red del CPM.

Elementos del diagrama de precedencias del CPM

Actividades

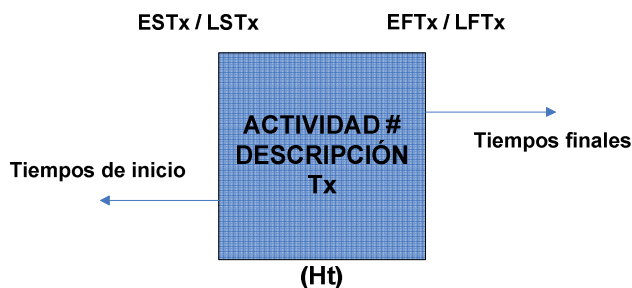
La actividad de construcción en este tipo de gráfico es normalmente representada por un rectángulo; dentro de él se colocan usualmente tres artículos de información, en orden descendente, estos son: el número de la actividad, un número entero que por motivos prácticos representa la actividad para quien desarrolla la programación; el nombre o descripción de la actividad, caracteres alfabéticos que enseñan la actividad y por ultimo la duración de la actividad, que determina el tiempo previsto que demora en realizarse.

Tiempos relacionados con cada actividad

El borde izquierdo de la caja está asociado con los tiempos de inicio de la actividad, el borde derecho es denominado borde final ya que cualquier contacto de las flechas con este sector relaciona los tiempos finales de la actividad.

En la parte superior y a cada lado de la caja, aparecen unos números que representan los distintos tiempos con que el método del CPM trabaja (tiempos tempranos y tiempos tardíos); en el sector izquierdo se ubican el tiempo temprano inicial sobre el tiempo tardío inicial de la actividad y en el sector derecho se ubican el tiempo temprano final sobre el tiempo tardío final.

Figura 27. Esquema ilustrativo de los elementos de un diagrama de precedencias.



Fuente: *Construction Planning and Scheduling*. Donn E. Hancher. University of Kentucky

EST_x: (Early start time). Tiempo temprano inicial

LST_x: (Late start time). Tiempo tardío inicial

EFT_x: (Early finish time). Tiempo temprano final

LFT_x: (Late finish time). Tiempo tardío final

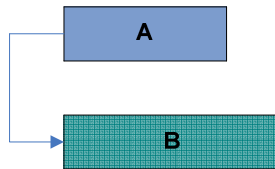
T_x: (Time). Duración de la actividad

Relaciones de precedencia del CPM

Cada actividad en un diagrama de precedencias debe contener la anterior información y debe ser relacionada con las otras actividades que conforman el proceso por medio de unas flechas que servirán de conectores. A continuación se enunciará cada relación de precedencia.

- **Relación Comienzo a Comienzo:** Establece que las actividades deben empezar en la misma fecha; que la actividad B no puede empezar antes de que inicie la actividad A, esto requiere que el tiempo temprano inicial de B sea mayor o igual que el tiempo temprano inicial de A, la situación mayor puede ocurrir cuando la actividad B esté precedida por otra actividad con una limitación de tiempo temprano inicial mayor que el tiempo de la actividad A. Su forma de representación es la siguiente:

Figura 28. Relación Comienzo a Comienzo.



Fuente: *Construction Planning and Scheduling*. Donn E. Hancher. University of Kentucky.

- **Relación Fin a Comienzo:** Establece que La actividad siguiente no puede iniciar hasta que la anterior no haya concluido, que la actividad B no puede empezar antes que la actividad A sea finalizada, esto requiere que el tiempo temprano inicial de la actividad B sea mayor o igual que el tiempo temprano final, es una de las relaciones más empleadas en el diagrama de precedencias, una forma de representarlo es la siguiente:

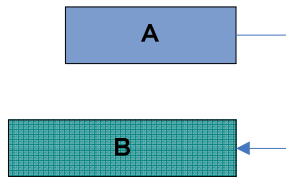
Figura 29. Relación Fin a Comienzo.



Fuente: *Construction Planning and Scheduling*. Donn E. Hancher. University of Kentucky.

- **Relación Fin a Fin:** Establece que dos o más actividades deben terminar en la misma fecha, que la actividad B no puede terminar antes que la actividad A finalice, requiere que el tiempo temprano final de B sea mayor o igual que el tiempo temprano final de A. Con su representación en la red se podrá saber cuáles deben ser sus fechas de inicio para cumplir con el requisito.

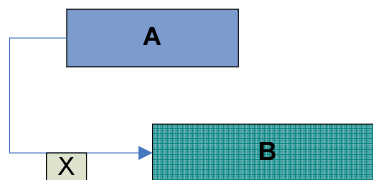
Figura 30. Relación Fin a Fin.



Fuente: *Construction Planning and Scheduling*. Donn E. Hancher. University of Kentucky.

- **Relación Desfasada:** Es una relación que representa un retraso o desfase entre dos actividades, el desfase puede ser demostrado por cualquiera de las tres relaciones de precedencia normal, comienzo a comienzo, fin a comienzo y fin a fin. Un ejemplo de esta representación es la siguiente relación desfasada que muestra una relación comienzo a comienzo desfasada, esto significa que la actividad B no puede comenzar hasta que se haya completado X días de trabajo en la actividad A.

Figura 31. Relación Desfasada.



Fuente: *Construction Planning and Scheduling*. Donn E. Hancher. University of Kentucky.

2.4.3 DIAGRAMA DE REDES

Son instrumentos de orden y control de actividades, tareas, procesos o proyectos que combinan dinámicamente en un diagrama las actividades y eventos, representadas por nodos y flechas para describir e ilustrar de manera lógica la ejecución del proceso. Para conseguir un diagrama de red eficiente, las actividades utilizadas deben ser de fácil identificación, tener inicio y fin determinados, presentar relación entre ellas y un tiempo de duración determinado. En el presente capítulo, se explicará en detalle dos tipos de gráficos de redes, conocidos mediante el nombre de *diagrama de flechas* y *diagrama de nodos*.

Conceptos y definiciones

Programación: La programación de una obra consiste en determinar los tiempos que tardan en realizarse todas las actividades que conforman un proceso con el objetivo de lograr una coordinación en conjunto para poder calcular así, la duración total de cada proceso y de la obra en general.

Proceso: Un proceso es definido como el conjunto de actividades relacionadas que al ser articuladas *transforman* unos *insumos* o recursos variables (entradas) en *productos* finales con valor (salidas); logrando definirse también como un sistema.

Actividad: Una actividad es una acción o conjunto de acciones realizadas con procedimiento, con regularidad y planeación, que requieren la capacidad de un grupo de trabajo y que de manera articulada con otras actividades constituyen las tareas que conforman la estructura de trabajo de las obras.

Evento: Es el instante de inicio y/o finalización de una actividad o un conjunto de actividades. Los eventos no consumen tiempo ni recursos.

Propiedades fundamentales de los eventos y actividades

- En un diagrama de redes, una actividad sucesora solo puede comenzar cuando termine la última de sus actividades predecesoras.
- Hasta que no se hayan realizado completamente las actividades que llegan a un evento, este último no puede concretarse.

Diagrama de nodos

En el diagrama de nodos, las actividades son representadas por nodos y las relaciones entre actividades a través de flechas que indican el sentido de la secuencia. Cada flecha se usa sólo para conectar dos nodos y pueden cruzarse siempre y cuando se respeten las precedencias, el número de nodos es igual al número de actividades más dos, ya que se debe colocar un nodo que indique el inicio del proceso y otro nodo que indique su finalización.

Figura 32. Tipo de relación entre actividades, diagrama de Nodos.

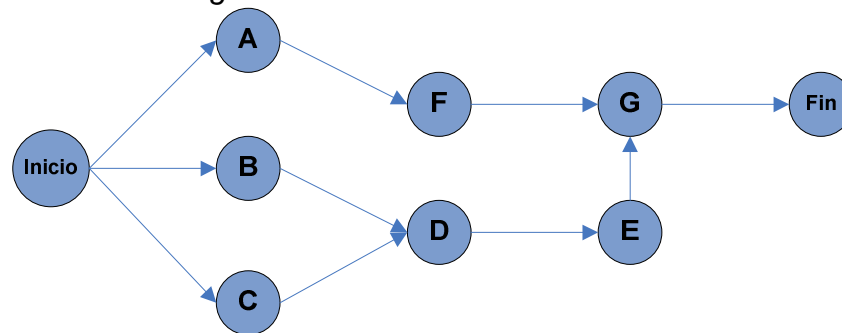


R: Relación entre actividades. Siempre la relación va ser fin a comienzo.

A, B, C: Actividades.

Fuente: El Autor.

Figura 33. Modelo de Diagrama de Nodos.



Fuente: El Autor.

Elementos del diagrama de nodos

Actividades

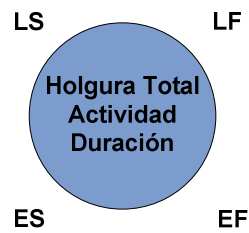
Dentro del nodo que representa la actividad se colocan usualmente tres artículos de información, en orden descendente, estos son: la holgura total de la actividad, tiempo disponible que puede tomar la actividad sin que afecte la duración total del proceso; la actividad, usualmente se identifica con una letra mayúscula y por último la duración de la actividad, que determina el tiempo previsto que demora en realizarse la actividad.

Tiempos relacionados con cada actividad

El sector izquierdo del nodo que normalmente es una figura circular esta asociado con los tiempos de inicio de la actividad y el sector derecho esta relacionado con los tiempos finales de la actividad.

En la parte superior izquierda del nodo se ubica el tiempo tardío inicial de la actividad y en la inferior izquierda el tiempo temprano inicial; en el sector superior derecho se encuentra el tiempo tardío final y en el inferior derecho el tiempo temprano final.

Figura 34. Esquema ilustrativo de los elementos de un diagrama de Nodos.



ES: Tiempo temprano inicial.

EF: Tiempo temprano final.

LF: Tiempo tardío final.

LS: Tiempo tardío inicial.


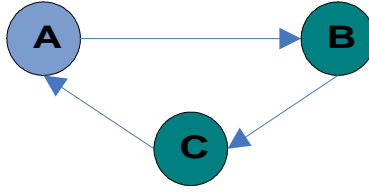
Fuente: El Autor.

Tabla 14. Tipos de precedencias en el diagrama de nodos.

| TIPO DE PRECEDENCIA | ESQUEMA |
|---|---------|
| La actividad A precede la actividad B | |
| La actividad A precede a las actividades B y C | |
| Las actividades A y B preceden a la actividad C | |

Fuente: El Autor.

Tabla 15. Errores que se pueden presentar en el diagrama de nodos.

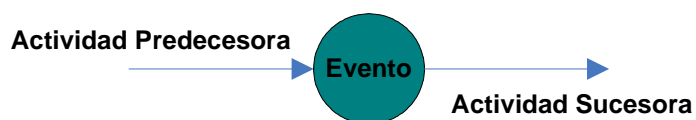
| TIPO DE ERROR | ESQUEMA |
|---|--|
| Las actividades se preceden mutuamente |  |
| Se forma un anillo de errores, donde las actividades se preceden mutuamente |  |

Fuente: El Autor.

Diagrama de flechas

En el diagrama de flechas las actividades están representadas por flechas que tienen sentido cuya longitud, forma y grosor carecen de significado. La actividad inicia y finaliza en un instante determinado, denominado evento inicial y evento final respectivamente, que serán caracterizados por nodos. Es importante conocer que la flecha que representa la actividad siempre debe dirigirse de izquierda a derecha, siguiendo el comportamiento de avance del tiempo.

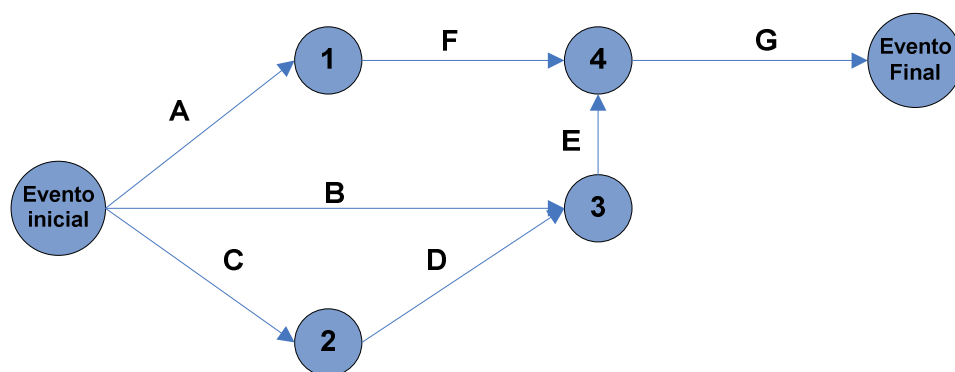
Figura 35. Tipo de relación entre actividades, diagrama de Flechas.



Fuente: El Autor.

Las actividades se dibujan de manera que representen las relaciones de precedencia entre ellas e indicando los recorridos posibles a través del diagrama desde el evento inicial hasta el final, siguiendo el sentido de las flechas deben corresponder con las secuencias en que deben realizarse las distintas actividades, es decir, las rutas del proyecto.

Figura 36. Modelo de Diagrama de Flechas.



Fuente: El Autor.

Toda actividad comienza en un evento inicial y finaliza en un evento final, este último será el nuevo evento inicial de la actividad siguiente. El evento final de una actividad permite controlar la secuencia de las actividades ya que hasta que no terminen todas las actividades que lleguen a él, no pueden iniciar las que salen de este nodo.

En toda la malla que representa la programación del proceso solo puede existir un evento al que no llegue ninguna flecha (evento inicial) y uno del que no salga ninguna flecha (evento final). No se debe dejar eventos sueltos al terminar la red, todos deben ir relacionados, su numeración normalmente asciende en la red de izquierda a derecha.

Elementos del diagrama de flechas

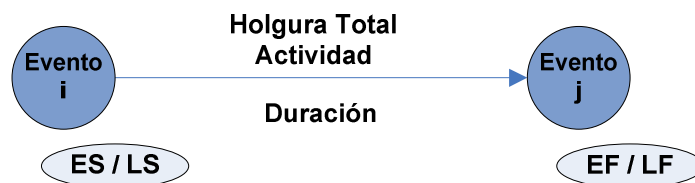
Actividades

Sobre la flecha que representa la actividad se ubicarán dos artículos de información; el primero en sentido descendente es la holgura total de la actividad, tiempo disponible que puede tomar la actividad sin que afecte la duración total del proceso y el nombre de la actividad, normalmente representado por una letra mayúscula. La duración de la actividad se ubica bajo la flecha.

Tiempos relacionados con cada actividad

Los tiempos tempranos y tiempos tardíos de las actividades serán ubicados en el sector izquierdo y derecho respectivamente de un óvalo situado al lado de cada evento; por lo tanto se hará registro de estos tiempos cada vez que se presente un evento. Ninguna actividad puede representarse dos veces en la red.

Figura 37. Esquema ilustrativo de los elementos de un diagrama de Flechas.









Fuente: ANTILL, James M. *Método de la ruta crítica y su aplicación a la construcción*.

Tipos de Flechas

La forma, longitud y grosor de la flecha en el diagrama no tiene importancia; pues se dibujarán de acuerdo con las necesidades y comodidad de presentación de la red. Pueden ser horizontales, verticales, ascendentes, descendentes curvas, rectas, quebradas, etc.

Figura 38. Tipos de Flechas.

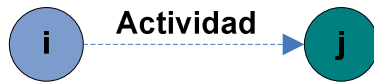
| TIPO DE FLECHA | ESQUEMA |
|--------------------------|---|
| Flecha Recta |  |
| Flecha Curva |  |
| Flecha arqueada |  |
| Flecha en Ángulos Rectos |  |
| Flecha en Líneas Rectas |  |
| Flecha en Ángulo Recto |  |

Fuente: El Autor.

Actividades ficticias

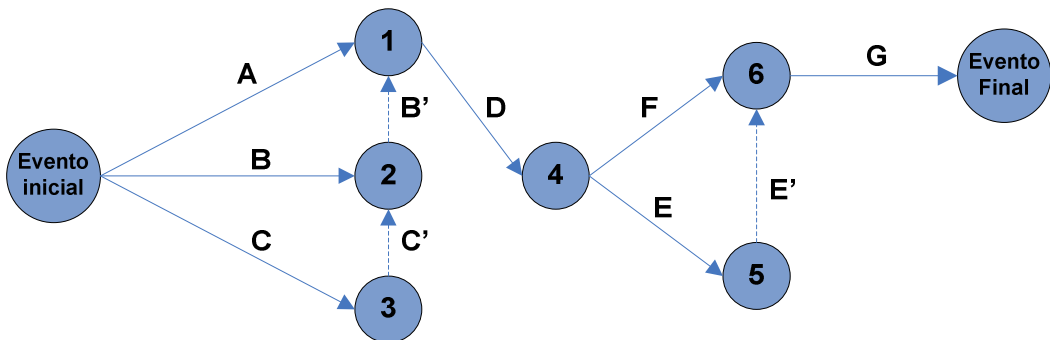
Las actividades ficticias permiten mantener una relación de precedencia adecuada, cuando circunstancias especiales así lo ameriten, no consumen trabajo, tiempo ni recursos. Son representadas por una línea punteada. Una típica circunstancia en la que se debe emplear la actividad o flecha ficticia es cuando paralelamente un conjunto de actividades parten del mismo evento y finalizan en un evento en común. Hecho que originaría confusiones en suponer que es requisito que todas las actividades finalicen o comiencen sin haberlo requerido y en cuanto al tiempo o duración de cada una de las actividades.

Figura 39. Representación de la actividad ficticia.



Fuente: El Autor.

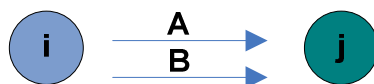
Ejemplo 4. Uso de la actividad ficticia, cuando un conjunto de actividades parten del mismo evento y llegan a un evento en común.



Las actividades A, B y C, parten del mismo nodo (Evento inicial) y llegan a un evento común (Evento # 1), para representar lo anterior, se requiere emplear las actividades ficticias B' y C', además de ubicar los eventos # 2 y # 3. Lo mismo ocurre con las actividades F y E que parten del evento # 4 para llegar al evento # 6.

Fuente: El Autor.

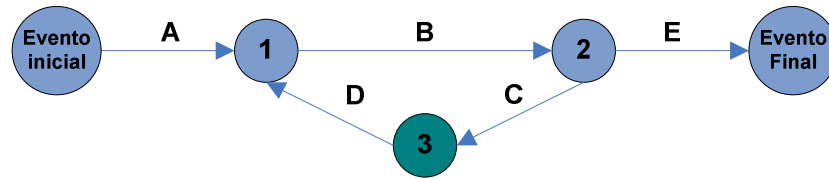
Figura 40. Error #1 cometido en el diagrama de Flechas.



Fuente: El Autor.

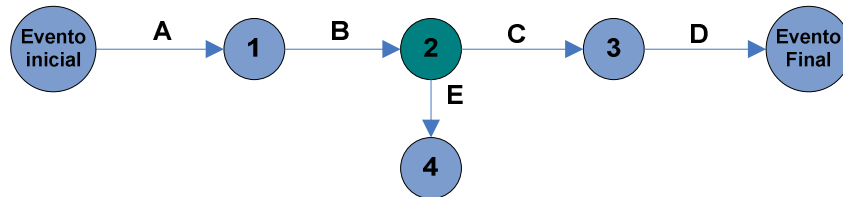
Su solución, es emplear una actividad ficticia, como la empleada en la figura # 20.

Figura 41. Error #2 cometido en el diagrama de Flechas.



Fuente: El Autor.

Figura 42. Error #3 cometido en el diagrama de Flechas.



Fuente: El Autor.

El error radica, en que no se deben dejar eventos sueltos en la red. Todos deben ir relacionados de inicio a fin.

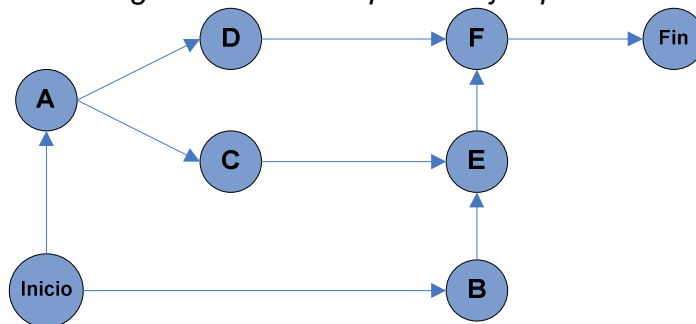
Ejemplo 5. Para la siguiente matriz de precedencias, elaborar un modelo de diagrama de nodos y un modelo de diagrama de flechas.

Tabla 16. Matriz de precedencia para el ejemplo 5.

| P S | A | B | C | D | E | F |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | ////// | | X | X | | |
| B | | ////// | | | X | |
| C | | | ////// | | X | |
| D | | | | ////// | | X |
| E | | | | | ////// | X |
| F | | | | | | ////// |

Fuente: El Autor.

Figura 43. Modelo de Diagrama de Nodos para el ejemplo 5.

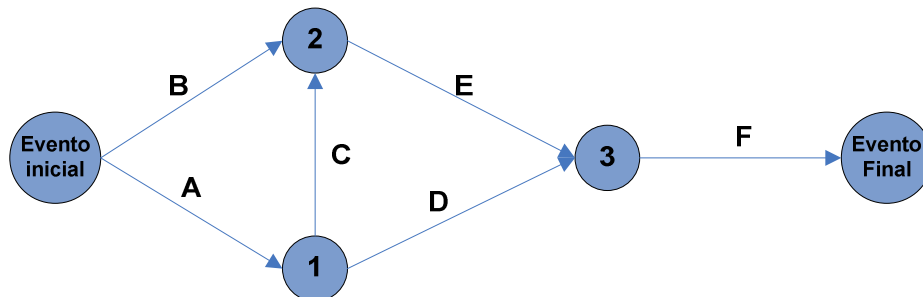


Fuente: El Autor.

Modelo de construcción:

- El primer paso en la construcción del diagrama es ubicar el nodo de inicio y a partir de él, enlazar todas las actividades que en la matriz carezcan de actividades predecesoras, como las actividades A y B.
- Luego se ubican las actividades que suceden a las actividades A y B, que en el ejemplo son C, D y E para posteriormente enlazarlas a través de flechas en sentido del tiempo, es decir, de izquierda a derecha.
- El anterior proceso de enlace de actividades a través de flechas se continúa sin dejar de observar la matriz de precedencia hasta alcanzar el fin del proceso, que está representado por un nodo final, al que llegan actividades que no presentan actividades sucesoras.
- Es importante como último paso, revisar que en toda la red no se presenten actividades sueltas; absolutamente todas deben ir enlazadas.

Figura 44. Modelo de Diagrama de Flechas para el ejemplo 5.



Fuente: El Autor.

Modelo de construcción:

- El primer paso en la construcción del diagrama de flechas es ubicar el evento de inicio y a partir de él, enlazar todas las actividades que en la matriz carezcan de actividades predecesoras, como las actividades A y B. Estas actividades representadas a través de flechas deben llegar a eventos, estos últimos deben numerarse en el sentido del tiempo, es decir en orden ascendente de izquierda a derecha.
- Luego se ubican las actividades que suceden a las actividades A y B, que en el ejemplo son C, D y E partiendo de los eventos 1 y 2 respectivamente. Cada actividad debe tener un evento inicial y un evento final.
- El anterior proceso de enlace de actividades a través de los eventos se continúa sin dejar de observar la matriz de precedencia hasta alcanzar el fin del proceso, que está representado por un evento final, al que llegan actividades que no presentan actividades sucesoras.

- Es importante como último paso, revisar que en toda la red no se presenten eventos sueltos; absolutamente todos deben ir enlazados. Excepto los eventos inicial y final.

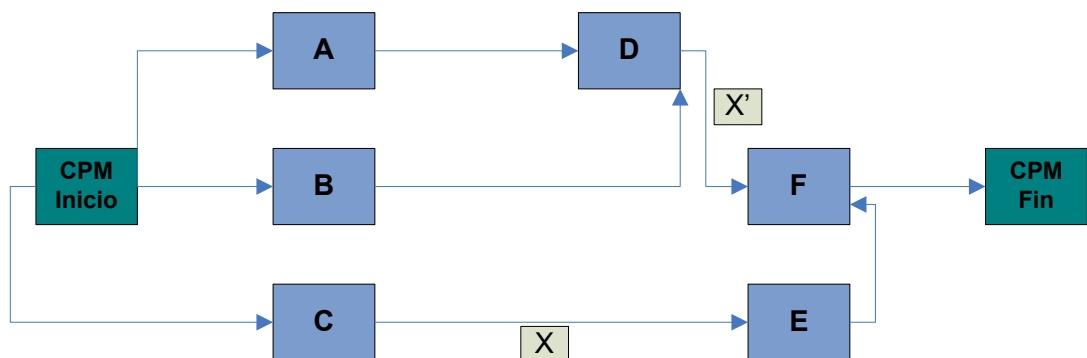
Ejemplo 6. Para la siguiente matriz de precedencias, elaborar un modelo de diagrama de precedencias del CPM.

Tabla 17. Matriz de precedencia para el ejemplo 6.

| ACTIVIDAD | ACTIVIDAD PREDECESORA | TIPO PRECEDENCIA | DESFASE |
|-----------|-----------------------|------------------|---------|
| A | -- | Fin-Com | -- |
| B | -- | Fin-Com | -- |
| C | -- | Com-Com | -- |
| D | A | Fin-Com | -- |
| | B | Com-Com | -- |
| E | C | Fin-Com | X |
| F | D | Com-Com | X' |
| | E | Fin-Fin | -- |

Fuente: El Autor.

Figura 45. Modelo de Diagrama de Precedencias para el ejemplo 6.



Fuente: El Autor.

Modelo de construcción:

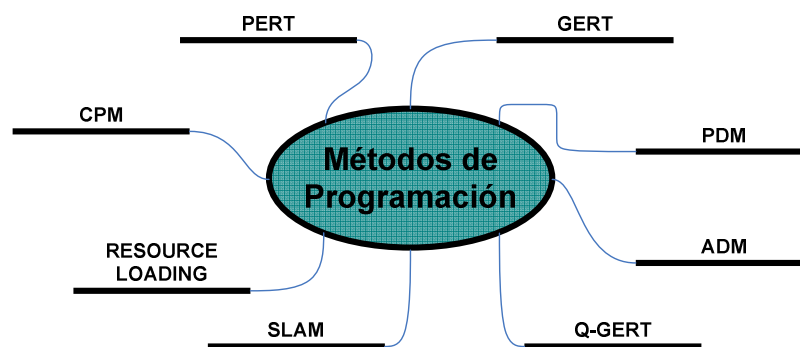
- El primer paso en la construcción del diagrama es ubicar el rectángulo de inicio y a partir de él, enlazar todas las actividades según el tipo de precedencia que en la matriz carezcan de actividades predecesoras, como las actividades A, B y C.
- Luego se ubican las actividades que suceden a las actividades A, B y C, que en el ejemplo son D y E, la actividad D es precedida por A, a través de un enlace fin a comienzo y por B, a través de un enlace fin a fin. La actividad E es precedida por C y se enlazan mediante una relación fin a comienzo desfasada un tiempo X.
- El anterior proceso de enlace de actividades a través de los diferentes tipos de relación se continúa sin dejar de observar la matriz de precedencia hasta alcanzar el fin del proceso, que está representado por un rectángulo final, al que llegan actividades que no presentan actividades sucesoras.
- Es importante como último paso, revisar que en toda la red no se presenten actividades sueltas y que los tipos de relaciones entre actividades sean los que se indican en la matriz de precedencias.

2.5 MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN

En la actualidad existen varios métodos para planificar y seguir el avance en el tiempo de una obra, debido a su objetividad, fácil manejo y presencia en el mercado laboral, algunos son más empleados que otros. En el transcurrir del texto se estudiará con detalle los métodos del CPM (método de la ruta crítica) y el PERT, cuyos inicios enunciados en la perspectiva histórica de la programación han trascendido en el tiempo y actualmente figuran en las primeras posiciones de utilización tanto en la industria de la construcción como en el desarrollo de

programas computacionales que ayudan al ingeniero en el proceso de planear, seguir, evaluar y controlar una obra civil. Con el propósito de crear expectativa en el estudiante por conocer a fondo otros métodos de programación se enunciarán algunos de ellos:

Figura 46. Métodos de programación de tiempos.



Fuente: El Autor.

2.5.1 MÉTODO CPM

(Critical Path Method; Método del Camino o Ruta Crítica)

El método del CPM basa su procedimiento de cálculo para resolver el problema de tiempos de duración de actividades involucradas en un proceso, en respuestas determinísticas, es decir estimando las duraciones en base al rendimiento y la productividad de los recursos activos como son, las cuadrillas de trabajo y los equipos.

De esta manera el método CPM considera los tiempos de duración de cada actividad, fijos (basados en experiencias pasadas, rendimientos y productividad) y

motiva a los ingenieros a una optimización de los recursos activos con el propósito de reducir las duraciones y los costos de cada proceso involucrados en una obra.

Tiempos de duración de una actividad

Para calcular el tiempo de duración de una actividad y del proceso en general, se deben considerar y conocer ciertos parámetros, como:

- Cantidad de obra a ejecutar.
- Rendimiento de las cuadrillas de trabajo y equipos presentes en el desarrollo de la actividad. Factor que puede ser determinado a través de experiencias previas de la empresa constructora, tablas de rendimientos elaboradas por otras empresas o por diferentes autores y a través de mediciones hechas directamente en el proceso por ingenieros y personal de la obra.
- Número de trabajadores que desarrollan las actividades; así como la conformación y el número de cuadrillas disponibles.

Con los anteriores parámetros se puede estimar de una manera objetiva el tiempo de duración de cada actividad; para ello, se debe seguir la siguiente ecuación:

$$Tiempo = \frac{CantObra * Rendto}{\#trabajadores, \#cuadrillas}$$

Rendimiento de mano de obra:¹⁷ Se define como el tiempo demandado por una cuadrilla calificada de trabajo o por un trabajador para realizar una actividad o tarea con un alcance definido. Se expresa en términos de tiempo demandado (horas hombre u horas cuadrilla) sobre unidad de trabajo. Algunas maneras de representar el rendimiento son:

$$\frac{h * H}{m^2}; \frac{h * H}{m^3}; \frac{h * H}{mL}; \frac{h * H}{Unidad}; \frac{h * C}{m^2}; \frac{h * C}{m^3}; \frac{h * C}{mL}; \frac{h * C}{Unidad}$$

h: Horas

H: Hombres

C: Cuadrillas

Productividad de la mano de obra: Define la cantidad de obra que puede producir un hombre o una cuadrilla de trabajo definida durante un periodo de tiempo. La productividad se refiere al inverso del rendimiento de la mano de obra. Algunas maneras de representar la productividad son:

$$\frac{m^2}{h * H}; \frac{m^3}{h * H}; \frac{mL}{h * H}; \frac{Unidad}{h * H}; \frac{m^2}{h * C}; \frac{m^3}{h * C}; \frac{mL}{h * C}; \frac{Unidad}{h * C}$$

Cuadrillas de trabajo: Normalmente las cuadrillas de trabajo, representan un grupo de trabajadores, conformados por maestros oficiales y por ayudantes encargados de ejecutar cada actividad que posteriormente materializa el proceso. Se expresa en términos de número de oficiales y número de ayudantes. Algunos autores representan una cuadrilla de trabajo de la siguiente manera:

¹⁷ MEJÍA AGUILAR, Guillermo, HERNANDEZ, Triny Carolina. Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra. Universidad Industrial de Santander. 2007.

(1x2); Cuadrilla integrada por 1 oficial y 2 ayudantes.

(0x1); Cuadrilla integrada por 0 oficiales y 1 ayudante.

(1x4); Cuadrilla integrada por 1 oficial y 4 ayudantes.

Productividad: En la industria de la construcción, la productividad se refiere al rendimiento de un equipo empleado en una hora de actividad. La productividad suele expresarse en términos de porcentaje. Por ejemplo, un equipo que presenta un factor de productividad del 70% significa que por cada hora el equipo trabaja el 70% efectivamente; es decir de 60 minutos trabaja realmente 42 minutos.

Ejemplo 7. Determinar el tiempo de duración de las actividades que conforman el proceso de fundición de un muro de contención, cuyas dimensiones son: 16.5m x 2.3m x 0.15m. Teniendo como datos las distintas cantidades de obra a ejecutar, el número de trabajadores empleados y sus respectivos rendimientos.

Tabla 18. Cantidades de obra, rendimientos, cuadrillas de trabajo y duraciones para cada actividad que conforma el proceso "Fundición de muro de contención".

| Id | Tarea | Cant | Unid | Redto h-Cd/Un | Cdlla tipo | Dcion Horas |
|------------------------|--------------------------------|-------------|----------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | Corte (10% desperdicio) | 397,535 | Kg | 0,01 | (0x2) | 3,98 |
| 2 | Figurado | 379,31 | Kg | 0,021 | (0x2) | 7,97 |
| 3 | Amarre | 433,985 | Kg | 0,048 | (1x2) | 20,83 |
| 4 | Formaleteado | 38,64 | M ² | 0,96 | (1x1) | 37,09 |
| 5 | Preparación concreto (5% desp) | 5,7 | M ³ | 0,426 | (1x4) | 2,43 |
| 6 | Vaciado concreto | 5,7 | M ³ | 0,3 | (1x4) | 1,71 |
| 7 | Desformaleteado | 38,64 | M ² | 0,96 | (1x1) | 37,09 |
| 8 | Curado (Aditivo-antisol Sika) | 37,95 | M ² | 0,15 | (0x1) | 5,69 |
| Duración total Proceso | | | | | | 116,79 |

Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo

Las cantidades de obra a ejecutar, el número de trabajadores que participan en ellas y el rendimiento que presentan en el desarrollo de su trabajo, son datos que en la práctica se obtienen a través de experiencia o de tablas elaboradas por diferentes autores. Para el ejemplo, las anteriores variables son proporcionadas y su obtención no viene al caso estudiarla.

Para obtener la duración de cada actividad, se recurre a la ecuación que involucra los parámetros de cantidad de obra, número de trabajadores y rendimiento de los mismos:

$$Tiempo = \frac{CantObra * Rendto}{\#cuadrillas}$$

- Actividad de Corte: $Tiempo = \frac{397,535Kg * 0,01 \frac{h * Cd}{Kg}}{1Cd} = 3,98horas$

El rendimiento anterior significa que una cuadrilla de (0x2) trabajadores corta 1Kg de acero en 0,01 horas de trabajo.

El valor de 3,98 horas, significa que una cuadrilla de (0x2) trabajadores tarda en cortar los 397.535Kg de acero en 3,98 horas.

El mismo procedimiento se sigue con las otras actividades que conforman el proceso; cuyos valores se muestran en la tabla 18.

2.5.2 MÉTODO PERT

(Program evaluation and review technique, Técnica de Evaluación y Revisión de Proyectos)

Con el propósito de eliminar la incertidumbre generada en la determinación de los tiempos de duración de las actividades empleada en la metodología del CPM, se ha desarrollado y utilizado el método PERT, quien basa su procedimiento de análisis en variables aleatorias con cierta distribución de probabilidad. La metodología del PERT es útil en procesos innovativos, proyectos de investigación y en actividades donde haya inseguridad en los tiempos de terminación.

Tiempos de duración de una actividad

PERT toma en cuenta esta incertidumbre usando tres tipos de estimaciones para los tiempos de las actividades, con el propósito de obtener información básica sobre su distribución de probabilidad y de estimar un tiempo de duración mucho más real, llamado *Tiempo esperado* (t_e). Para una misma actividad se determinan tres tiempos de duración: el *Tiempo optimista* (t_o), el *Tiempo más probable* (t_{mp}) y el *Tiempo pesimista* (t_p).

Tiempo optimista (t_o): Representa el tiempo mínimo requerido para realizar una actividad si se tiene buena suerte.

Tiempo más probable (t_{mp}): Representa el tiempo normal en que la actividad debería desarrollarse, es basado en la experiencia y se obtiene a través de repetir la actividad determinado número de veces bajo circunstancias esencialmente iguales.

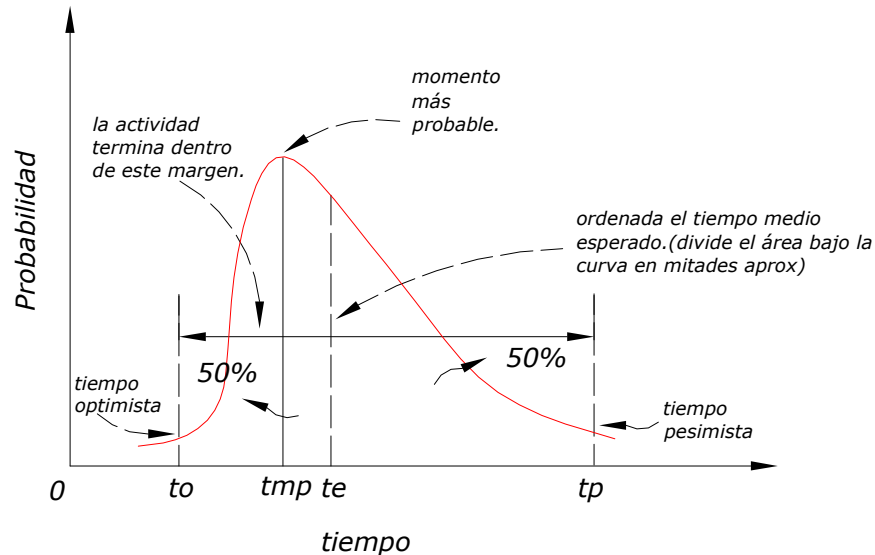
Tiempo pesimista (t_p): Representa un tiempo sobreestimado, el tiempo máximo requerido para realizar una actividad, ya que supone retrasos, fallas y que se presenta en condiciones desfavorables.

Por lo general, la información relacionada con los valores de estos tiempos es obtenida por las personas que van a realizar la actividad.

Distribución de probabilidad

Una vez determinadas las tres estimaciones de tiempos anteriores, se procede a graficar una curva de distribución de probabilidades, que por su forma, puede ser tomada, como una curva de distribución beta con la que se pueden hacer varias aproximaciones en cálculos matemáticos, que sirven como manejo de información de tiempos. El valor medio de la distribución (t_e) no coincide, con el tiempo más probable (t_{mp}), sin embargo es el tiempo que divide el área bajo la curva en dos partes iguales, es decir, en dos áreas con el 50% de probabilidad aproximadamente. Por lo anterior, el tiempo medio esperado es supuesto con un 50% de probabilidad de que la duración real lo exceda. La incertidumbre presente en la estimación del tiempo esperado se expresa a través de medidas de dispersión como la desviación estándar (σ_{te}) y/o la varianza (V_{te}).

Figura 47. Curva de distribución de probabilidades para las duraciones de una actividad.¹⁸



Curva de distribución de probabilidades para la duración de una actividad

Esta gráfica describe la distribución de los tiempos de una actividad, ubicando en los dos extremos de la curva los tiempos optimista y pesimista debido a su poca probabilidad de ocurrencia; el tiempo más probable siempre será el valor más alto en la gráfica y puede estar ubicado en cualquier punto dentro del intervalo definido por los dos tiempos anteriores. Mientras más pequeño sea este intervalo más real será la duración estimada (t_e).

El tiempo medio esperado, puede ser calculado mediante la siguiente ecuación¹⁹:

$$t_e = \frac{t_o + 4t_{mp} + t_p}{6}$$

La desviación estándar que mide la incertidumbre es:

$$\sigma_{te} = \frac{t_p - t_o}{6}$$

¹⁸ ANTILL, James M. Método de la ruta crítica y su aplicación a la construcción. Primera edición. México Editorial Limusa-Wiley S.A, 1969. p.277.

¹⁹ EDELSTEIN, Isaac E. Programación de obras: Técnicas Gantt, CPM, PERT, Aplicadas a la construcción. Argentina. Editorial Librería Mitre. p 47.

La varianza, que calcula las variaciones de los tiempos de cada actividad, es el cuadrado de la desviación estándar:

$$vte = (\sigma_{te})^2 = \frac{(tp - to)^2}{36}$$

Si $to + tp = 2tmp$, el tiempo medio esperado es igual al tiempo más probable, de lo contrario tendrán valores diferentes, tanto mayor o menor, como se observa en la gráfica anterior.

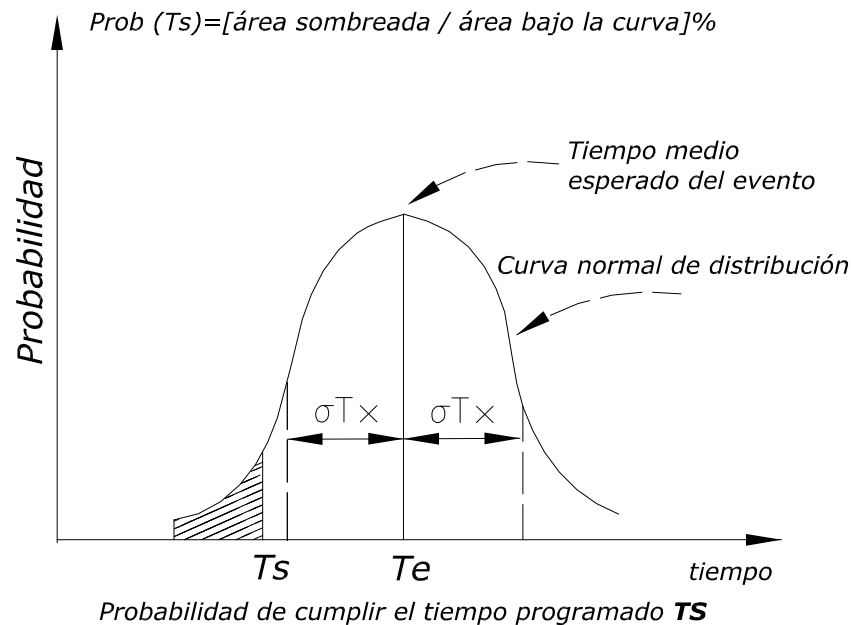
¿Cómo se calcula la duración del proceso?

La duración del proceso se calcula sumando el tiempo medio esperado (t_e) de cada actividad a lo largo de la ruta crítica, esta será una duración media. Cuando en el proceso se generan más de una ruta crítica, la duración del mismo se toma como la máxima de las duraciones generadas a lo largo de las rutas críticas. El concepto de ruta crítica será analizado en detalle más adelante.

¿Cuál es la probabilidad de finalizar el proceso en una fecha establecida?

Partiendo de la teoría de probabilidades, es posible determinar las probabilidades de finalizar el proceso en una fecha establecida T_s , para ello es necesario trazar una curva de distribución normal con centro en el tiempo medio esperado T_e . La probabilidad se obtiene determinando el porcentaje del área cortada por este tiempo, como se observa en la figura.

Figura 48. Probabilidad de cumplir un tiempo programado T_S^{20} .



Para este cálculo, varios autores han recopilado información de los valores de probabilidad para diferentes tiempos esperados; las tablas se emplean de manera sencilla, entrando con un factor “Z”, que está en función del tiempo medio esperado y del tiempo que se quiere calcular; con esto se obtiene la probabilidad.

$$Z = \frac{T_s - T_e}{\sigma T_e}$$

Si se conoce la probabilidad de ocurrencia o de riesgo de un evento, es posible determinar el factor “Z” con ayuda de las tablas y con éste parámetro, el valor de tiempo que ésta probabilidad causa, empleando la anterior ecuación de la siguiente manera:

$$T_s = T_e + Z * \sigma T_e$$

²⁰ ANTILL, James M. Método de la ruta crítica y su aplicación a la construcción. Primera edición. México. Editorial Limusa-Willey S.A, 1969. p.279.

Ejemplo 8. Para la siguiente matriz de precedencias se han asignado unos valores de los tiempos, optimista, más probable y pesimista. Calcular los tiempos esperados, las desviaciones estándar y varianzas de cada actividad y la ruta más larga del proceso de acuerdo a la metodología del PERT.

Tabla 19. Matriz de precedencia para el ejemplo 8.

| ACTIVIDAD | ACTIVIDAD PREDECESORA | Tiempo Optimista (to) días | Tiempo más Probable (tmp) días | Tiempo Pesimista (tp) días |
|-----------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| A | -- | 3 | 6 | 8 |
| B | -- | 2 | 4 | 4 |
| C | -- | 1 | 2 | 3 |
| D | C | 6 | 7 | 8 |
| E | D,B | 2 | 4 | 6 |
| F | A,E | 6 | 10 | 14 |
| G | A,E | 1 | 2 | 4 |
| H | F | 3 | 6 | 9 |
| I | G | 10 | 11 | 12 |
| J | C | 14 | 16 | 20 |
| K | H,I | 2 | 8 | 10 |

Fuente: PICÓN, Viviana Carolina. VELASCO, Alba Carolina. Elaboración de texto guía para la asignatura de construcción I. Trabajo de grado .Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2007.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

La metodología del PERT, permite calcular el tiempo esperado, la desviación estándar y la varianza de cada actividad a través de las siguientes ecuaciones:

$$te = \frac{to + 4tmp + tp}{6} \qquad \sigma_{te} = \frac{tp - to}{6} \qquad v_{te} = (\sigma_{te})^2 = \frac{(tp - to)^2}{36}$$

Entonces, reemplazando los tiempos optimista, más probable y pesimista para actividad, en las anteriores ecuaciones, se determinan los tres parámetros especificados. A manera de detalle, se calculará el tiempo esperado, la desviación estándar y la varianza de la actividad “A”. La determinación de los demás valores se propone como actividad del estudiante.

- Tiempo esperado:

$$te_{(A)} = \frac{3 + 4 * 6 + 8}{6}$$

$$te_{(A)} = 5.83 \text{ días}$$

- Desviación estándar:

$$\sigma_{te_{(A)}} = \frac{8 - 3}{6}$$

$$\sigma_{te_{(A)}} = 0.83$$

- Varianza:

$$v_{te} = (\sigma_{te})^2_{(A)} = \frac{(8 - 3)^2}{36}$$

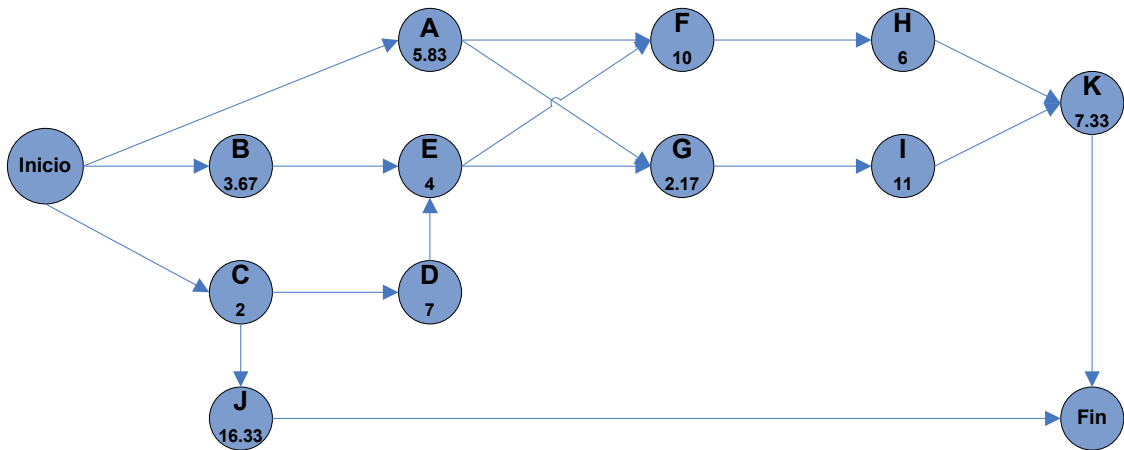
$$v_{te} = (\sigma_{te})^2_{(A)} = 0.69$$

Tabla 20. Tiempos esperados, desviaciones estándar y varianzas del ejemplo 8.

| ACTIVIDAD | ACTIVIDAD PREDECESORA | (to) días | (tmp) días | (tp) días | Tiempo Esperado (te) días | Desviación | Varianza |
|-----------|-----------------------|-----------|------------|-----------|---------------------------|------------|----------|
| A | -- | 3 | 6 | 8 | 5.83 | 0.83 | 0.69 |
| B | -- | 2 | 4 | 4 | 3.67 | 0.33 | 0.11 |
| C | -- | 1 | 2 | 3 | 2.00 | 0.33 | 0.11 |
| D | C | 6 | 7 | 8 | 7.00 | 0.33 | 0.11 |
| E | D,B | 2 | 4 | 6 | 4.00 | 0.67 | 0.44 |
| F | A,E | 6 | 10 | 14 | 10.00 | 1.33 | 1.78 |
| G | A,E | 1 | 2 | 4 | 2.17 | 0.50 | 0.25 |
| H | F | 3 | 6 | 9 | 6.00 | 1.00 | 1.00 |
| I | G | 10 | 11 | 12 | 11.00 | 0.33 | 0.11 |
| J | C | 14 | 16 | 20 | 16.33 | 1.00 | 1.00 |
| K | H,I | 2 | 8 | 10 | 7.33 | 1.33 | 1.78 |

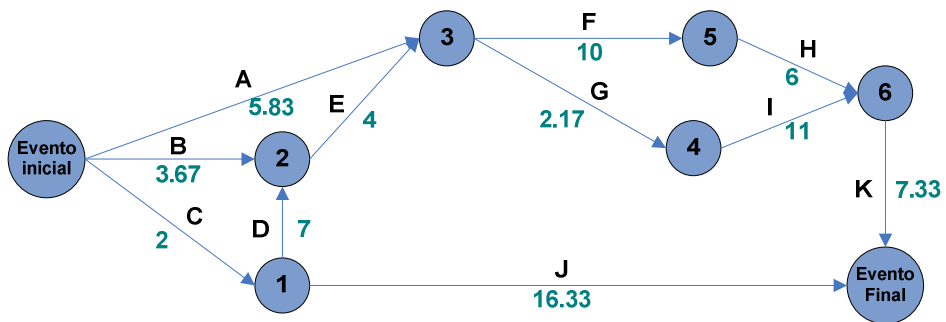
Para determinar la ruta más larga de la red; se debe esquematizar esta a través de un diagrama de flechas o de nodos que permita visualizar los distintos caminos que conducen al nodo final.

Figura 49. Modelo de Diagrama de Nodos para el ejemplo 8.



Fuente: El Autor.

Figura 50. Modelo de Diagrama de Flechas para el ejemplo 8.



Fuente: El Autor.

Análisis de rutas:

- $A + F + H + K = 5.83 + 10 + 6 + 7.33 = 29.16$ días
- $A + G + I + K = 5.83 + 2.17 + 11 + 7.33 = 26.33$ días
- $B + E + F + H + K = 3.67 + 4 + 10 + 6 + 7.33 = 31$ días
- $B + E + G + I + K = 3.67 + 4 + 2.17 + 11 + 7.33 = 28.17$ días
- $C + D + E + F + H + K = 2 + 7 + 4 + 10 + 6 + 7.33 = 36.33$ días
- $C + D + E + G + I + K = 2 + 7 + 4 + 2.17 + 11 + 7.33 = 33.5$ días
- $C + J = 2 + 16.33 = 18.33$ días

Del anterior análisis se encuentra que la ruta más larga es: **C + D + E + F + H + K**, que presenta una duración de **36.33 días**. Al sumar las varianzas de estas actividades, se obtiene una varianza total de la ruta más larga de: $\sigma_{te} = 5.22$.

Ejemplo 9. Para el ejemplo 8 se obtuvo una duración de 36.33 días al recorrer la ruta más larga. Calcular la probabilidad de que el mismo proceso tenga una duración de 30 días.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

Para calcular la probabilidad de ocurrencia, en primera medida se debe hallar el valor del factor “**Z**”, para luego entrar a una tabla de distribución normal y determinar la probabilidad de ocurrencia buscada.

$$Z = \frac{T_s - T_e}{\sigma_{T_e}}$$

$$Z = \frac{30 - 36.33}{\sqrt{5.22}}$$

$$Z = -2.77$$

Con el valor de -2.77, se entra a la tabla de distribución normal (Anexo 1) y se determina el valor de la probabilidad de ocurrencia.

Tabla 21. Probabilidad de ocurrencia para una duración del proceso de 30 días.

| Z | PROBABILIDAD |
|--------|--------------|
| Normal | 0.07 |
| -2.7 | 0.0028 |

Fuente: MEREDITH, Jack. Administración de las operaciones.

Entonces, la probabilidad de que el proceso tarde 30 días es de: **0.28%**.

2.6 METODOLOGÍA A SEGUIR EN LA PROGRAMACIÓN DE PROCESOS

Con el propósito de facilitarle al estudiante la comprensión y el desarrollo de la asignación de tiempos a las actividades para estimar por medio de una herramienta metodológica de programación la duración total del proceso; se enuncia a continuación una metodología clara y sencilla que describe los pasos que se deben aplicar para cumplir con el objetivo esencial de la programación de un proceso. La metodología se divide en dos etapas; la primera denominada "Plan de trabajo", consiste en retomar información del proceso de manera clara y objetiva ya determinada en la etapa de planeación del proceso (capítulo # 1 del presente texto) y la segunda etapa denominada "Programación de tiempos", donde se estiman los diferentes tiempos de duración de cada actividad y de todo el proceso, teniendo como base los modelos gráficos de tiempos y algunos métodos de programación.

2.6.1 PLAN DE TRABAJO

Un plan de trabajo es una maniobra que enseña la manera en que un objetivo debe ser alcanzado, las etapas necesarias en las que se ha dividido el trabajo. A continuación se enuncian los diferentes ítems que comprenden el plan de trabajo en la programación de procesos.

Definición del objetivo: Intenta definir el producto final del proceso, la cantidad de obra a ejecutar y las características del proceso. Por ejemplo: 15 m³ de columnas fundidas de 35 x 35cm de 3.000psi de resistencia; 60 m² de mampostería común con ladrillo H-15; 10 m³ de zapatas fundidas en concreto de 3.000psi de dimensiones 1.5m x 1.5m x 0.3m.

Estructura de actividades: Es la definición del plan de actividades, la estructura desagregada de trabajo (WBS) que conforma el proceso.

Relación de precedencias: Definición de la secuencia que deben tener las actividades en el proceso, para que éste sea alcanzado totalmente. La relación se plasma en una matriz de precedencias.

Ejemplo 10. Para la actividad “Colocación del ladrillo” correspondiente al proceso “Mampostería común”, determinar las actividades predecesoras y sucesoras.

Tabla 22. Secuencia entre actividades del ejemplo 10.

| Actividad | Colocación del ladrillo |
|-----------------------|---------------------------------|
| Actividad predecesora | Mortero de nivelación |
| Actividad Sucesora | Verificación de nivel y plomada |

Fuente: El Autor.

Ejemplo 11. Para la actividad “Amarre del acero” correspondiente al proceso “Fundición de columnas”, determinar las actividades predecesoras y sucesoras.

Tabla 23. Secuencia entre actividades del ejemplo 11.

| Actividad | Amarre del acero |
|--------------------------|----------------------------|
| Actividades Predecesoras | Corte del acero |
| | Flejado del acero |
| Actividades Sucesoras | Armado de la columna |
| | Formaleteado de la columna |

Fuente: El Autor.

Matriz de precedencias: Es una herramienta gráfica que permite resumir y mostrar de manera clara las precedencias entre las distintas actividades involucradas con un proceso. A cada actividad se le asigna una letra mayúscula que de manera didáctica la representará en la matriz.

Tabla 24. Matrices de precedencia para el ejemplo 11.

| ACTIVIDAD | REPRESENTACIÓN | ACTIVIDAD PREDECESORA |
|----------------------------|----------------|-----------------------|
| Corte del acero | A | -- |
| Flejado del acero | B | A |
| Amarre del acero | C | B |
| Armado de la columna | D | C |
| Formaleteado de la columna | E | C,D |

Fuente: El Autor.

| P \ S | A | B | C | D | E |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | ////// | X | | | |
| B | | ////// | X | | |
| C | | | ////// | X | X |
| D | | | | ////// | X |
| E | | | | | ////// |

Fuente: El Autor.

2.6.2 PROGRAMACIÓN DE TIEMPOS

La programación de tiempos consiste en estimar la duración de cada actividad involucrada dentro de un proceso, a través de las duraciones determinísticas basadas en rendimientos y productividad, metodología propuesta por el método CPM; y a través de duraciones probabilísticas basadas en variables aleatorias con cierta distribución de probabilidad, desarrollada por el método PERT. Se estudiará en detalle, la programación de los tiempos de cada actividad utilizando el algoritmo del CPM, conocido también con el nombre del “paso adelante y el paso atrás”.

2.7 DETERMINACIÓN DE TIEMPOS, EMPLEANDO EL ALGORITMO DEL CPM

Cuando se describieron los modelos gráficos de tiempos, como los diagramas de precedencia y diagramas de red (diagrama de nodos y de flechas), se enunciaron una serie de tiempos denominados “*tiempos tempranos*” y “*tiempos tardíos*” para cada actividad, cuyo cálculo se hace indispensable para determinar la duración total y ruta crítica del proceso empleando la metodología del CPM. A continuación

se describirá la metodología de cálculo de estos tiempos y su representación en los diagramas de precedencia y redes.

Metodología de cálculo

La metodología de cálculo de tiempos para cada actividad utilizando el algoritmo del CPM, emplea dos conceptos denominados “paso adelante” y “paso atrás”, con los que programa todas las actividades lo más temprano posible en que pueden comenzar y terminar y lo más tarde posible en que pueden comenzar y terminar respectivamente. Con el paso adelante, se calculan los tiempos tempranos recorriendo la red desde el inicio al fin, es decir de izquierda a derecha, siguiendo el sentido de avance del tiempo y con el paso atrás se calculan los tiempos tardíos recorriendo la red desde el fin hasta el inicio, es decir de derecha a izquierda.

Nomenclatura utilizada en el diagrama de nodos

Actividad predecesora: Actividad **i**

Actividad sucesora: Actividad **j**

T_i: Duración de la actividad **i**.

T_j: Duración de la actividad **j**.

ES_i: Tiempo temprano de inicio para la actividad **i** (Early Start).

Este valor será el máximo de los tiempos más tempranos de terminación de sus actividades predecesoras inmediatas.

EF_i: Tiempo temprano de terminación para la actividad **i** (Early Finish).

También es el tiempo más temprano de inicio de la actividad siguiente o sucesora,

ES_j.

$$EF_i = ES_i + T_i$$

LF_i: Tiempo más lejano (tardío) de terminación para la actividad **i** (Last Finish). Este valor será el mínimo de los tiempos más tardíos de inicio de sus actividades sucesoras inmediatas.

LS_i: Tiempo más lejano (tardío) de iniciación para la actividad **i** (Last Start). Se obtiene, a través de la siguiente ecuación.

$$LS_i = LF_i - T_i$$

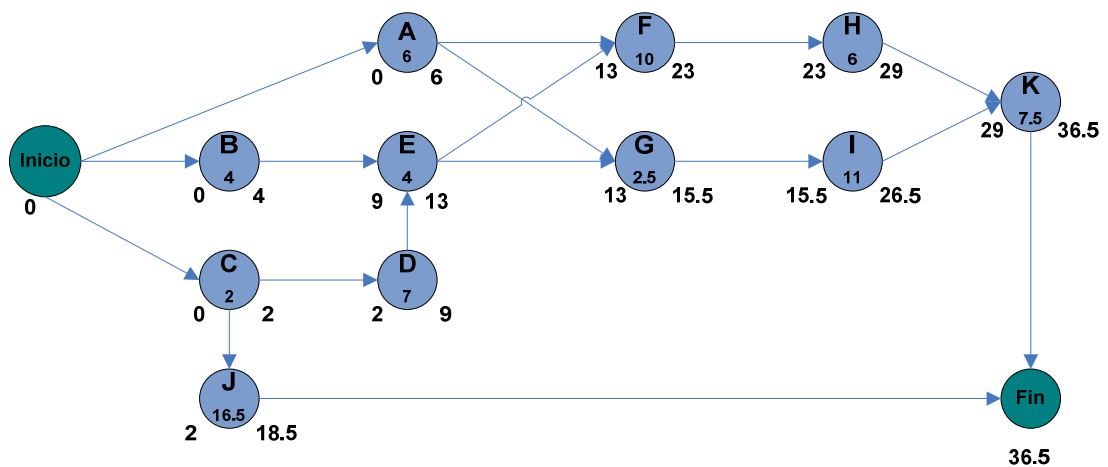
Procedimiento de programación del “paso adelante”

- Establecer y dibujar la red de secuencia de actividades, identificando cada una de ellas dentro de un nodo y la relación entre actividades por medio de flechas, en el sentido del tiempo; es decir, de izquierda a derecha.
- Determinar el tiempo de duración de cada actividad, a través de las metodologías de programación del CPM y del PERT. Ubicar este valor dentro del nodo que representa cada actividad.
- En el primer nodo que representa el inicio del proceso, asignar un valor de cero, que representa que todo el proceso parte desde un comienzo que carece de duración.
- Transmitir este valor cero a las siguientes actividades que suceden al inicio del proceso, como valor del tiempo temprano inicial **ES_i**, ubicado en la parte inferior izquierda del nodo.
- Al anterior valor, se le suma el tiempo de duración de la actividad y se obtiene el tiempo temprano final de la actividad **EF_i**, ubicado en la parte inferior derecha del nodo.

- Este último valor hallado, EF_i se coloca en la siguiente actividad de la red como tiempo temprano inicial ES_j de dicha actividad. Si la actividad sucesora es precedida por varias actividades, hay que escoger el mayor valor de EF_i .
- Así, se continúa avanzando hasta alcanzar la actividad final, cuyo valor representará el tiempo mínimo que demoraría en desarrollarse el proceso.

Ejemplo 12. Determinar los tiempos tempranos para cada actividad del ejemplo 8, a través de la metodología del paso adelante, utilizando el diagrama de Nodos. Por motivos de facilidad matemática, aproximar las duraciones obtenidas en dicho ejemplo.

Figura 51. Diagrama de nodos con los tiempos tempranos de cada actividad.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

- Al nodo que representa el inicio del proceso, asignar un valor de cero como tiempo temprano inicial.

- A las actividades A, B y C que suceden el nodo inicial, transmitir este valor de cero como tiempo temprano inicial.
- Para las actividades A, B y C, el EF_i , se obtiene sumando a los valores de cero la duración de cada actividad.
- Para las demás actividades, el EF_i se consigue sumando el ES_i con la duración de cada actividad. Por ejemplo para la actividad D, el $EF_i = 2 + 7 = 9$
- El EF_i de la actividad C (2), se transmite a sus actividades sucesoras D y J como ES_j .
- Para conocer el ES_j de la actividad E, que es precedida por las actividades B y D, se debe escoger el mayor valor de EF_i . En este caso entre 4 y 9, obteniendo un $ES_j = 9$.
- Para las otras actividades que están precedidas por más de una actividad, como F y G, se debe escoger el mayor valor de EF_i de A y E, para determinar el ES_j .
- El tiempo temprano inicial del nodo final será el mayor de los valores de tiempo temprano final que lo precedan. En el ejemplo, el mayor valor entre 36.5 y 18.5 es 36.5 días.

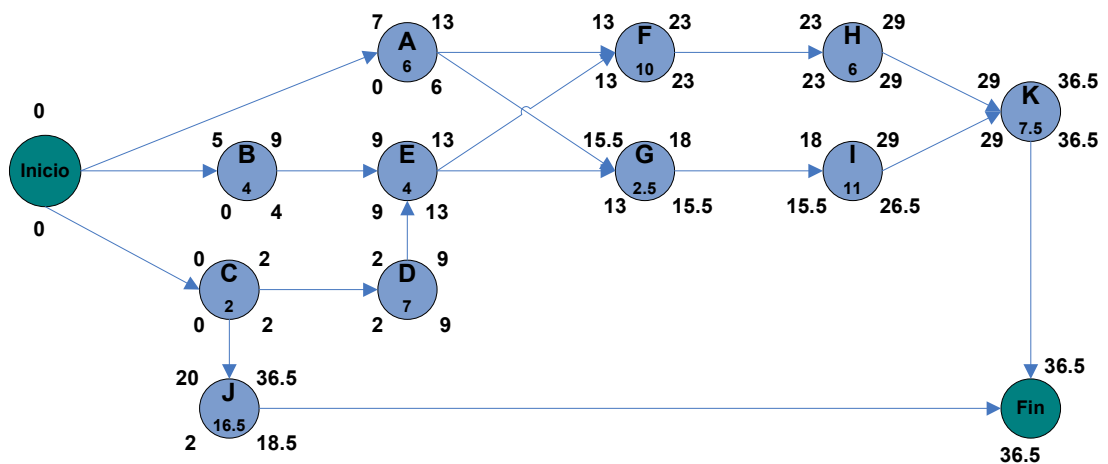
Procedimiento de programación del “paso atrás”

- El tiempo temprano inicial del nodo que representa el fin del proceso, se transmite como tiempo tardío final LF_j a cada una de las actividades que proceden dicho nodo, ubicándolo en el extremo superior derecho del nodo, dando inicio de esta manera al “paso atrás”.

- Al anterior valor se le resta el tiempo de duración de la actividad para obtener así el tiempo tardío inicial de la actividad LS_j , que se ubica en el extremo superior izquierdo del nodo.
- Este último valor hallado, LS_j , se coloca en la anterior actividad de la red como tiempo tardío final LF_i de dicha actividad. Si la actividad antecesora precede a más de una actividad, hay que escoger el menor valor de LS_j .
- Así se continúa retrocediendo hasta alcanzar el nodo inicial del proceso, donde el tiempo tardío final debe ser cero.

Ejemplo 13. Determinar los tiempos tardíos para cada actividad del ejemplo 8, a través de la metodología del paso atrás, utilizando el diagrama de Nodos.

Figura 52. Diagrama de nodos con los tiempos tardíos de cada actividad.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

- El tiempo temprano inicial para el nodo final de 36.5 días, se transmite como tiempo temprano final de dicho nodo.
- El anterior valor se transmite a las actividades predecesoras K y J como LF_j .
- Para las actividades K y J se calcula el LS_j , restando al LF_j la duración de la actividad. Para K es: $LS_j = 36.5 - 7.5 = 29$ y para J es $LS_j = 36.5 - 16.5 = 20$.
- A las actividades H e I, que preceden la actividad K, se transmite el valor encontrado de LS_j (29) como valor de LF_i y una vez más se calcula el LS_i , restando la duración de la actividad. $LS_{i(H)} = 23$ y $LS_{i(I)} = 15.5$.
- Para el nodo A, que precede a dos actividades (F y G), el valor de LF_i es el menor de los valores de LS_j de dichas actividades. El menor valor entre 15.5 y 13 es 13. El mismo análisis se requiere para las actividades E y C.
- El tiempo tardío final del nodo inicial será el menor de los valores de tiempo temprano inicial que lo sucedan y debe ser cero. En el ejemplo, el menor valor entre 7, 5 y 0 es 0.

Nomenclatura utilizada en el diagrama de flechas

- T_x : Tiempo de duración de cada una de las actividades de la red.

- **ES:** Tiempo mínimo o tiempo temprano para el evento inicial. Antes del **ES** no puede realizarse un evento y por ende no puede darse inicio a ninguna de las actividades que comienzan en él.
- **EF:** Tiempo mínimo o tiempo temprano para el evento final.
EF = ES + T_x
- **LF:** Tiempo de terminación más tardía permisible o tiempo máximo para el evento final. Después del **LF** no puede suceder el evento sin que se retrasen las actividades que parten de él.
- **LS:** Tiempo de terminación más tardía permisible o tiempo máximo para el evento inicial.
LS = LF - T_x

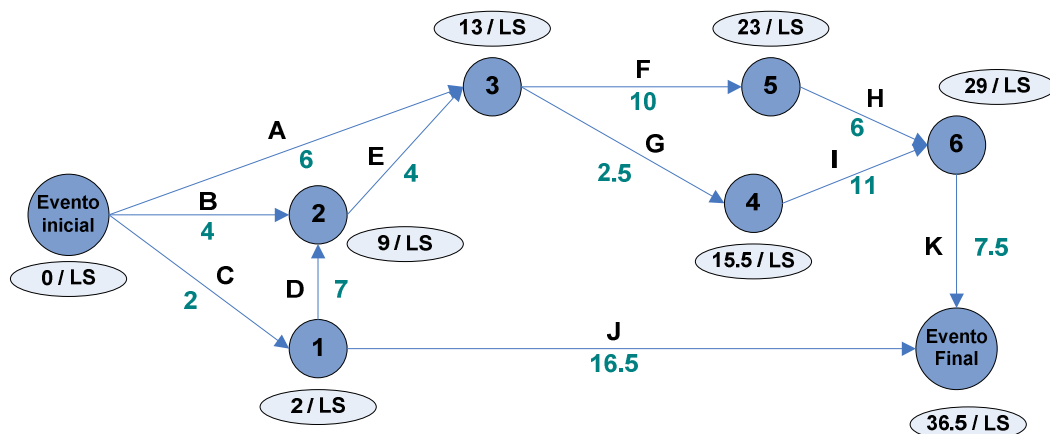
Procedimiento de programación del “paso adelante”

- Establecer y dibujar la red de secuencia de actividades, identificando cada una de ellas por medio de flechas que inician y finalizan en eventos, representados por nodos.
- Determinar el tiempo de duración de cada actividad, a través de las metodologías de programación del CPM y del PERT. Ubicar este valor debajo de la flecha que representa cada actividad.
- En el primer evento que representa el inicio del proceso, asignar un valor de cero, que significa que todo el proceso parte desde un comienzo que carece de duración.

- Los eventos que solo reciben las actividades que parten del inicio del proceso (evento inicial), tendrán como valor de tiempo temprano **ES**, la duración de dicha actividad.
- Al anterior valor, se le suma el tiempo de duración de cada actividad que parte de él y se obtiene el tiempo temprano del evento final **EF**. Si el evento recibe varias actividades, es el mayor valor de la suma entre el tiempo temprano del evento inicial y la duración de cada una de estas actividades. El valor se ubica en la parte izquierda del óvalo de tiempos que acompaña al evento final.
- Así, se continúa avanzando hasta calcular el tiempo temprano del último evento numerado, cuyo valor representará la duración mínima del proceso.

Ejemplo 14. Determinar los tiempos tempranos para cada evento del ejemplo 8, a través de la metodología del paso adelante, utilizando el diagrama de Flechas. Por motivos de facilidad matemática, aproximar las duraciones obtenidas en dicho ejemplo.

Figura 53. Diagrama de flechas con los tiempos tempranos de cada evento.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

- Asignar un valor de cero al tiempo temprano **ES** del primer evento que representa el inicio del proceso.
- El evento # 1, solo recibe la actividad C que proviene del evento inicial; por lo tanto su **ES** será la duración de la actividad. **ES** = duración actividad C = 2 días.
- Los eventos que reciben más de una actividad como los eventos # 2, 3 y 6, tendrán por **EF** el mayor valor de la suma entre el **ES** del evento inicial y la duración de la actividad. Por ejemplo el evento # 2 presenta un **EF** = 9, que es el mayor valor entre $0 + 4$ y $2 + 7$.
- El tiempo temprano del evento final será el mayor valor de la suma entre los **ES** y la duración de las actividades que lo precedan, el mayor valor entre $29 + 7.5$ y $2 + 16.5$ es **EF** = 36.5 días.

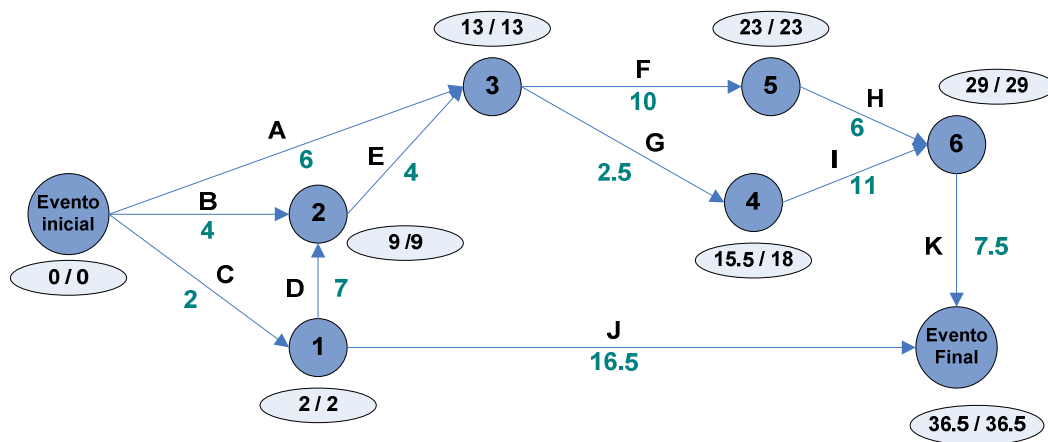
Procedimiento de programación del “paso atrás”

- El tiempo temprano del último evento del proceso **EF**, se transmite como tiempo tardío del último evento del proceso **LF**, ubicando en la parte derecha del óvalo de tiempos que acompaña al evento final del proceso; dando inicio de esta manera al “paso atrás”.
- Al anterior valor se le resta el tiempo de duración de la actividad para obtener así el tiempo tardío del evento inicial **LS**, que se ubica en el sector derecho del óvalo de tiempos. Si del evento parten varias actividades, el **LS**, es el menor valor de la resta entre el tiempo tardío del evento final y la duración de cada una de estas actividades.

- Así se continúa retrocediendo hasta alcanzar el evento inicial del proceso, donde el tiempo tardío debe ser cero.

Ejemplo 15. Determinar los tiempos tardíos para cada evento del ejemplo 8, a través de la metodología del paso atrás, utilizando el diagrama de Flechas.

Figura 54. Diagrama de flechas con los tiempos tardíos de cada evento.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

- El tiempo temprano para el evento final de 36.5 días, se transmite como tiempo tardío de dicho evento.
- Al anterior valor se le resta la duración de cada actividad que llega a él y se obtiene el **LS** del evento inicial. Para el evento # 6, el **LS** = $36.5 - 7.5 = 29$.
- Para aquellos eventos de los que parten más de una actividad, como los eventos # 1 y # 3, el **LS** será el menor valor de la diferencia entre el **LF** y la duración de la actividad. Para el evento # 3, el **LS** = $23 - 10$ o $18 - 2.5$; como el menor valor es 13, este será el valor definitivo.

- El tiempo tardío del evento inicial será el menor de las diferencias entre los **LF** y las duraciones de cada actividad y debe ser cero. En el ejemplo, el menor valor lo genera el evento # 1 y la actividad C.

Nomenclatura utilizada en el diagrama de precedencias del CPM

Actividad predecesora: Actividad **i**

Actividad sucesora: Actividad **j**

T_i: Duración de la actividad **i**.

EST_i: Tiempo temprano de inicio para la actividad **i** (Early Start). La forma de determinar su valor, varía de acuerdo al tipo de relación de precedencia entre las actividades y será el máximo de los valores encontrados.

- **Relación fin a comienzo:** **EST_i** será el valor del tiempo temprano de terminación de su actividad predecesora inmediata.
- **Relación comienzo a comienzo:** El valor de **EST_i** será el mismo valor del tiempo temprano de inicio de su actividad predecesora inmediata.
- **Relación desfasada:** El valor del **EST_i** varía según la relación de desfase, por ejemplo si es fin a comienzo, **EST_i** será la suma entre los tiempos tempranos de terminación y el valor de desfase que se presente; si es comienzo a comienzo, **EST_i** será la suma entre el tiempo temprano de inicio y el valor de desfase que se presente.

EFT_i: Tiempo temprano final para la actividad **i** (Early Finish). Su valor se consigue, sumándole al tiempo temprano de inicio anteriormente calculado la duración de la actividad.

$$EFT_i = EST_i + T_i$$

LFT_i: Tiempo tardío final para la actividad **i** (Last Finish). La forma de determinar su valor, varía de acuerdo al tipo de relación de precedencia entre las actividades sucesoras y será el mínimo de los valores encontrados.

- **Relación fin a comienzo:** **LFT_i** será el valor del tiempo tardío de inicio de su actividad sucesora inmediata. **LFT_i = LST_j**
- **Relación comienzo a comienzo:** El valor de **LFT_i** será el mismo valor del tiempo tardío de inicio de su actividad sucesora inmediata. **LFT_i = LST_j**
- **Relación desfasada:** Si el tipo de relación es comienzo a comienzo, el valor del **LFT_i** será la suma entre el tiempo tardío de inicio de la actividad sucesora **LST_j** y el desfase que se presente. Si el tipo de relación es fin a comienzo, el valor del **LFT_i** será la resta entre el tiempo tardío de inicio de la actividad sucesora **LST_j** y el desfase que se presente. Si el tipo de relación es fin a fin, **LFT_i** será la diferencia entre el tiempo tardío final de la actividad sucesora **LFT_j** y el desfase presente.
- **Relación fin a fin:** El valor de **LFT_i** será el mismo valor del tiempo tardío de terminación de su actividad sucesora inmediata. **LFT_i = LFT_j**

LST_i: Tiempo tardío inicial para la actividad **i** (Last Start). Su valor se consigue, restándole al tiempo tardío de terminación anteriormente calculado la duración de la actividad.

$$LS_i = LF_i - T_i$$

Procedimiento de programación del “paso adelante”

- Establecer y dibujar la red de secuencia de actividades, identificando cada una de ellas dentro de un rectángulo y la relación entre actividades por medio de flechas, en el sentido del tiempo; es decir, de izquierda a derecha.
- Determinar el tiempo de duración de cada actividad, a través de las metodologías de programación del CPM y del PERT. Ubicar este valor dentro del bloque que representa cada actividad.
- En el primer rectángulo que representa el inicio del proceso, asignar un valor de cero, que representa que todo el proceso parte desde un comienzo que carece de duración.
- Transmitir este valor cero a las siguientes actividades que suceden al inicio del proceso, como valor del tiempo temprano inicial **EST_i**, ubicado en la parte superior izquierda del bloque.
- Al anterior valor, se le suma el tiempo de duración de la actividad y se obtiene el tiempo temprano final de la actividad **EFT_i**, ubicado en la parte superior derecha del bloque.
- Dependiendo del tipo de relación de precedencia, el cálculo del tiempo temprano inicial de la actividad sucesora **EST_j** se logra teniendo en cuenta las consideraciones establecidas dos páginas atrás.
- Así, se continúa avanzando hasta alcanzar la actividad final, cuyo valor representará el tiempo mínimo que demoraría en desarrollarse el proceso.

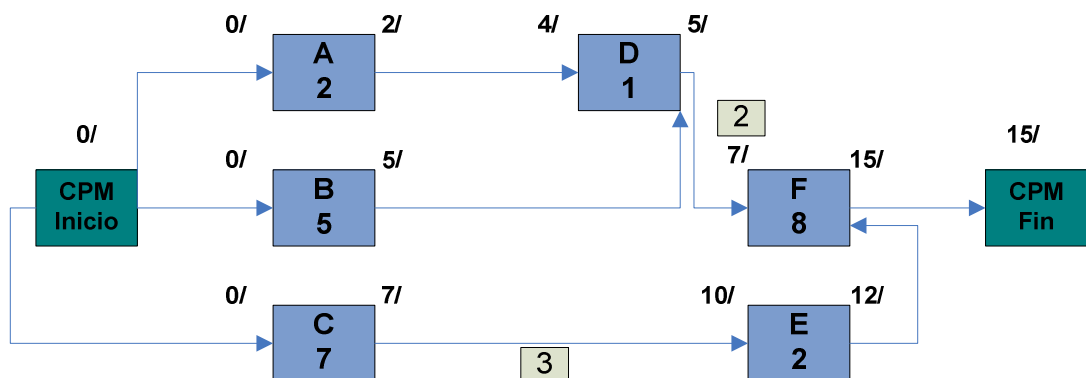
Ejemplo 16. Determinar los tiempos tempranos para cada actividad de la siguiente matriz de precedencias, a través de la metodología del paso adelante, utilizando el diagrama de Precedencias.

Tabla 25. Matriz de precedencias para el ejemplo 16.

| ACTIVIDAD | ACTIVIDAD PREDECESORA | Tiempo Esperado (te) días | TIPO PRECEDENCIA | DESFASE |
|-----------|-----------------------|---------------------------|------------------|---------|
| A | -- | 2 | Fin-Com | -- |
| B | -- | 5 | Fin-Com | -- |
| C | -- | 7 | Com-Com | -- |
| D | A | 1 | Fin-Com | -- |
| | B | | Fin-Fin | -- |
| E | C | 2 | Fin-Com | 3 |
| F | D | 8 | Fin-Com | 2 |
| | E | | Fin-Fin | -- |

Fuente: El Autor.

Figura 55. Diagrama de precedencias con los tiempos tempranos de cada actividad.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

- Se establece y dibuja la red de secuencia de actividades, identificando cada una de ellas dentro de un rectángulo y la relación respectiva entre actividades por medio de flechas.
- Se ubica dentro del bloque que representa cada actividad, los valores de duración.
- Se asigna un valor de cero, en el primer rectángulo que representa el inicio del proceso para representar que todo el proceso parte desde un comienzo que carece de duración.
- Se transmite este valor cero a las siguientes actividades que suceden al inicio del proceso, como A, B y C, como valor del tiempo temprano inicial **EST_i**, ubicándolo en la parte superior izquierda de cada bloque.
- Al anterior valor, se le suma el tiempo de duración de la actividad y se obtiene el tiempo temprano final de la actividad **EFT_i**, ubicado en la parte superior derecha del bloque. Por ejemplo para la actividad B, **EFT_B** será $0 + 5 = 5$ días.
- La actividad D es precedida por dos actividades mediante relaciones de precedencia distintas; por lo tanto se debe hacer un análisis independiente con cada relación y optar por el mayor valor que se genere. **EST_D** = **EFT_A** = 2, ya que el tipo de precedencia es fin a comienzo. El tipo de precedencia con la actividad B es fin a fin, indicando que la actividad D solo puede terminar cuando finalice la actividad B o después. **EFT_B** = 5. Si D emplea un **EST_D** = 2, presentaría un tiempo temprano final **EFT_D** = **EST_D** + **T_D** = $2 + 1 = 3$. Como el anterior valor es menor de **EFT_B** = 5, sería necesario tener un

$EFT_D = 5$ y para que lo anterior se cumpla el EST_D debe ser igual a $EFT_D - T_D = 5 - 1 = 4$ días.

- La actividad E es precedida por la actividad C mediante una relación fin a comienzo desfasada 3 días. Por lo tanto, el $EST_E = EFT_C + \text{desfase} = 7 + 3 = 10$ días. El $EFT_E = EST_E + T_E = 10 + 2 = 12$ días.
- La actividad F es precedida por las actividades D y E mediante relaciones fin a comienzo desfasada 2 días y fin a fin respectivamente. La actividad F no debe terminar antes de los 12 días en que finaliza E. $EST_F = EFT_D + \text{desfase} = 5 + 2 = 7$, generando un $EFT_F = EST_F + T_F = 7 + 8 = 15$ días; haciendo que la actividad F termine después de E, cumpliendo con la matriz.
- El tiempo temprano final de la actividad F, EFT_F , que precede a la actividad final se transmite como tiempo temprano inicial de dicha actividad, representando el tiempo mínimo que demoraría en desarrollarse el proceso. El proceso se desarrollaría en 15 días.

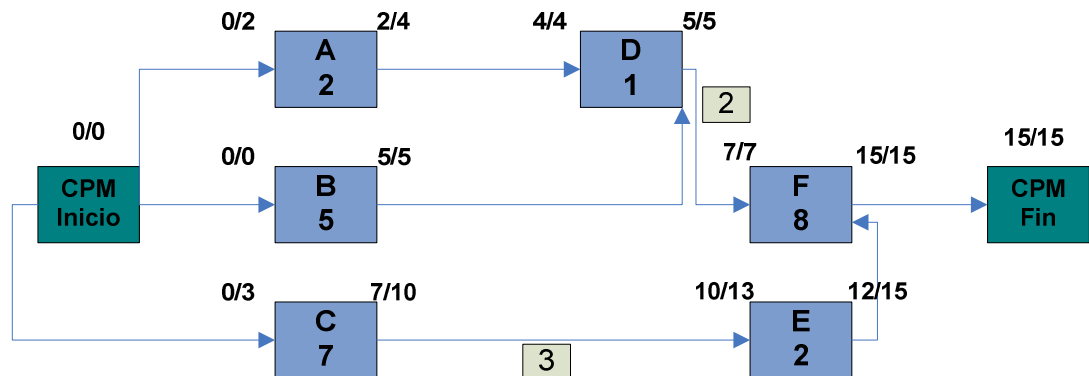
Procedimiento de programación del “paso atrás”

- El tiempo temprano inicial del bloque que representa el fin del proceso se transmite como tiempo tardío inicial de dicho bloque. Dando inicio de esta manera al “paso atrás”. $EST_i = LST_i$
- Dependiendo del tipo de relación de precedencia, el tiempo tardío final de cada actividad predecesora del bloque que representa el fin del proceso LFT_i , se calcula teniendo en cuenta las consideraciones establecidas dos páginas atrás.

- Al anterior valor se le resta el tiempo de duración de la actividad y se obtiene el tiempo tardío inicial de la actividad LST_i , ubicándolo debajo del tiempo temprano inicial.
- Dependiendo del tipo de relación de precedencia, el cálculo del tiempo tardío final de la actividad predecesora LFT_i se logra teniendo en cuenta las consideraciones establecidas dos páginas atrás.
- Así se continúa retrocediendo hasta alcanzar el bloque inicial del proceso, donde el tiempo tardío final debe ser cero.

Ejemplo 17. Determinar los tiempos tardíos para cada actividad de la tabla 25, a través de la metodología del paso atrás, utilizando el diagrama de Precedencias.

Figura 56. Diagrama de precedencias con los tiempos tardíos de cada actividad.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

- Se transmite el tiempo temprano inicial del bloque que representa el fin del proceso como tiempo tardío inicial de dicho bloque. $EST_{final} = LST_{final} = 15$ días.

- El anterior valor se transmite como tiempo tardío final de la actividad F. $LFT_F = 15$. Posteriormente se calcula el tiempo tardío inicial de esta actividad. $LST_F = LFT_F - T_F = 15 - 8 = 7$ días.
- Como la relación entre las actividades E y F es fin a fin, el $LFT_E = LFT_F = 15$. Y el $LST_E = LFT_F - T_E = 15 - 2 = 13$ días. La relación entre D y F es fin a comienzo desfasada y el cálculo del tiempo tardío final se hace de la siguiente manera: $LFT_D = LST_F - \text{desfase} = 7 - 2 = 5$ días y el $LST_D = LFT_D - T_D = 5 - 1 = 4$.
- Para la actividad B, el tiempo $LFT_B = LFT_D = 5$, debido a que la relación entre ellos es fin a fin. Su tiempo $LST_B = LFT_B - T_B = 5 - 5 = 0$.
- Para la actividad A, el tiempo $LFT_A = LST_D = 4$ porque la relación es fin a comienzo y el tiempo $LST_A = LFT_A - T_A = 4 - 2 = 2$ días.
- La actividad C precede a la actividad E mediante una relación fin a comienzo desfasada 3 días; por lo tanto el tiempo $LFT_C = LST_E - \text{desfase} = 13 - 3 = 10$ días y un tiempo $LST_C = LFT_C - T_C = 10 - 7 = 3$ días.
- El tiempo tardío inicial de la actividad inicial será el menor valor de LST de las actividades A, B y C. El menor de estos valores lo presenta la actividad B. $LST_{\text{inicial}} = LST_B = 0$. Cumpliendo con la premisa de que este valor debe ser igual a cero.

2.8 HOLGURAS

El concepto de **holgura total**, tolerancia o margen total, se relaciona con el tiempo que puede demorarse una actividad en desarrollarse completamente sin producir un incremento en la duración total del proceso.

La **holgura total** de cada actividad es calculada a través de la diferencia entre los tiempos tardíos y los tiempos tempranos en que pueden terminar y comenzar respectivamente, (**LS - ES o LF - EF**). De acuerdo al resultado obtenido, puede afirmarse que una actividad es crítica, cuando presenta un margen de tolerancia igual a cero. Es decir, las actividades críticas no presentan holgura.

Como se mencionó previamente en el diagrama de flechas, las holguras se ubican en la parte superior de la actividad, en los diagramas de nodos las holguras se escriben dentro del nodo y en los diagramas de precedencia en la parte inferior del rectángulo que representa la actividad.

Cuando la metodología de programación se realiza a través del CPM, las holguras de tiempo son llamadas tiempos flotantes u holguras flotantes. Bajo este concepto, existen varios tipos de holguras.

Holgura total de una actividad (Ht): Es el tipo de holgura anteriormente definida y explicada. Es posible que se origine retrasos en las actividades de la ruta de actividades con holgura diferente de cero (actividades no críticas), pero nunca se verá afectada la duración total del proceso. Durante el presente texto, se trabajará el concepto de holgura, bajo la definición de holgura total.

- **Distribución de la holgura total:** Si una actividad se inicia en el tiempo temprano (**ES**) la holgura quedará disponible para el final de la actividad; si la actividad comienza en el tiempo de inicio tardío (**LS**) se habrá consumido la holgura al inicio del período; de igual manera es posible dividir el tiempo de holgura usando un poco al inicio y el resto del tiempo al final del período disponible, siempre cuidando de no usar más tiempo que la suma de la duración de la actividad y su holgura total para desarrollar la actividad.

Diagrama de precedencias:

$$Ht = LFT - EFT \text{ (diferencia de tiempos tardíos)}$$

Diagrama de nodos:

$$Ht = LS - ES \text{ (diferencia de tiempos tempranos)}$$

$$Ht = LF - EF \text{ (diferencia de tiempos tardíos)}$$

Diagrama de flechas:

$$Ht = LF - (ES + T_X \text{ (duración)})$$

- **Utilidad de la holgura total:** La holgura total se usa para identificar la prioridad de ejecución y control de las actividades, ya que aquellas con menor margen deben presentar mayor control que aquellas que tienen más tiempo disponible para su ejecución. También permite determinar la ruta crítica del proceso.

Holgura libre (HI): Se refiere al tiempo que puede demorar una actividad en iniciar sin modificar el inicio de las otras actividades que lo suceden, este tiempo no puede ser mayor que el de la holgura total.

Diagrama de nodos:

$$HI = ES_j - (EF_i)$$

Diagrama de flechas:

$$HI = EF - (ES + T_X \text{ (duración)})$$

Holgura interferente (Hi): Es el margen de tiempo disponible de una actividad, cuando la actividad precedente finaliza lo más tarde posible y la actividad bajo estudio comienza lo más temprano permisible. Es la diferencia entre la holgura total y la holgura libre de una actividad.

$$Hi = Ht - HI$$

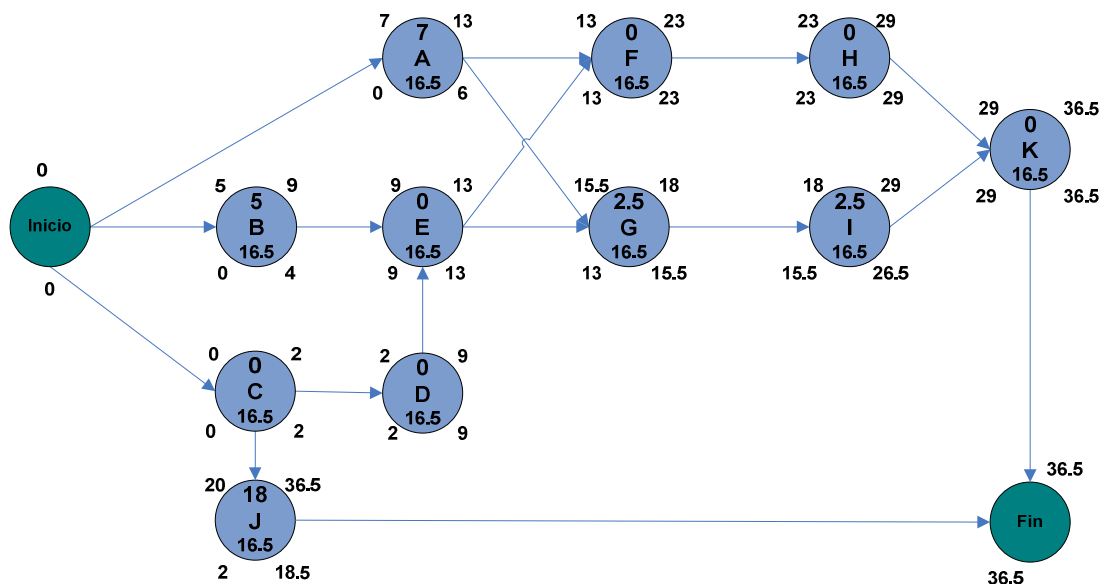
Ejemplo 18. Para la siguiente matriz de precedencia, calcular las holguras totales y ubicarlas en los diagramas de nodos y flechas.

Tabla 26. Matriz de precedencia para el ejemplo 18.

| ACTIVIDAD | ACTIVIDAD PREDECESORA | Tiempo Esperado (te) días |
|-----------|-----------------------|---------------------------|
| A | -- | 6.0 |
| B | -- | 4.0 |
| C | -- | 2.0 |
| D | C | 7.0 |
| E | D,B | 4.0 |
| F | A,E | 10.0 |
| G | A,E | 2.5 |
| H | F | 6.0 |
| I | G | 11.0 |
| J | C | 16.5 |
| K | H,I | 7.5 |

Fuente: El Autor.

Figura 57. Diagrama de nodos con las holguras totales de cada actividad.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

Cuando se determinan las holguras teniendo como base gráfica el diagrama de nodos, empleamos las siguientes ecuaciones:

Ht= LS – ES (diferencia de tiempos tempranos).

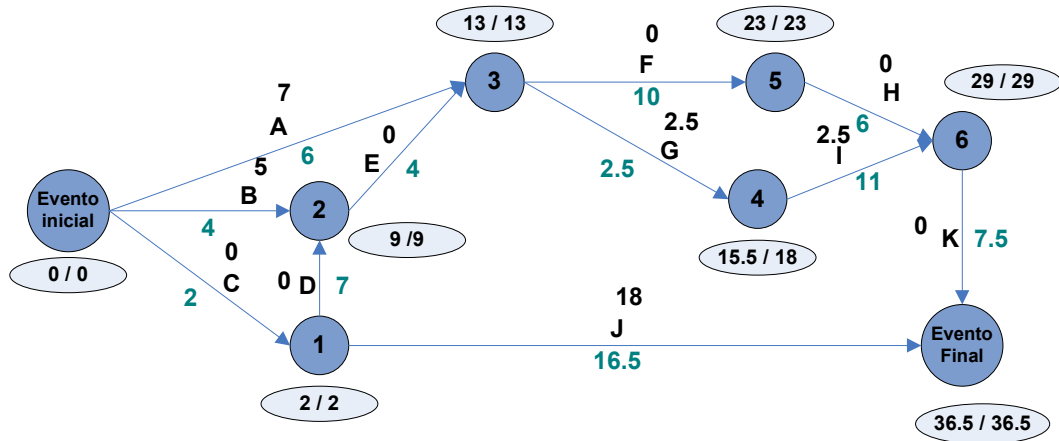
Ht= LF – EF (diferencia de tiempos tardíos).

Tabla 27. Holguras Totales para el ejemplo 18, mediante el diagrama de nodos.

| ACTIVIDAD | LS | ES | Ht (LS-ES) | LF | EF | Ht (LF-EF) |
|-----------|------|------|---------------|------|------|---------------|
| A | 7.0 | 0.0 | 7.0 | 13.0 | 6.0 | 7.0 |
| B | 5.0 | 0.0 | 5.0 | 9.0 | 4.0 | 5.0 |
| C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 0.0 |
| D | 2.0 | 2.0 | 0.0 | 9.0 | 9.0 | 0.0 |
| E | 9.0 | 9.0 | 0.0 | 13.0 | 13.0 | 0.0 |
| F | 13.0 | 13.0 | 0.0 | 23.0 | 23.0 | 0.0 |
| G | 15.5 | 13.0 | 2.5 | 18.0 | 15.5 | 2.5 |
| H | 23.0 | 23.0 | 0.0 | 29.0 | 29.0 | 0.0 |
| I | 18.0 | 15.5 | 2.5 | 29.0 | 26.5 | 2.5 |
| J | 20.0 | 2.0 | 18.0 | 36.5 | 18.5 | 18.0 |
| K | 29.0 | 29.0 | 0.0 | 36.5 | 36.5 | 0.0 |

Fuente: El Autor.

Figura 58. Diagrama de flechas con las holguras totales de cada actividad.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

Cuando se determinan las holguras teniendo como base gráfica el diagrama de flechas, empleamos la siguiente ecuación:

$$H_t = LF - (ES + T_X \text{ (duración)})$$

A continuación se enseña la manera de emplear la anterior ecuación.

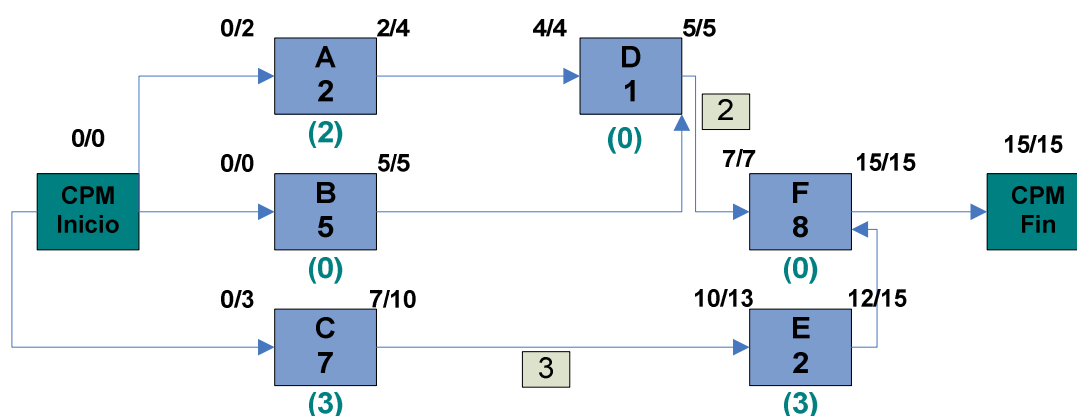
Tabla 28. Holguras Totales para el ejemplo 18, mediante el diagrama de flechas.

| ACTIVIDAD | LF | ES | Duración Actividad (Tx) | Ht LF- (ES+Tx) |
|-----------|------|------|-------------------------------|----------------------|
| A | 13.0 | 0.0 | 6.0 | 7.0 |
| B | 9.0 | 0.0 | 4.0 | 5.0 |
| C | 2.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 |
| D | 9.0 | 2.0 | 7.0 | 0.0 |
| E | 13.0 | 9.0 | 4.0 | 0.0 |
| F | 23.0 | 13.0 | 10.0 | 0.0 |
| G | 18.0 | 13.0 | 2.5 | 2.5 |
| H | 29.0 | 23.0 | 6.0 | 0.0 |
| I | 29.0 | 15.5 | 11.0 | 2.5 |
| J | 36.5 | 2.0 | 16.5 | 18.0 |
| K | 36.5 | 29.0 | 7.5 | 0.0 |

Fuente: El Autor.

Ejemplo 19. Para la matriz de precedencia de la tabla 25, calcular las holguras totales y ubicarlas en el diagrama de precedencias.

Figura 59. Diagrama de precedencias con las holguras totales de cada actividad.



Fuente: El Autor.

Modelo de desarrollo del ejemplo:

Cuando se determinan las holguras teniendo como base gráfica el diagrama de precedencias, empleamos la siguiente ecuación:

$$Ht = LFT - EFT \text{ (diferencia de tiempos tardíos).}$$

A continuación se enseñara la manera de emplear la anterior ecuación.

Tabla 29. Holguras Totales para el ejemplo 19, mediante el diagrama de precedencias.

| ACTIVIDAD | LFT | EFT | Ht (LFT-EFT) |
|-----------|-----|-----|-----------------|
| A | 4 | 2 | 2 |
| B | 5 | 5 | 0 |
| C | 10 | 7 | 3 |
| D | 5 | 5 | 0 |
| E | 15 | 12 | 3 |
| F | 15 | 15 | 0 |

Fuente: El Autor.

2.9 RUTA CRÍTICA DE UN PROCESO

La ruta crítica es uno de los objetivos principales en la programación de obras, al permitir conocer las actividades que merecen un mayor seguimiento y al ser la etapa previa en el transcurso de conocer el tiempo de duración del proceso mediante las metodologías del CPM y el PERT.

¿Cómo se define una actividad crítica?

Toda actividad crítica presenta un valor de holgura igual a cero. Es decir, cualquier retraso que sufra dicha actividad genera un incremento en la duración total del proceso. Por lo tanto, toda actividad que no presente valores de holgura igual a cero, se denominarán actividades no críticas.

¿Qué es la ruta crítica de un proceso?

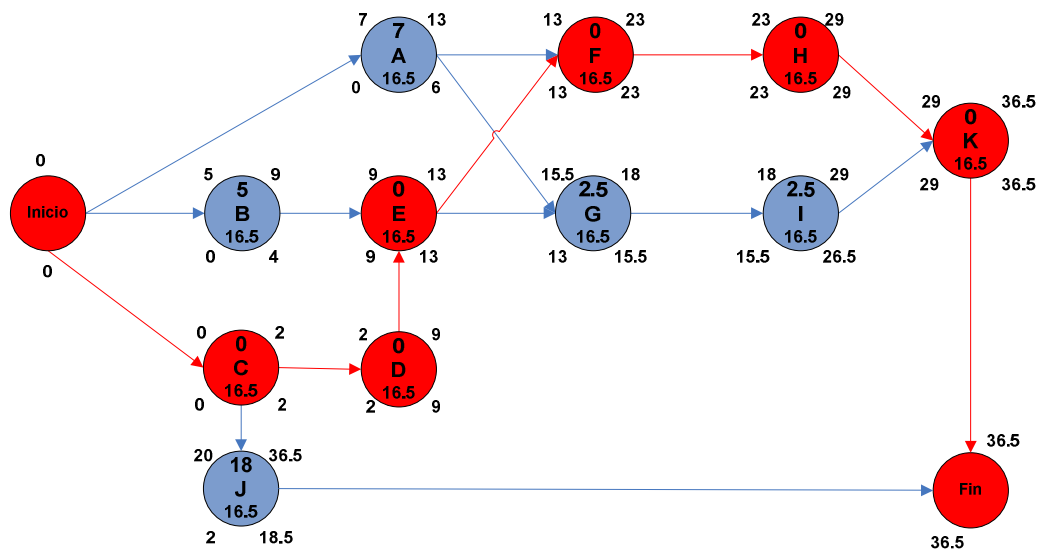
Es el conjunto de actividades críticas, desarrolladas desde que inicia el proceso hasta su terminación. Cuanto mayor sea el número de actividades en una red y menor su holgura será más probable que tienda a convertirse en ruta crítica los diferentes caminos de la red. Es importante resaltar, que en una red se pueden presentar más de una ruta crítica.

¿Qué información genera determinar la ruta crítica?

Además de indicar las cadenas de actividades que merecen un seguimiento y control detallado para alcanzar el éxito en la ejecución del proceso; la ruta crítica señala el tiempo mínimo para terminar el proceso, que será la duración obtenida de la ruta de actividades críticas más larga que se recorra desde el inicio en la red.

Ejemplo 20. Determinar la ruta crítica y el tiempo mínimo requerido para terminar el proceso, empleando el diagrama de nodos del ejemplo 18.

Figura 60. Diagrama de nodos con la demarcación de la ruta crítica.



Fuente: El Autor.

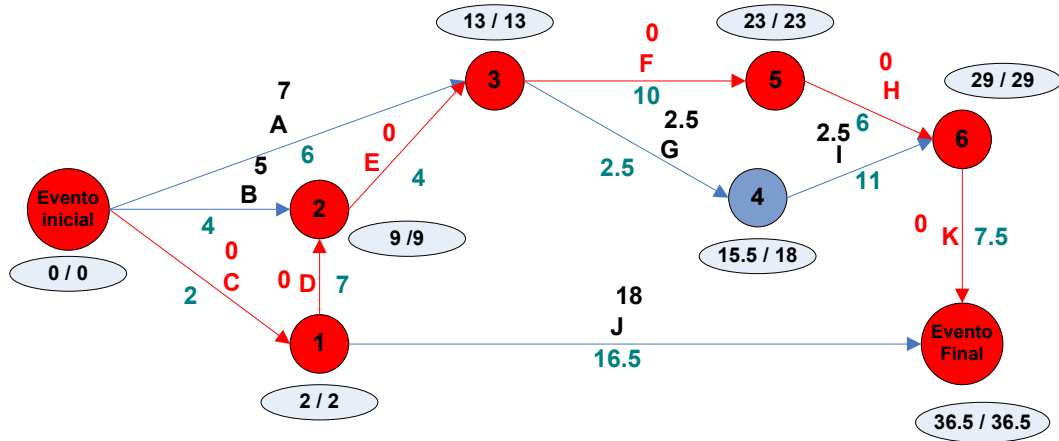
La manera de identificar la ruta crítica en el diagrama de nodos es sencilla, basta con marcar de un color (para el ejemplo, color rojo) cada actividad que presente por valor de holgura total “cero”. De esta manera se observa que la cadena de actividades que presentan holgura total igual a cero, es la siguiente:

Ruta Crítica = Inicio, C, D, E, F, H, K, Fin.

Tiempo mínimo requerido para terminar el proceso = 36.5 días.

Ejemplo 21. Determinar la ruta crítica y el tiempo mínimo requerido para terminar el proceso, empleando el diagrama de flechas del ejemplo 18.

Figura 61. Diagrama de flechas con la demarcación de la ruta crítica.



Fuente: El Autor.

La manera de identificar la ruta crítica en el diagrama de flechas es similar a la utilizada en el diagrama de nodos, hay que señalar con un color (para el ejemplo, color rojo) cada evento que presente los mismos valores de tiempos tempranos y tardíos $ES = LS$ e igualmente las actividades que los unen, ya que presentan valores de holguras totales iguales a "cero". De esta manera se observa que la cadena de actividades que presentan holgura total igual a cero, es la siguiente:

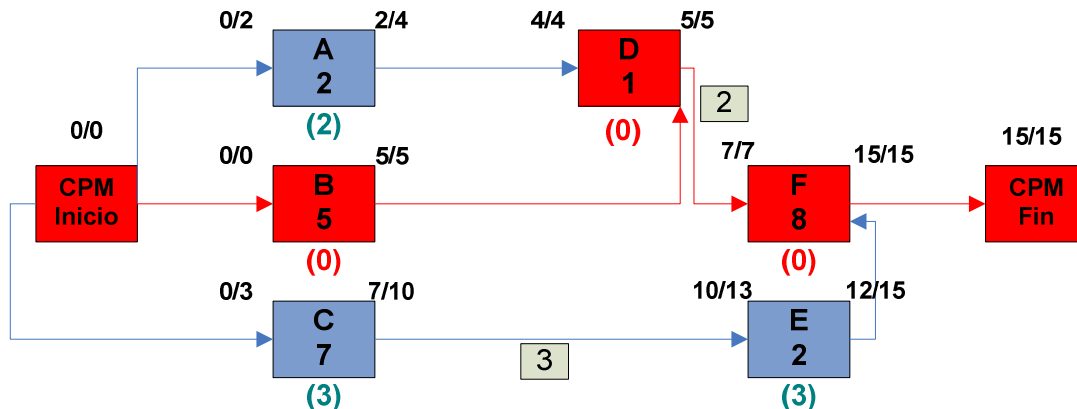
Ruta Crítica = Inicio, C, D, E, F, H, K, Fin.

Ruta Crítica = Evento inicial, evento # 1, evento # 2, evento # 3, evento # 5, evento # 6, evento final.

Tiempo mínimo requerido para terminar el proceso = 36.5 días.

Ejemplo 22. Determinar la ruta crítica y el tiempo mínimo requerido para terminar el proceso, empleando el diagrama de precedencias del ejemplo 19.

Figura 62. Diagrama de precedencias con la demarcación de la ruta crítica.



Fuente: El Autor.

La manera de identificar la ruta crítica en el diagrama de precedencias es sencilla, basta con marcar de un color (para el ejemplo, color rojo) cada actividad que presente por valor de holgura total “cero”. De esta manera se observa que la cadena de actividades que presentan holgura total igual a cero, es la siguiente:

Ruta Crítica = Inicio, B, D, F, Fin.

Tiempo mínimo requerido para terminar el proceso = 15 días.

DURACIÓN TOTAL DEL PROCESO.

El paso a seguir, después de definir de la ruta crítica más larga dentro de la red, es determinar la duración total del proceso. Este valor, es el tiempo temprano final del último rectángulo, nodo o evento presente en la red, obtenido a través de las metodologías determinísticas del CPM. Conociendo este valor se pueden formular fechas de inicio y finalización de los distintos procesos presentes en la obra. La duración total del proceso, también puede ser la sumatoria de los “tiempos esperados” de cada actividad que conforma la ruta crítica, determinados mediante la metodología del PERT.

2.10 EJERCICIOS

2.10.1 Ejercicios resueltos

Ejercicio 1. Determinar la ruta crítica y el tiempo mínimo requerido para realizar el proceso de “Fundición de zapatas y Vigas de amarre” mediante la metodología del CPM, empleando los diagramas de redes.

La Fundición de zapatas y vigas amarre es un proceso constructivo que hace parte de los cimientos de una edificación, cuyo propósito es transmitir las cargas presentes en toda la estructura al suelo. Las actividades que conforman este proceso, son las siguientes:

Fotografía 10. Actividades desarrolladas durante el proceso de “Fundición de zapatas y Vigas de amarre”.



1. EXCAVACIÓN Y RETIRO MANUAL
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)
 - ✓ Equipos: Picas, Palas, Carretilla



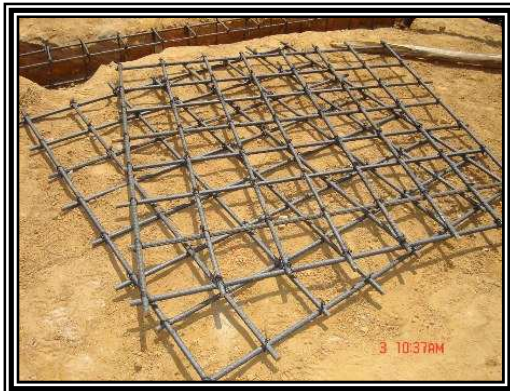
2. CORTE DEL ACERO

- ✓ Materiales: Barras y chipas de acero.
- ✓ Equipos: Metro, tronzadora, cizalla.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



3. FLEJADO Y FIGURADO DEL ACERO

- ✓ Materiales: Barras y chipas de acero.
- ✓ Equipos: Tablón con pines de acero, tubo metálico.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



4. AMARRE DEL ACERO

- ✓ Materiales: Barras y estribos de acero, alambre negro.
- ✓ Equipos: Metro, bichiroco, alicates.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)

5. PREPARACIÓN DE SOLADOS

- ✓ Materiales: Cemento, arena, agua.
- ✓ Equipos: Pala, balde.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)



6. VACIADO DE SOLADOS

- ✓ Materiales: Mezcla.
- ✓ Equipos: Pala, palustre, carretilla.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 2)



7. ARMADO DE ZAPATAS Y VIGAS DE AMARRE

- ✓ Materiales: Parrillas y vigas amarradas.
- ✓ Equipos: Metro.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 3)



8. PREPARACIÓN DE CONCRETO

- ✓ Materiales: Cemento, arena, agua, triturado.
- ✓ Equipos: Palas, cajones, baldes, mezcladora.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 4)



9. VACIADO Y VIBRADO DEL CONCRETO

- ✓ Materiales: Concreto.
- ✓ Equipos: Baldes, carretillas, vibrador.
- ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (1 x 3)



10. CURADO
- ✓ Materiales: Aditivo especial o agua.
 - ✓ Equipos: Aspersor manual, manguera.
 - ✓ Mano de Obra: Cuadrilla (0 x 1)

Fuente: El Autor.

Tabla 30. Cantidades de obra, rendimientos, cuadrillas de trabajo y duraciones para cada actividad que conforma el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de Amarre”.

| Id | Tarea | Cant | Unid | Redto h-Cd/Un | Cdlla tipo | Dcion Horas | Horas (Aprox) |
|----|-------------------------------------|----------|----------------|---------------|------------|-------------|---------------|
| A | Excavación y retiro manual | 35,00 | M ³ | 0,8 | (0x3) | 28,00 | 28,00 |
| B | Corte del acero | 1.284,00 | Kg | 0,01 | (0x2) | 12,84 | 13,00 |
| C | Flejado y figurado del acero | 1.284,00 | Kg | 0,021 | (0x2) | 26,96 | 27,00 |
| D | Amarre del acero | 1.284,00 | Kg | 0,048 | (0x2) | 61,63 | 62,00 |
| E | Preparación de solados | 1,96 | M ³ | 1,392 | (0x1) | 2,73 | 3,00 |
| F | Vaciado de solados | 1,96 | M ³ | 1,2 | (0x2) | 2,35 | 2,00 |
| G | Armado de zapatas y vigas de amarre | 1.284,00 | Kg | 0,0148 | (1x3) | 19,00 | 19,00 |
| H | Preparación de concreto | 15,82 | M ³ | 0,426 | (1x4) | 6,74 | 7,00 |
| I | Vaciado y vibrado de concreto | 15,82 | M ³ | 0,3 | (1x3) | 4,75 | 5,00 |
| J | Curado | 38,56 | M ² | 0,15 | (0x1) | 5,78 | 6,00 |

Fuente: El Autor.

Duración de cada actividad

Las cantidades de obra a ejecutar, el número de trabajadores que participan en ellas y el rendimiento que presentan, son datos extraídos de trabajos desarrollados durante la asignatura Construcción I y a partir de tablas de rendimientos suministradas por el grupo de investigación en gestión aplicada

“GIGA”. Para obtener la duración de cada actividad, se recurre a la ecuación que involucra los parámetros de cantidad de obra, número de trabajadores y rendimiento de los mismos:

$$Tiempo = \frac{CantObra * Rendto}{\#cuadrillas}$$

- Actividad de Excavación manual: $Tiempo = \frac{35m^3 * 0,8 \frac{h * Cd}{m^3}}{1Cd} = 28horas$

El rendimiento anterior significa que una cuadrilla de (0x3) trabajadores excava 1m³ de tierra en 0,8 horas de trabajo.

El valor de 28 horas, significa que una cuadrilla de (0x3) trabajadores tarda en excavar los 35m³ de tierra en 28 horas.

El mismo procedimiento se sigue con las otras actividades que conforman el proceso; cuyos valores se muestran en la tabla 30.

Secuencia entre actividades

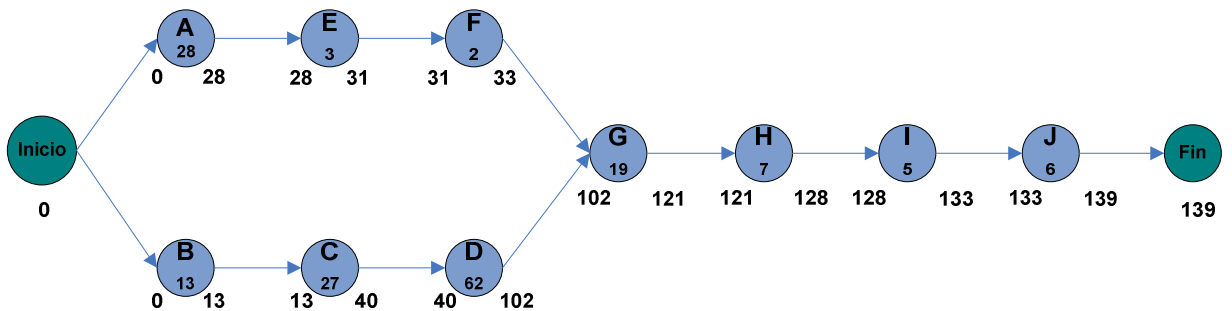
Tabla 31. Matriz de precedencia tipo 1. Para el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de Amarre”.

| Actividad | REPRESENTACIÓN | ACT. PREDECESORA |
|-------------------------------------|----------------|------------------|
| Excavación y retiro manual | A | -- |
| Corte del acero | B | -- |
| Flejado y figurado del acero | C | B |
| Amarre del acero | D | C |
| Preparación de solados | E | A |
| Vaciado de solados | F | E |
| Armado de zapatas y vigas de amarre | G | D,F |
| Preparación de concreto | H | G |
| Vaciado y vibrado de concreto | I | H |
| Curado | J | I |

Programación de tiempos

Diagrama de nodos: “paso adelante”

Figura 63. Diagrama de nodos con los tiempos tempranos de cada actividad.



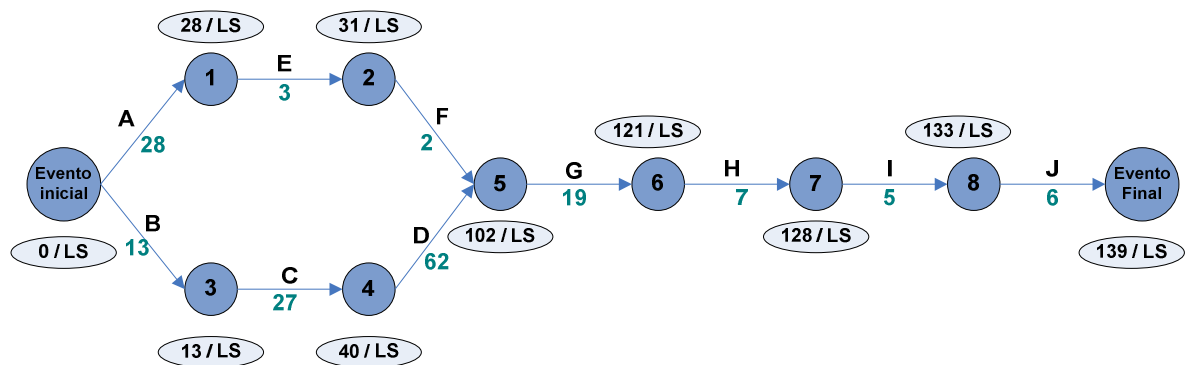
Fuente: El Autor.

- Al nodo que representa el inicio del proceso, asignar un valor de cero como tiempo temprano inicial.
- A las actividades A y B que suceden el nodo inicial, transmitir este valor de cero como tiempo temprano inicial.
- Para las actividades A y B el EF_i , se obtiene sumando a los valores de cero la duración de cada actividad.
- Para las demás actividades, el EF_i se consigue sumando el ES_i con la duración de cada actividad. Por ejemplo para la actividad C, el $EF_i = 13 + 27 = 40$
- Para conocer el ES_j de la actividad G, que es precedida por las actividades F y D, se debe escoger el mayor valor de EF_i . En este caso entre 33 y 102, obteniendo un $ES_j = 102$.

- El tiempo temprano inicial del nodo final será el mayor de los valores de tiempo temprano final que lo precedan. En el ejercicio, el valor es 139 horas.

Diagrama de flechas: “paso adelante”

Figura 64. Diagrama de flechas con los tiempos tempranos de cada actividad.



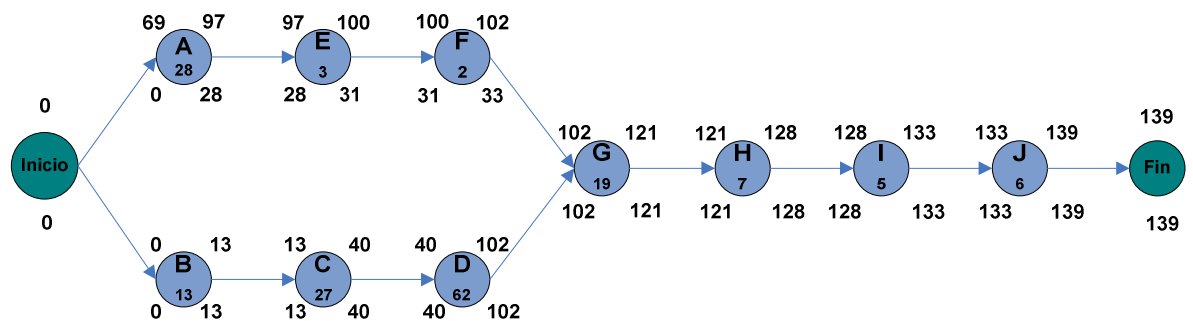
Fuente: El Autor.

- Asignar un valor de cero al tiempo temprano **ES** del primer evento que representa el inicio del proceso.
- El evento # 1, solo recibe la actividad A que proviene del evento inicial; por lo tanto su **ES** será la duración de la actividad. **ES** = duración actividad A = 28 horas.
- El evento que recibe más de una actividad como el evento # 5, tendrá por **EF** el mayor valor de la suma entre el **ES** del evento inicial y la duración de la actividad. El evento # 5 presenta un **EF** = 102, que es el mayor valor entre $31 + 2$ y $40 + 62$.

- El tiempo temprano del evento final será el mayor valor de la suma entre los **ES** y la duración de las actividades que lo precedan, como solo es precedido por una actividad, el valor será **EF** = 133 + 6 = 139 horas.

Diagrama de nodos: “paso atrás”

Figura 65. Diagrama de nodos con los tiempos tardíos de cada actividad.



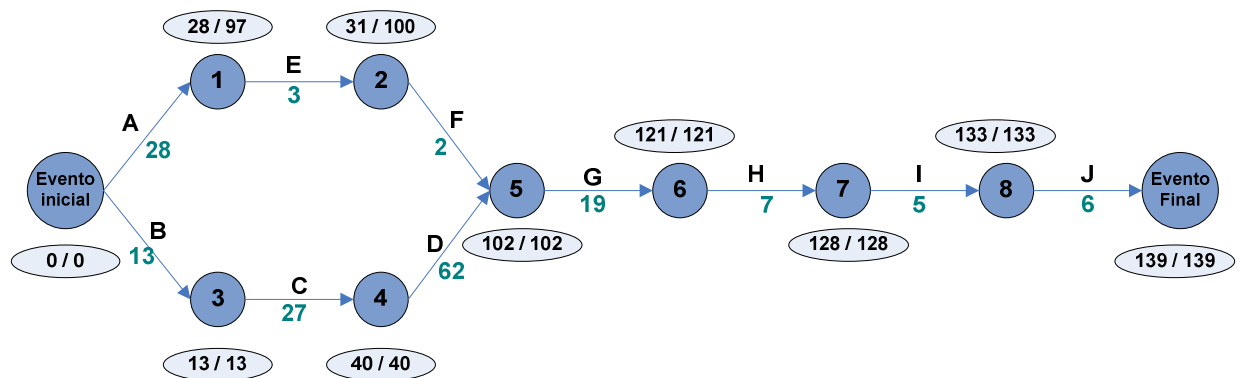
Fuente: El Autor.

- El tiempo temprano inicial para el nodo final de 139 horas, se transmite como tiempo temprano final de dicho nodo.
- El anterior valor se transmite a la actividad predecesora J como **LF_J**.
- Para la actividad J y cada una de las actividades del proceso, se calcula el **LS_J**, restando al **LF_J** la duración de la actividad. Para J es **LS_J** = 139 – 6 = 133 horas.
- A las actividades F y D, que preceden la actividad G, se transmite el valor encontrado de **LS_J** (102) como valor de **LF_F** y una vez más se calcula el **LS_F**, restando la duración de la actividad. **LS_{F(F)}** = 100 horas y **LS_{F(D)}** = 40 horas.

- El tiempo tardío final del nodo inicial será el menor de los valores de tiempo temprano inicial que lo sucedan y debe ser cero. En el ejemplo, el menor valor entre 69 y 0 es 0.

Diagrama de flechas: “paso atrás”

Figura 66. Diagrama de flechas con los tiempos tardíos de cada actividad.



Fuente: El Autor.

- El tiempo temprano para el evento final de 139 horas, se transmite como tiempo tardío de dicho evento.
- Al anterior valor se le resta la duración de la actividad J que llega a él y se obtiene el **LS** del evento inicial. Para el evento # 6, el **LS** = $139 - 6 = 133$.
- El anterior procedimiento se continúa haciendo con las demás actividades.
- El tiempo tardío del evento inicial será el menor de las diferencias entre los **LF** y las duraciones de las actividades A y B, y debe ser cero. En el ejercicio, el menor valor lo genera el evento # 3 y la actividad B.

Holguras Totales:

Cuando se determinan las holguras teniendo como base gráfica el diagrama de nodos, se emplean las siguientes ecuaciones:

Ht= LS – ES (diferencia de tiempos tempranos).

Ht= LF – EF (diferencia de tiempos tardíos).

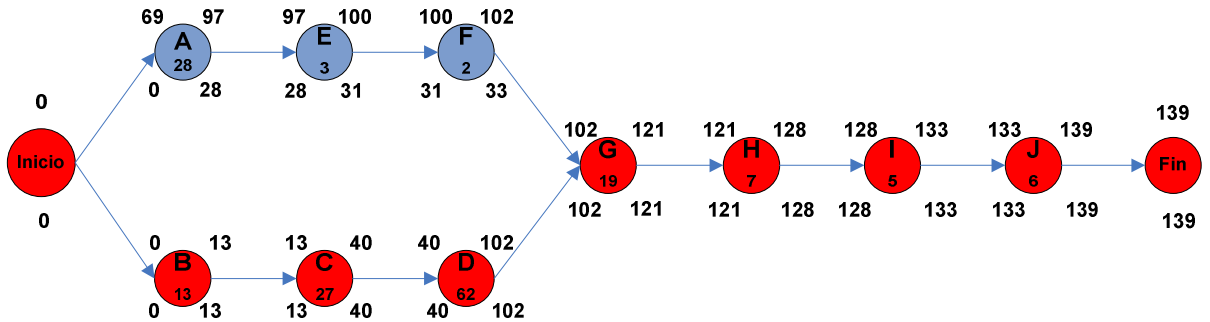
Tabla 32. Holguras Totales para el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de Amarre”, mediante el diagrama de nodos.

| ACTIVIDAD | LS | ES | Ht (LS-ES) | LF | EF | Ht (LF-EF) |
|-----------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|
| A | 69,0 | 0,0 | 69,0 | 97,0 | 28,0 | 69,0 |
| B | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 13,0 | 13,0 | 0,0 |
| C | 13,0 | 13,0 | 0,0 | 40,0 | 40,0 | 0,0 |
| D | 40,0 | 40,0 | 0,0 | 102,0 | 102,0 | 0,0 |
| E | 97,0 | 28,0 | 69,0 | 100,0 | 31,0 | 69,0 |
| F | 100,0 | 31,0 | 69,0 | 102,0 | 33,0 | 69,0 |
| G | 102,0 | 102,0 | 0,0 | 121,0 | 121,0 | 0,0 |
| H | 121,0 | 121,0 | 0,0 | 128,0 | 128,0 | 0,0 |
| I | 128,0 | 128,0 | 0,0 | 133,0 | 133,0 | 0,0 |
| J | 133,0 | 133,0 | 0,0 | 139,0 | 139,0 | 0,0 |

Fuente: El Autor.

Ruta Crítica y tiempo mínimo requerido para terminar todo el proceso:

Figura 67. Diagrama de nodos con la demarcación de la ruta crítica.



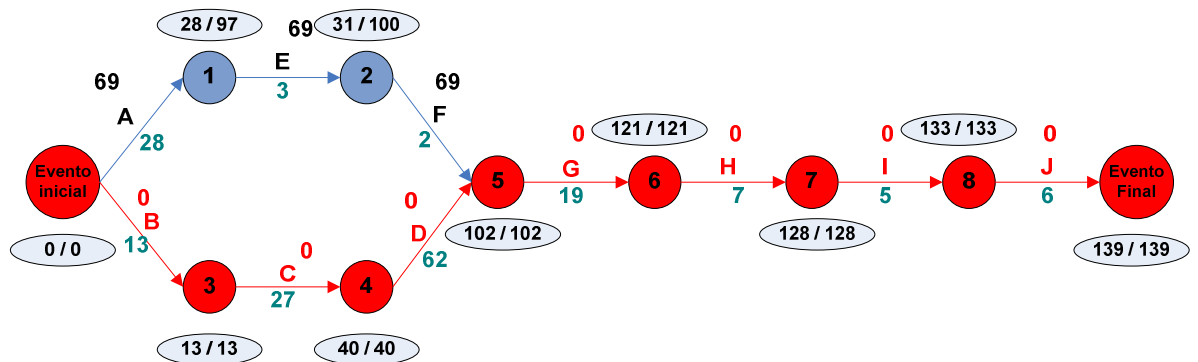
Fuente: El Autor.

La manera de identificar la ruta crítica en el diagrama de nodos es sencilla, basta con marcar de un color (para el ejercicio, color rojo) cada actividad que presente por valor de holgura total "cero". De esta manera se observa que la cadena de actividades que presentan holgura total igual a cero, es la siguiente:

Ruta Crítica = Inicio, B, C, D, G, H, I, J, Fin.

Tiempo mínimo requerido para terminar el proceso = 139 horas. Es el tiempo temprano inicial para el nodo final.

Figura 68. Diagrama de flechas con la demarcación de la ruta crítica.



Fuente: El Autor.

La manera de identificar la ruta crítica en el diagrama de flechas es similar a la utilizada en el diagrama de nodos, hay que señalar con un color (para el ejemplo, color rojo) cada evento que presente los mismos valores de tiempos tempranos y tardíos $ES = LS$ e igualmente las actividades que los unen, ya que presentan valores de holguras totales iguales a “cero”. De esta manera se observa que la cadena de actividades que presentan holgura total igual a cero, es la siguiente:

Ruta Crítica = Inicio, B, C, D, G, H, I, J, Fin.

Ruta Crítica = Evento inicial, evento # 3, evento # 4, evento # 5, evento # 6, evento # 7, evento # 8, evento final.

Tiempo mínimo requerido para terminar el proceso = 139 horas.

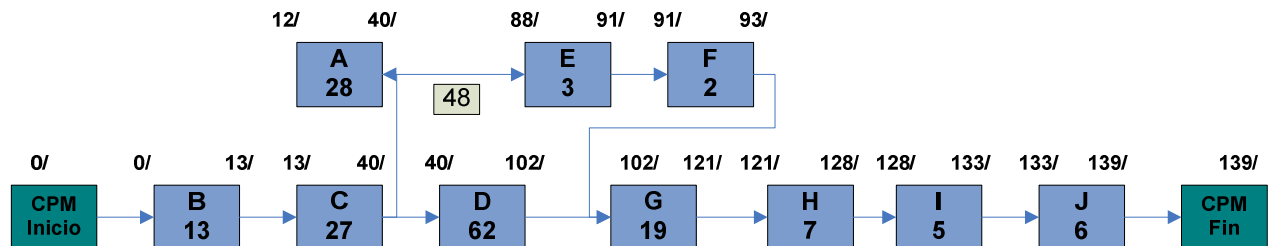
Ejercicio 2. Determinar la ruta crítica y el tiempo mínimo requerido para realizar el proceso de “Fundición de zapatas y Vigas de amarre” mediante la metodología del CPM, empleando el diagrama de precedencias.

Tabla 33. Matriz de precedencia tipo 2. Para el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de Amarre”.

| ACTIVIDAD | ACTIVIDAD PREDECESORA | Tiempo Esperado (te) días | TIPO PRECEDENCIA | DESFASE |
|-----------|-----------------------|---------------------------|------------------|---------|
| A | C | 28 | Fin-Fin | -- |
| B | -- | 13 | Fin-Com | -- |
| C | B | 27 | Fin-Com | -- |
| D | C | 62 | Fin-Com | -- |
| E | A | 3 | Fin-Com | 48 |
| F | E | 2 | Fin-Com | -- |
| G | D | 19 | Fin-Com | -- |
| | F | | Fin-Com | -- |
| H | G | 7 | Fin-Com | -- |
| I | H | 5 | Fin-Com | -- |
| J | I | 6 | Fin-Com | -- |

Diagrama de precedencias: “paso adelante”

Figura 69. Diagrama de precedencias con los tiempos tempranos de cada actividad.



Fuente: El Autor.

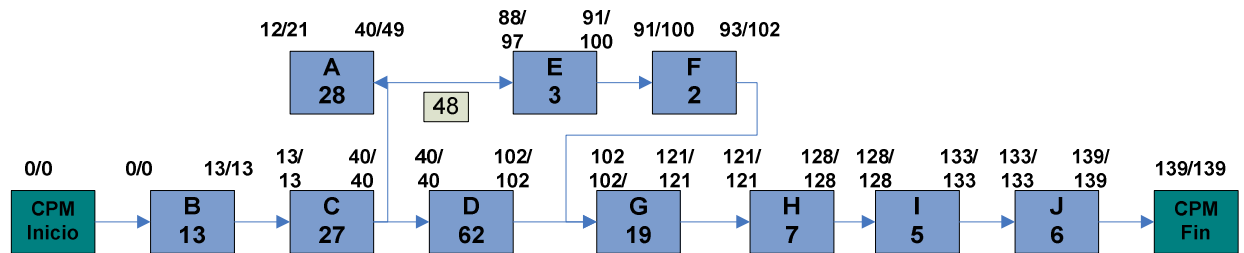
- Se establece y dibuja la red de secuencia de actividades, identificando cada una de ellas dentro de un rectángulo y la relación respectiva entre actividades por medio de flechas.
- Se ubica dentro del bloque que representa cada actividad, los valores de duración.
- Se asigna un valor de cero, en el primer rectángulo que representa el inicio del proceso para representar que todo el proceso parte desde un comienzo que carece de duración.
- Se transmite este valor cero a la actividad B, que sucede al inicio del proceso, como valor del tiempo temprano inicial **EST_i**, ubicándolo en la parte superior izquierda de cada bloque.
- Al anterior valor, se le suma el tiempo de duración de la actividad y se obtiene el tiempo temprano final de la actividad **EFT_i**, ubicado en la parte

superior derecha del bloque. Por ejemplo para la actividad B, EFT_B será $0 + 13 = 13$ horas.

- La actividad A es precedida por la actividad C mediante una relación fin a fin, este tipo de precedencia obliga que la actividad A finalice al mismo tiempo que la actividad C, por lo tanto $EFT_A = EFT_C = 40$ horas. Luego el $EST_A = 40 - 28 = 12$ horas.
- La actividad E es precedida por la actividad A mediante la relación fin a comienzo desfasada 48 horas. Por tanto, la actividad E debe comenzar 48 horas después de finalizar A. $EST_E = EFT_A + \text{desfase} = 40 + 48 = 88$ horas.
- La actividad G es precedida por dos actividades mediante relaciones de precedencia fin-comienzo; por lo tanto se debe optar por el mayor valor que se genere. $EST_G = EFT_D = 102$ o $EST_G = EFT_F = 93$. El mayor valor es 102 horas.
- El tiempo temprano final de la actividad J, EFT_J , que precede a la actividad final se transmite como tiempo temprano inicial de dicha actividad, representando el tiempo mínimo que demoraría en desarrollarse el proceso. El proceso se desarrollaría en 139 horas.

Diagrama de precedencias: “paso atrás”

Figura 70. Diagrama de precedencias con los tiempos tardíos de cada actividad.

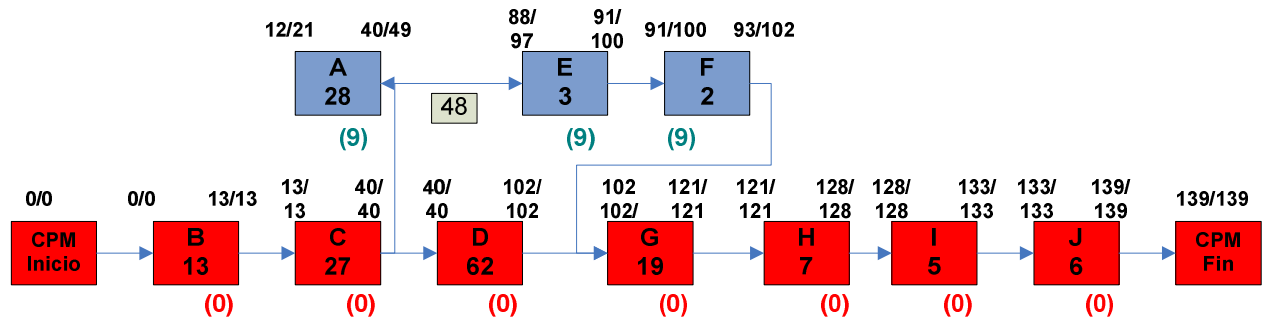


Fuente: El Autor.

- Se transmite el tiempo temprano inicial del bloque que representa el fin del proceso como tiempo tardío inicial de dicho bloque. $EST_{final} = LST_{final} = 139$ horas.
- El anterior valor se transmite como tiempo tardío final de la actividad J. $LFT_J = 139$. Posteriormente se calcula el tiempo tardío inicial de esta actividad. $LST_J = LFT_J - T_J = 139 - 6 = 133$ horas.
- La actividad A precede a la actividad E mediante una relación fin a comienzo desfasada 48 horas; por lo tanto el tiempo $LFT_A = LST_E - \text{desfase} = 97 - 48 = 49$ horas.
- El tiempo tardío inicial de la actividad inicial será el valor de LST de la actividad B. $LST_{inicial} = LST_B = 0$. Cumpliendo con la premisa de que este valor debe ser igual a cero.

Ruta Crítica y tiempo mínimo requerido para terminar todo el proceso:

Figura 71. Diagrama de precedencias con la demarcación de la ruta crítica.



Fuente: El Autor.

La ruta crítica se marca de un color (para el ejercicio, color rojo) cada actividad que presente por valor de holgura total “cero”. De esta manera se observa que la cadena de actividades que presentan holgura total igual a cero, es la siguiente:

Ruta Crítica = Inicio, B, C, D, G, H, I, J, Fin.

Tiempo mínimo requerido para terminar el proceso = 139 horas.

2.10.2 Ejercicios propuestos

Ejercicio 1. Determinar la ruta crítica y el tiempo mínimo requerido para realizar el proceso de “Fundición de columnas” y “Mampostería en ladrillo H-15” planeados en el primer capítulo mediante la metodología del CPM, empleando los diagramas de redes. Utilizar las siguientes matrices de precedencias.

Tabla 34. Matriz de precedencias tipo 1. Para el proceso “Fundición de columnas”.

| Actividad | REPRESENTACIÓN | DURACIÓN (días) | ACTIVIDAD PREDECESORA |
|--|----------------|-----------------|-----------------------|
| Bodegaje del material | A | 1,0 | -- |
| Corte del acero | B | 2,5 | A |
| Flejado y figurado del acero | C | 4,5 | B |
| Amarre del acero | D | 8,0 | C |
| Demarcación de ejes | E | 1,0 | -- |
| Armado de la columna | F | 5,0 | D,E |
| Colocación de formaletas | G | 3,5 | F |
| Descargue de concreto (preparado en fábrica) | H | 2,0 | G |
| Vaciado y Vibrado del concreto | I | 1,5 | H |
| Ajuste de verticalidad | J | 0,5 | I |
| Retiro de formaletas | K | 1,0 | J |
| Curado | L | 2,0 | K |

Fuente: El Autor.

Tabla 35. Matriz de precedencias tipo 1. Para el proceso “Mampostería en ladrillo H-15”.

| Actividad | REPRESENTACIÓN | DURACIÓN (días) | ACTIVIDAD PREDECESORA |
|--------------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Bodegaje del material | A | 1,0 | -- |
| Replanteo | B | 1,5 | -- |
| Preparación de mortero de pega | C | 2,5 | A,B |
| Mortero de nivelación | D | 1,5 | C |
| Colocación del ladrillo | E | 6,0 | D |
| Terminación del muro | F | 1,5 | E |
| Limpieza del muro | G | 1,5 | F |

Fuente: El Autor.

Ejercicio 2. Determinar la ruta crítica y el tiempo mínimo requerido para realizar el proceso de “Fundición de columnas” y “Mampostería en ladrillo H-15” planeados en el primer capítulo, mediante la metodología del CPM, empleando el diagrama de precedencias. Utilizar las siguientes matrices de precedencias.

Tabla 36. Matriz de precedencias tipo 2. Para el proceso “Fundición de columnas”.

| ACTIVIDAD | ACTIVIDAD PREDECESORA | Tiempo Esperado (te) días | TIPO PRECEDENCIA | DESFASE |
|------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------|
| A | -- | 1,0 | Fin-Com | -- |
| B | A | 2,5 | Fin-Com | -- |
| C | B | 4,5 | Fin-Com | -- |
| D | C | 8,0 | Fin-Com | -- |
| E | D | 1,0 | Fin-Fin | -- |
| F | D | 5,0 | Fin-Com | -- |
| | E | | Fin-Com | -- |
| G | F | 3,5 | Com-Com | 1 |
| H | G | 2,0 | Fin-Com | -- |
| I | H | 1,5 | Fin-Com | -- |
| J | I | 0,5 | Fin-Com | -- |
| K | J | 1,0 | Fin-Com | -- |
| L | K | 2,0 | Fin-Com | -- |

Fuente: El Autor.

Tabla 37. Matriz de precedencias tipo 2. Para el proceso "Mampostería en ladrillo H-15".

| ACTIVIDAD | ACTIVIDAD PREDECESORA | Tiempo Esperado (te) días | TIPO PRECEDENCIA | DESFASE |
|-----------|-----------------------|---------------------------|------------------|---------|
| A | -- | 1,0 | Fin-Com | -- |
| B | -- | 2,5 | Fin-Com | -- |
| C | A | 5,0 | Fin-Com | -- |
| | B | | Fin-Com | -- |
| D | C | 1,5 | Fin-Com | -- |
| E | D | 0,5 | Com-Com | 0,5 |
| F | E | 1,0 | Fin-Com | -- |
| G | F | 2,0 | Com-Com | -- |

Fuente: El Autor.

3. ESTIMACIÓN DE COSTOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Como último capítulo, se ha contemplado estudiar en detalle la estimación de los costos que generan el presupuesto detallado de los procesos constructivos que intervienen en una obra; teniendo por base de estudio, la planeación y la programación desarrolladas en los primeros capítulos del texto.

La estimación como afirma Halpin en su libro *Conceptos Financieros y de Costos en la Industria de la Construcción* representa un “plan de vuelo” que permite ver hacia adelante, evaluar y asignarle precios a los recursos de un proceso con el propósito de obtener una aproximación al costo real que conlleva ejecutarlo, cuyo valor actual solo es conocido cuando se finalice totalmente la obra.

El responsable de realizar las estimaciones para cada proceso, debe ser un ingeniero con amplios conceptos de administración financiera y de costos en la Industria de la Construcción; ya que debe aplicar los costos establecidos a los diferentes materiales, equipos, operaciones y servicios requeridos para la construcción de una obra.

Las estimaciones dependiendo de su alcance y del instante de tiempo en que se realizan a lo largo de la planeación, pueden ser aproximadas o detalladas. Cuando se desea por parte del dueño de la obra conocer de manera superficial el costo de la obra se utiliza la estimación aproximada y cuando el constructor desea tener en cuenta los costos de los diferentes recursos involucrados en la obra, como: materiales, mano de obra, equipos y considerar los cargos fijos y las utilidades, se debe optar por una estimación detallada en la que se desglose cada proceso en

las diferentes actividades que lo conforman. La estimación detallada será objeto de análisis durante el texto.

A lo largo del capítulo se estudiara la metodología de análisis de precios unitarios (APU) en detalle, como herramienta de estimación de los diferentes costos que conlleva ejecutar un proceso. Para alcanzar este objetivo se debe elaborar un formato que contenga las cantidades de obra a ejecutar y sus respectivos valores, los diferentes equipos empleados y sus tarifas de arrendamiento, el número de cuadrillas de trabajadores empleados y sus respectivas tarifas; así, luego de un proceso de suma de estos valores para cada proceso, se encuentra el costo directo de la obra. Si a este valor se le agregan los costos indirectos (A.I.U), representados por los costos de administración, honorarios del constructor y algunos imprevistos que se puedan presentar, se obtendrá el costo total o presupuesto final del proceso.

Si durante la estimación de costos, las cantidades de obra están mal ejecutadas o no son ciertas y se presentan errores básicos que originan estimaciones falsas, el constructor perderá dinero en la obra. Por el contrario si la estimación está bien desarrollada y refleja de manera acertada los costos que han de encontrarse en el campo, las probabilidades de que la obra genere utilidades aumentan considerablemente.

Durante el período de la construcción, todo presupuesto²¹ de obra puede modificarse ya sea por cambio en las especificaciones, por aumento o disminución de las cantidades de obra a ejecutar, por cambios en materiales especificados, por variación de los precios comerciales de materiales, mano de obra, etc. Por tal motivo se debe realizar una base de datos que contenga los presupuestos

²¹ Según Suárez Salazar, en su libro Costo y Tiempo en Edificación, “presupuesto” no es otra cosa que anticipar una serie de suposiciones con tendencias controladas a un Tiempo Inmediato.

analizados, que permita actualizaciones periódicas con el propósito de controlar las variaciones de los presupuestos en el tiempo.

Sea quien sea el propietario o constructor de una obra, no le dará inicio sin antes realizar un presupuesto de cada proceso y de la obra en general, que no es otra cosa que un análisis anticipado de costos.

3.2 OBJETIVOS DE LA ESTIMACIÓN DE COSTOS

Objetivo general: Determinar por anticipado un valor probable de los costos directos e indirectos de una obra.

Objetivos particulares:

- Fijar y elaborar el flujo de recursos importantes como el capital a invertir, la mano de obra, los materiales a emplear, la cantidad de obra a ejecutar, el tiempo de ejecución y la entrega definitiva de la construcción a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta las etapas previas de planeación y programación.
- Definir la calidad y la cantidad de determinados trabajos, cómo se van a ejecutar, en qué momento y en qué proporciones.
- Proveer la base para todos los pronósticos económicos y financieros así como para los presupuestos y el control.
- Solucionar con anterioridad todos aquellos problemas que se puedan presentar en la obra y que no aparecen en los planos.

- Reducir el desperdicio administrativo proporcionando una revisión constante de la viabilidad económica de una empresa.

3.3 TIPOS DE ESTIMACIÓN DE COSTOS

La bibliografía referente a las metodologías de estimación de costos señala que los métodos varían con el nivel de detalle que trabaje el responsable de realizar la estimación, con el grado de exactitud que se espera y de la etapa de desarrollo en que se realiza la estimación. De acuerdo al anterior análisis, algunos autores como Daniel W. Halpin y Ahuja – Walsh, clasifican en tres niveles los tipos de estimación:

Estimación conceptual: También conocida como estimación aproximada, se realiza antes de que se inicie el diseño; en ella, la obra total se reduce a unidad representativa de área o de volumen, según corresponda y después se multiplica por el costo por unidad para obtener una estimación bastante aproximada del costo de la obra. Se basa principalmente en el empirismo o experiencia del ingeniero.

Estimación preliminar: Se realiza en la fase de diseño, donde se han realizado planos preliminares que identifican algunos elementos de la obra y especificaciones de los materiales que posiblemente serán trabajados. Se debe hacer una descripción y numeración de actividades y de una manera simple determinar las cantidades de obra con sus respectivos precios.

Estimación detallada: También puede denominarse como el presupuesto propiamente dicho. Luego de tener los planos y especificaciones técnicas finales de cada proceso dentro de la obra, se calculan de manera acertada las cantidades detalladas de obra, los recursos activos requeridos como mano de obra,

materiales y equipos con el propósito de estimar los costos de la obra e incluir un sobreprecio por utilidad.

Los ejemplos y ejercicios formulados en el texto, asumen siempre una estimación detallada desarrollada por la metodología de análisis de precios unitarios. (A.P.U).

3.4 COSTOS INDIRECTOS

¿Qué son los costos indirectos de obra?

Los costos indirectos presentes en una obra son el resultado de sumar los gastos técnico-administrativos requeridos para realizar óptimamente cualquier proceso constructivo. Dichos valores de servicios deben ser financiados por el encargado de construir la obra.

Grupos que conforman los costos indirectos

Cargos de campo:

Cargos técnicos: Son los gastos requeridos para la estructura administrativa técnica de la obra, estas personas, dirigen y supervisan la ejecución de las actividades, por ejemplo: los honorarios de los directores de obra, residentes, auxiliares residentes, viáticos, etc.

Administrativos: Los gastos necesarios para la estructura administrativa de la obra, por ejemplo: los honorarios de jefes de personal, almacenistas, bodegueros, vigilantes, auxiliares contables, aseadoras, mensajeros y secretarías.

Transportes: Representan los gastos por usos vehiculares, para transportar personal de obra, equipos, herramientas y materiales.

Gastos de oficina: Estas erogaciones pueden estar representadas por las construcciones necesarias para el buen desarrollo de la obra, como por ejemplo: bodegas, oficinas, baños, por la implementación de papelerías, botiquines, por el pago de servicios públicos, etc.

Varios: Se incluyen bajo este parámetro, actividades como el control de calidad, seguridad industrial, ingeniería de seguridad, entre otras.

Financiamiento: Se refiere a los gastos de financiamiento de la obra. El monto del financiamiento dependerá, de la relación existente entre el programa de erogaciones y el programa esperado de ingresos.

Imprevistos: Son todos aquellos gastos originados por la naturaleza y la actividad humana que propician situaciones imprevistas y por consiguiente obviadas en el planteamiento inicial. Este tipo de situaciones se incrementan con el número de actividades realizadas.

Utilidad: Algunos factores que determinan la utilidad son la productividad legítima de capitales invertidos, el lapso de tiempo en el cual el capital se rescata y los riesgos que originan cualquier inversión.

Fianzas o impuestos adicionales: Son requisitos legales que se hacen indispensables para desarrollar cualquier construcción. Su cumplimiento es controlado por entidades públicas y privadas como planeación municipal, empresas de servicio, catastro, etc. Corresponden al cobro por los derechos de urbanización y construcción. El incumplimiento de las condiciones de un contrato implica un riesgo que la parte contratante evita por medio de fianzas y siendo

éstas una erogación no necesaria para la parte contratista, deben ser elementos del costo.

3.5 COSTOS DIRECTOS

¿Qué son los costos directos de obra?

Los costos directos presentes en una obra representan la suma de gastos de material, mano de obra y equipo necesarios para la realización de un producto. Además del valor monetario de los anteriores recursos, debe considerarse los consumos y rendimientos de cada uno de ellos dentro de los costos directos.

3.5.1 Especificaciones

Las especificaciones de un producto, describen de manera detallada sus características técnicas y condiciones mínimas de calidad. En la construcción sirven de base para los análisis de costos, ya que señalan el proceso constructivo más conveniente para obtener ciertos estándares de calidad.

Las especificaciones tratan de definir cada uno de los trabajos a desarrollar así como los materiales y mano de obra a emplear. Algunos factores que engloban el concepto de especificaciones son la: calidad, tipo, dimensiones, terminaciones, geometría, texturas, colores, elementos; mano de obra especializada o no. Las especificaciones son dictadas por entidades estatales a través de códigos o normas. Bajo el criterio del constructor las especificaciones pueden ser modificadas por razones económicas (alto costo de ejecución), físicas (no consecución de algunos materiales en la región), o simplemente por decisión del propietario. Pero siempre bajo la revisión del estamento público encargado de su supervisión.

Ejemplo 23. Para el proceso de “mampostería de ladrillo H-15”, analizado en el primer capítulo, se enseña una ampliación de sus especificaciones.

| ÍTEM DE COSTO: | ESPECIFICACIONES: |
|-------------------------------------|---|
| Mampostería en ladrillo H-15 | Los muros interiores de la vivienda, serán elaborados en ladrillo tolete de arcilla, uniforme, trabado de 15cms de espesor; su mortero de pega debe presentar una relación de 1:4, con un espesor de 1.5cms en el muro. |

Fuente: El Autor

3.5.2 Cantidades de Obra

Determinar las cantidades de obra consiste en reconocer y cuantificar las diferentes actividades que conforman las tareas y procesos que componen los ítems de costo en que se ha dividido la obra.

Las cantidades de obra, son tomadas a través de lecturas de planos y memorias, tanto estructurales como arquitectónicas. Se aconseja realizar anotaciones parciales en hojas electrónicas sobre cada actividad, para luego sumarlas y obtener el resultado final con el objetivo de permitir revisiones, confrontaciones y actualizaciones posteriores. Por ser uno de los multiplicadores que componen el presupuesto, sus valores deben ser exactos. Las cantidades de obra deben definirse desde la etapa de programación de obra.

3.5.3 Materiales

Los materiales empleados en la ejecución de cualquier proceso constructivo deben ser adecuados para las condiciones de trabajo, de servicio y calidad que se

requieren. Bajo el concepto de materiales se definen todos los insumos tangibles o materia prima que al ser transformados mediante un conjunto de actividades denominado proceso generan una entrega final también tangible llamada producto. En la construcción se pueden identificar varios tipos de materiales como son: materia prima (agregados gruesos y finos como gravas y arenas, maderas, arcillas, etc.); componentes (cables, tornillos, alambres, etc.); material en proceso (prefabricados de arcilla u hormigón, moldajes, etc.); productos terminados (tuberías, varillas de acero, tanques plásticos, perfiles de acero, accesorios en pvc, etc.) y otros.

La cuantificación de los materiales empleados durante cualquier proceso constructivo es obtenida a través de un proceso de revisión y desglose de las cantidades de obra y especificaciones técnicas vistas anteriormente.

El precio base de los materiales a considerar dentro del análisis de precios unitarios, deberán considerarse puestos en obra, en el que se incluya el precio de adquisición del material en el almacén o fábrica, el costo de fletes, carga y descarga y desperdicios tanto en transporte como en su utilización. Para el manejo de dichos desperdicios²², es recomendable que se asigne a cada uno como un factor del consumo directo, apoyado en registros históricos y no se deje para asignarlo como un valor de dinero al final del análisis.

Es de gran ayuda técnica, crear una lista de materiales en hojas electrónicas a manera de base de datos, que permitan ejercer variaciones en el precio de compra, la cantidad y el tipo de material; ya que es muy probable que en el

²² CASTELLANOS, Paola Andrea, PEDROZA Carol Nataly. Sistematización de la estimación de costos y presupuestos del proyecto sistema integrado de transporte masivo de Bucaramanga METROLINEA. Bucaramanga, 2006. Trabajo de Grado (Ingeniería civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.

transcurso de ejecución de una obra, los materiales empleados sufran dichas variaciones y generen cambios importantes en el costo total de la obra.

3.5.4 Mano de Obra

Bajo el concepto de mano de obra se define la intervención humana empleada en la elaboración de un producto. El personal que interviene en la ejecución de un proceso constructivo de acuerdo al trabajo que desarrollan y al sueldo que reciben puede clasificarse en maestros oficiales y ayudantes; siendo los primeros los encargados de la supervisión técnica de cada tarea, hecho que les requiere un mayor conocimiento que los auxiliares, quienes se encargan de la labor física de cada actividad.

Es muy usual trabajar en los análisis de precios unitarios con cuadrillas o frentes de trabajo, quienes representan un grupo de trabajadores, conformados por maestros oficiales y por ayudantes encargados de ejecutar cada actividad que posteriormente materializa el proceso.

Dentro del cálculo del costo de la mano de obra en la Industria de la Construcción intervienen varios factores, como son: el cambiante costo de vida, reflejado en los salarios mínimos, el desarrollo tecnológico de procedimientos y sistemas constructivos, innovación de materiales y herramientas, el grado de dificultad de realización de las tareas, la magnitud de la obra, el clima, el acceso a la obra, etc. De acuerdo a lo anterior, los rendimientos de las diferentes cuadrillas de trabajo estarán sujetos a muchas variaciones, dependiendo de la región donde se desarrolle la obra. La mano de obra representa aproximadamente el 28.5% de los costos directos en la construcción de viviendas y el 12.9% de los costos directos en la construcción pesada²³.

²³Departamento Nacional de Estadística. <http://ww.dane.gov.co>(abril de 2007)

La contratación de los trabajadores normalmente se hace por dos sistemas, a través de “contratación laboral” y el otro por medio de “subcontratos”. En la contratación laboral, el salario se modifica por una serie de prestaciones de ley, siendo modificado su valor por un factor real salarial “FRS”. El factor real salarial presenta valores entre 2 y 2.3.

$$FRS = \text{Factor Prestacional} \times \text{Factor de tiempo efectivo}$$

El factor prestacional, está comprendido por cinco factores regidos por el Código Sustantivo de Trabajo. Estos factores son: El salario básico, prestaciones sociales, seguridad social, aportes parafiscales y dotaciones. El factor prestacional presenta valores aproximados a 1.75. El factor de tiempo efectivo corresponde a la relación de días pagados sobre días laborados. Presenta valores aproximados a 1.25.

El sistema de subcontrato considera únicamente la cantidad de obra realizada por cada trabajador o cuadrilla de trabajo, a un precio unitario acordado, de tal forma que el pago no sea inferior al salario mínimo. Este sistema de contratación es regido por el Código Civil.

El costo unitario de la mano de obra que se presenta en un análisis de precios unitarios, se realiza, a partir de los rendimientos alcanzados por cada cuadrilla de trabajo que interviene en el ítem de costo. Vale recordar que como rendimiento se conoce la cantidad de obra totalmente ejecutada por recurso humano empleado, expresado usualmente en términos de unidad de trabajo sobre horas hombre u horas cuadrilla. Los rendimientos pueden ser calculados a partir de análisis estadísticos o de registros bibliográficos.

$$\text{CostoUnitarioManoO}bra = \frac{\text{SalarioDiarioTotal}}{\text{Rendto Pr omDiario}}$$

El número de trabajadores base que conforman las cuadrillas necesarias para el desarrollo de cada ítem de costo será estimado a través de registros bibliográficos o mediante la precepción empírica del constructor. Conociendo el número de trabajadores base, el rendimiento que presentan y la programación de tiempos respectiva se obtiene la cantidad de personal requerida para la ejecución de un proceso constructivo.

3.5.5 Equipos y Herramientas

De acuerdo al sistema constructivo a utilizar y la cantidad de obra asignada para cada proceso, se asigna los equipos y las herramientas necesarias para desarrollar cada tarea y el proceso en general.

El equipo puede conseguirse a través de la compra o de arrendamientos más conocidos como alquileres. El arrendador cancelará un precio de alquiler por una hora, un día, una semana o un mes por el uso de cada unidad; donde según el tipo de alquiler se cancela el operario del equipo, el combustible empleado, el lubricante utilizado y las reparaciones pertinentes, por parte del constructor. El valor representativo de los equipos en los análisis de precios unitarios debe tener incluido la tarifa de alquiler (si es arrendado), el mantenimiento, operario, combustible, lubricante, fletes de transporte y demás precios.

El rendimiento de las herramientas puede ser asignado según su vida útil o según la cantidad usada en un conjunto de procesos, se maneja como unidad (global). Algunos autores recomiendan tomar el valor de la herramienta como el 5% del valor parcial calculado de la mano de obra.

El rendimiento de los equipos más conocido como la productividad se estima a través de referencias bibliográficas o estimaciones establecidas por los dueños y fabricantes de los equipos.

3.6 METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS - ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS-

¿En qué consiste el análisis de precios unitarios?

En determinar el costo de utilización de recursos como los materiales, la mano de obra y los equipos de cada unidad de obra ejecutada de un ítem de costo. La unidad de obra debe ser una unidad de medida previamente establecida, es decir antes de iniciar el cálculo del precio unitario debe haberse determinado por el ingeniero encargado de realizar el presupuesto dicha unidad. No se puede dar cantidades absolutas de precio, sin referirse a qué tipo de unidad corresponde. El cálculo de un precio unitario no es más, que la elaboración de un presupuesto de una unidad básica.

El análisis de precios unitarios responde interrogantes como los siguientes: Cuánto cuesta un metro cuadrado de mampostería, un metro cúbico de concreto simple, un metro lineal de instalación de redes sanitarias, etc.

Procedimiento de cálculo

Definir el ítem de costo

- Determinar la cantidad de obra a ejecutar definida de acuerdo al producto entregable.
- Determinar la estrategia constructiva inicial, respondiendo al interrogante ¿Cuál es el procedimiento del proceso a seguir?
- Definir la WBS del proceso y los ítems de costo, identificando tareas y procesos involucrados dentro del ítem de costo.

- **Ítems de costo:** Consiste en agrupar las actividades productivas en tareas que permitan fijar un precio de costo.

Análisis del proceso

- Identificar los recursos necesarios para cada tarea (materiales, equipos, herramientas y mano de obra).
- Definir los rendimientos de los recursos activos (aquellos que están en función del tiempo) como los equipos y las cuadrillas de trabajo. El rendimiento y la productividad se determinan por unidad de obra del ítem.
- Definir los consumos de los recursos pasivos (aquellos que no consumen tiempo) como los materiales y herramientas, teniendo en cuenta posibles desperdicios. El consumo se determina por unidad de obra del ítem.

Análisis del mercado

- *Materiales:* Determinar el precio de adquisición de los diferentes materiales empleados para cada ítem de costo. Incluyendo precio de bodegaje, impuestos, fletes, descargue, acarreo interno, etc.
- *Equipos:* Determinar el precio de adquisición o arrendamiento de los equipos empleados en cada ítem de costo. Incluyendo tarifa de alquiler básico, consumo de combustible y lubricante, operación, transporte a la obra.
- *Mano de obra:* Determinar los honorarios de cada uno de los auxiliares y ayudantes que conforman las diversas cuadrillas de trabajo. Resulta de

multiplicar el salario mínimo mensual por el factor real salarial (factor que asume los costos del auxilio de transporte, prestaciones sociales, aportes parafiscales, seguridad social y asume una productividad). El factor real salarial oscila entre 2 y 2.3.

- Herramienta menor: Determinar los costos relacionados de las herramientas dentro del ítem de costo. Se sugiere tomar entre el 3% - 5% del costo de la mano de obra e incluirlo en el APU. Los estimadores de costo en ocasiones analizan este parámetro de forma general y se excluye del APU.

Formatos de análisis de precios unitarios

Los formatos de análisis de precios unitarios resumen de manera ordenada y sencilla los costos de cada proceso, discriminados básicamente en tres grupos: materiales, equipos y mano de obra. La sumatoria de estos tres grupos genera el valor total unitario del proceso o ítem de costo que se esté analizando.

Tabla 38. Formato de análisis de precios unitarios.

| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
|----------------------------|---------------|--------|-------------|-----------------|---------------|
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | Subtotal | |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | Subtotal | |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | Subtotal | |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | Subtotal | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | |

Fuente: Notas de clase de la asignatura Construcción I, profesor Guillermo Mejía Aguilar.

3.7 EJERCICIOS

3.7.1 Ejercicios resueltos

Ejercicio 1. Realizar el análisis de precios unitarios (APU), para la “Preparación de Concreto de resistencia 3000psi”.

Procedimiento de cálculo

Definir el ítem de costo

- Determinar la cantidad de obra a ejecutar definida de acuerdo al producto entregable.

Ítem de costo: Preparación de concreto de resistencia 3000psi en obra, empleando mezcladora de 1 saco de capacidad.

Especificaciones: Dosificación en volumen de concreto 1:2:3. El anterior valor señala, que para obtener un concreto de resistencia 3000psi, se debe emplear una unidad de volumen de cemento, dos de arena y tres de grava. Por ejemplo, mezclar un saco de cemento, dos carretas de arena, tres carretas de grava y agua, genera un concreto de resistencia 3000psi.

Tabla 39. Tipos de dosificaciones en volumen de concreto.

| Dosificación en volumen | Resistencia (psi) | cemento (Kg) | Arena (m3) | Grava (m3) | Agua (Lts) |
|-------------------------|-------------------|--------------|------------|------------|------------|
| 1:2:2 | 3555 | 425 | 0,67 | 0,67 | 180-200 |
| 1:2:3 | 3100 | 350 | 0,56 | 0,84 | 160-180 |
| 1:2:4 | 2850 | 300 | 0,48 | 0,96 | 145-170 |
| 1:3:3 | 2400 | 300 | 0,72 | 0,72 | 145-170 |
| 1:3:6 | 1700 | 200 | 0,5 | 1 | 130-155 |

Fuente: Notas de clase de la asignatura Construcción I, profesor Guillermo Mejía.

Unidad: m³.

Cantidad de obra a ejecutar: 100 m³

- Determinar la estrategia constructiva inicial, respondiendo al interrogante ¿Cuál es el procedimiento del proceso a seguir?

La preparación del concreto en la mezcladora de capacidad 1 saco de cemento, requiere dosificar en volumen cada uno de los materiales empleados en la mezcla. En la práctica se ha observado que un saco de cemento ocupa un volumen correspondiente a un cubo de madera de dimensiones 0.33x0.33x0.33m. Generando un volumen de: $V = 0.036\text{m}^3$ de cemento.

De acuerdo a la relación requerida para fabricar el concreto de resistencia 3000psi, los volúmenes de los agregados corresponden a:

Arena: $2 * \text{volumen de cemento} = 2 * 0.036\text{m}^3 = 0.072\text{m}^3$

Grava: $3 * \text{volumen de cemento} = 3 * 0.036\text{m}^3 = 0.108\text{m}^3$

Según la tabla 39. Para fabricar 1m³ de concreto de dosificación en volumen 1:2:3, se requieren 350Kg de cemento, es decir 7 sacos de cemento comercial de 50Kg. Por tanto se requieren para 1m³ de concreto:

Cemento: 350Kg.

Arena: $0.072 * 7 = 0.504\text{m}^3$. Incluyendo 20% de vacíos: 0.403m^3 .

Grava: $0.108 * 7 = 0.756\text{m}^3$. Incluyendo 20% de vacíos: 0.605m^3 .

Agua: 25Lts por saco de cemento. 170Lts.

- Definir la WBS del proceso, identificando tareas y procesos involucrados dentro del ítem de costo.

Solo una tarea compone el ítem de costo a analizar. “Preparación de Concreto de resistencia 3000psi en obra”. Dos actividades conforman la tarea; el mezclado de materiales (agrega valor) y la dosificación (apoyo).

Análisis del proceso

- Identificar los recursos necesarios para cada ítem de costo (materiales, equipos, herramientas y mano de obra).

Materiales: Cemento portland tipo I, Arena de río, grava de $\frac{3}{4}$ ", agua limpia, aditivos.

Equipos: Mezcladora mecánica de 1 saco de capacidad.

Herramienta menor: Palas, cajones de madera, baldes, bateas.

Mano de obra: 1 Oficial: encargado del manejo de la mezcladora y dosificación del cemento y agua, 2 Ayudantes: encargados de dosificar la arena, 2 Ayudantes: encargados de dosificar la grava. Conformando así una cuadrilla de trabajo de (1x4).

Fotografía 11. Preparación de concreto en obra, empleando mezcladora.



Fuente: Fotografía tomada por alumnos de la asignatura construcción I.

- Definir los rendimientos de los recursos activos (aquellos que están en función del tiempo) como los equipos y las cuadrillas de trabajo. El rendimiento y la productividad se determinan por unidad de obra del ítem.

Rendimientos de equipos:

Equipo: Mezcladora mecánica de 1 saco de capacidad.

Unidad: Hora de alquiler.

Factor de productividad: 70%. Significa que por cada hora pagada se trabaja el 70% efectivamente.

Productividad o rendimiento mezcladora: $0.5 \frac{h}{m^3}$

Rendimientos de mano de obra:

Cuadrilla: (1x4).

Unidad: $\frac{h * C}{m^3}$

$$\text{Rendimiento}^{24}: 0,42 \frac{h * C}{m^3}$$

- Definir los consumos de los recursos pasivos (aquellos que no consumen tiempo) como los materiales, teniendo en cuenta posibles desperdicios. El consumo se determina por unidad de obra del ítem.

Consumo de materiales:

Cemento: Incluyendo 10% de desperdicio = $350\text{Kg} * 1.1 = 385\text{Kg}$.

Arena: Incluyendo 20% de vacío = $0.504\text{m}^3 * 0.8 = 0.403\text{m}^3$.

Grava: Incluyendo 20% de vacío = $0.756\text{m}^3 * 0.8 = 0.605\text{m}^3$.

Agua: 170Lts.

Análisis del mercado

- *Materiales:* Determinar el precio de adquisición de los diferentes materiales empleados para cada ítem de costo. Los siguientes precios de materiales son obtenidos del mercado comercial en Bucaramanga.

Saco de cemento portland tipo I de 50Kg: \$ 20.000

Metro cúbico de arena lavada: \$ 50.900

Metro cúbico de grava: \$ 55.000

Litro de agua: \$ 8

- *Equipos:* Determinar el precio de adquisición o arrendamiento de los equipos empleados en cada ítem de costo.

²⁴ Tablas de rendimientos suministradas por el grupo de investigación en gestión aplicada "GIGA". Universidad Industrial de Santander.

Hora de alquiler: \$ 40.000 (Incluye combustible y acarreo del equipo).

- *Mano de obra*: Determinar los honorarios de cada uno de los auxiliares y ayudantes que conforman las diversas cuadrillas de trabajo.

Factor real salarial asumido "F.R.S": 2.2

Salario mínimo mensual vigente año 2009: \$ 496.900

Salario del Oficial: $\$ 496.900 * 2.2 * 1.4 / 30 \text{ días} / 8 \text{ horas diarias} = \$ 6.376,88$ cada hora.

Salario del Ayudante: $\$ 496.900 * 2.2 / 30 \text{ días} / 8 \text{ horas diarias} = \$ 4.554,92$ cada hora.

Cuadrilla de trabajo: $\$ 6.376,88 + 4 * (\$ 4.554,92) = \$ 24.596,56$ cada hora.

Nota: El salario del oficial se multiplica por un factor de 1.4 que representa un incremento en el salario por su grado de preparación y experiencia respecto al ayudante.

- *Herramienta menor*: Determinar los costos relacionados de las herramientas dentro del ítem de costo.

Herramienta menor: Se asume el 5% del costo de la mano de obra.

Tabla 40. Formato de análisis de precios unitarios para la "Preparación de Concreto".

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|---|--------|-------------|-----------------|-------------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 1 | Preparación de Concreto en obra de resistencia 3000psi. | m3 | 100 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| Cemento Gris | Incluye 10% desperdicio | Kg | 385 | \$ 400 | \$ 154.000 |
| Arena de río | Incluye 20% de vacíos | m3 | 0,403 | \$ 50.900 | \$ 20.513 |
| Grava de 3/4" | Incluye 20% de vacíos | m3 | 0,605 | \$ 55.000 | \$ 33.275 |
| Agua limpia | | Lts | 170 | \$ 8 | \$ 1.360 |
| Subtotal | | | | | \$ 209.148 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Mezcladora de 1 saco | Incluye flete y combustible | Hora | 1/2 | \$ 40.000 | \$ 20.000 |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | 0,42 | \$ 1.230 | \$ 1.230 |
| Subtotal | | | | | \$ 21.230 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Cuadrilla (1x4) | | h-C | 0,42 | \$ 24.597 | \$ 10.331 |
| Subtotal | | | | | \$ 10.331 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 240.708 |

Fuente: El Autor.

Ejercicio 2. Realizar el análisis de precios unitarios (APU), para el proceso “Fundición de columnas”.

Procedimiento de cálculo

Definir el ítem de costo

- Determinar la cantidad de obra a ejecutar definida de acuerdo al producto entregable.

Proceso: Fundición de columnas

Unidad: m³ de columna fundida

Especificaciones: Las columnas a fundir, corresponden a los pisos 1 y 2 de una casa campestre y serán fabricadas en concreto de resistencia 3000psi fabricado en obra y en acero corrugado A-60 de 420Mpa de fluencia. Las columnas tienen dimensiones de 0.30x0.30m.

Cantidad de obra: Se debe despiezar cada una de las columnas para determinar la cantidad de refuerzo que se requiere y determinar la cantidad de metros cúbicos de columnas se va a fundir. Por tanto la cantidad de columnas a fundir son: **9.3m³**

Tabla 41. Cantidad de Acero de refuerzo.

| PISO | COLUMNA | TIPO DE REFUERZO | DIAMETRO (Pulg) | LONG. BARRA (m) | MASA (Kg/m) | PESO (kg) | BARRAS COLUMNA | PESO (Kg) COLUMNA |
|------|---------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-------------|-----------|-----------------|-------------------|
| 1 | Representativa (0.3x0.3m) | LONGITUDINAL | 5/8 | 4,6 | 1,552 | 7,139 | 8 | 57,114 |
| | | TRANVERSAL | 3/8 | 0,98 | 0,549 | 0,538 | 32 | 17,217 |
| | No de columnas | 16 | Peso (Kg) Subtotal | 1.189,28 | Desp (15%) | 178,39 | Peso (Kg) Total | 1.367,68 |
| 2 | Representativa (0.3x0.3m) | LONGITUDINAL | 5/8 | 2,8 | 1,552 | 4,346 | 8 | 34,765 |
| | | TRANVERSAL | 3/8 | 0,98 | 0,549 | 0,538 | 27 | 14,527 |
| | No de columnas | 12 | Peso (Kg) Total | 591,50 | Desp (15%) | 88,72 | Peso (Kg) Total | 680,22 |

Fuente: El Autor.

Tabla 42. Cantidad de Concreto.

| Tipo Columna | COLUMNA | | PRIMER PISO | | SEGUNDO PISO | |
|----------------|----------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | BASE (m) | ALTURA (m) | LONG. (m) | VOLUMEN (m3) | LONG. (m) | VOLUMEN (m3) |
| Representativa | 0,3 | 0,3 | 4,15 | 0,3735 | 2,3 | 0,207 |
| Total Columnas | | | 16 Columnas | 5,98 | 12 Columnas | 2,48 |
| | | | Desp (10%) | 6,57 | Desp (10%) | 2,73 |

Fuente: El Autor.

Tabla 43. Cantidad de Formaleteado.

| Tipo Columna | COLUMNA | | PRIMER PISO | | SEGUNDO PISO | |
|----------------|----------|------------|-------------|----------------|--------------|----------------|
| | BASE (m) | ALTURA (m) | LONG. (m) | FORMALETA (m2) | LONG. (m) | FORMALETA (m2) |
| Representativa | 0,3 | 0,3 | 4,15 | 4,98 | 2,3 | 2,76 |
| Total Columnas | | | 16 Columnas | 79,68 | 12 Columnas | 33,12 |
| | | | Desp (25%) | 99,60 | Desp (25%) | 41,40 |

Fuente: El Autor.

- Determinar la estrategia constructiva inicial, respondiendo al interrogante ¿Cuál es el procedimiento del proceso a seguir?

El proceso de “Fundición de columnas” será realizado a través de concreto fabricado en obra, a través de una mezcladora mecánica de 1 saco de capacidad; los aceros serán cortados y flejados en obra con el propósito de amarrar cada columna también en el sitio. Se empleará formaletas en madera que serán alquiladas.

- Definir la WBS del proceso y los ítems de costo.

Tabla 44. WBS del proceso “Fundición de Columnas”.

| (WBS) FUNDICIÓN DE COLUMNAS | ÍTEM DE COSTO | ACTIVIDADES PRODUCTIVAS | |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | ACERO | | Corte del acero |
| | | | Flejado y figurado del acero |
| | | | Amarre del acero |
| | | | Armado de columnas |
| | FORMALETEADO | | Instalación de formaletas |
| | CONCRETO | | Preparación del concreto |
| | | | Vaciado del concreto |
| | | | Vibrado del concreto |
| | DESFORMALETEADO Y CURADO | | Retiro de formaletas |
| | | Aplicación de emulsiones o agua | |

Fuente: El Autor.

Análisis del proceso

- Identificar los recursos necesarios para cada ítem de costo (materiales, equipos, herramientas y mano de obra).

Tabla 45. Recursos para el ítem de costo "Acero".

| ÍTEM DE COSTO | RECURSO | |
|---------------|---------------------------------|---------------|
| ACERO | Materiales | Acero 3/8" |
| | | Acero 5/8" |
| | | Alambre negro |
| | Equipos y herramientas | Cizalla |
| | | Segueta |
| | | Alicates |
| | | Bichiroque |
| | | Fluxómetro |
| | | Dobladora |
| | | Martillo |
| | Mano de obra (cuadrilla básica) | (1x2) |

Fuente: El Autor.

Tabla 46. Recursos para el ítem de costo "Formaleteado".

| ÍTEM DE COSTO | RECURSO | |
|---------------------------------|------------------------|--|
| FORMALETEADO | Materiales | --- |
| | Equipos y herramientas | Formaletas en madera (Incluye paraleles) |
| | | Puntillas |
| | | Alicates |
| | | Martillo |
| Mano de obra (cuadrilla básica) | (0x2) | |

Fuente: El Autor.

Tabla 47. Recursos para el ítem de costo "Concreto".

| ÍTEM DE COSTO | RECURSO | |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------|
| CONCRETO | Materiales | Cemento |
| | | Arena de río |
| | | Grava 3/4" |
| | | Agua |
| | Equipos y herramientas | Mezcladora de 1 saco |
| | | Vibrador eléctrico |
| | | Cajones de madera |
| | | Batea |
| | | Palas |
| | | Cabos para palas |
| | Mano de obra (cuadrilla básica) | 2 cuadrillas de (1x4) |

Fuente: El Autor.

Tabla 48. Recursos para el ítem de costo "Desformaleteado y Curado".

| ÍTEM DE COSTO | RECURSO | |
|---------------------------------|------------------------|------------------|
| DESFORMALETEADO Y CURADO | Materiales | Aditivo especial |
| | Equipos y herramientas | Alicates |
| | | Martillo |
| | | Aspersor manual |
| | | Manguera |
| Mano de obra (cuadrilla básica) | (0x2) | |

Fuente: El Autor.

- Definir los rendimientos de los recursos activos (aquellos que están en función del tiempo) como los equipos y las cuadrillas de trabajo. El rendimiento y la productividad se determinan por unidad de obra del ítem.

Tabla 49. Rendimientos de equipos.

| EQUIPO | UNIDAD | PRODUCTIVIDAD |
|----------------------|--------|---------------|
| Mezcladora de 1 saco | h / m3 | 0,500 |
| Vibrador eléctrico | h / m3 | 0,041 |
| Aspersor manual | h / m2 | 0,005 |

Fuente: El Autor.

Tabla 50. Rendimientos de mano de obra.

| ÍTEM DE COSTO | ACTIVIDADES PRODUCTIVAS | CUADRILLA | RENDIMIENTO |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------|
| ACERO | Corte del acero | (0X2) | 0,010 |
| | Flejado y figurado del acero | (0X2) | 0,021 |
| | Amarre del acero | (0X2) | 0,048 |
| | Armado de columnas | (1X3) | 0,015 |
| FORMALETEADO | Instalación de formaletas | (0X2) | 0,150 |
| CONCRETO | Preparación del concreto | (1X4) | 0,426 |
| | Vaciado del concreto | (1X4) | 0,300 |
| | Vibrado del concreto | (1X1) | 0,041 |
| DESFORMALETEADO Y CURADO | Retiro de formaletas | (0X2) | 0,150 |
| | Aplicación de emulsiones o agua | (0X1) | 0,005 |

Fuente: El Autor.

- Definir los consumos de los recursos pasivos (aquellos que no consumen tiempo) como los materiales, teniendo en cuenta posibles desperdicios. El consumo se determina por unidad de obra del ítem.

Tabla 51. Consumo de materiales por unidad de obra de todo el proceso, por m³.

| MATERIAL | OBSERVACIÓN | UNIDAD | CANTIDAD |
|----------------------------|--------------|--------|----------|
| Cemento | Desp (10%) | Kg | 385 |
| Arena de río | Vacios (20%) | m3 | 0,403 |
| Grava 3/4" | Vacios (20%) | m3 | 0,605 |
| Agua | | Lts | 170 |
| Acero 3/8" y 5/8" | Desp (15%) | Kg | 220,210 |
| Aditivo especial (antisol) | | Kg | 0,5 |
| Formaletas | Desp (25%) | m2 | 15,2 |

Fuente: El Autor.

Si se toma como unidad de obra de todo el proceso el m³ de columna fundida; se puede conocer el consumo de cada material presente en 1 m³ de columna fundida dividiendo la cantidad total de material empleado entre la cantidad total de m³ a fundir. Así:

Total de m³ de concreto a fundir: 9,3m³

Total de acero: 2.047,9Kg

Total de m² de formaleta a instalar: 141m²

Consumo por m³ de columna fundida de Acero: $2.047,9 / 9,3 = 220,21\text{Kg}$

Consumo por m³ de columna fundida de formaletas: $141 / 9,3 = 15,2\text{m}^2$

Análisis del mercado

- *Materiales*: Determinar el precio de adquisición de los diferentes materiales empleados para cada ítem de costo. Los siguientes precios de materiales son obtenidos del mercado comercial en Bucaramanga.

Saco de cemento portland tipo I de 50Kg: \$ 20.000

Metro cúbico de arena lavada: \$ 50.900

Metro cúbico de grava: \$ 55.000

Litro de agua: \$ 8

Kilogramo de acero de 3/8" y 5/8": \$ 2.800

Kilogramo de antisol: \$ 3.500

Kilogramo de alambre negro: \$ 2.500

- *Equipos:* Determinar el precio de adquisición o arrendamiento de los equipos empleados en cada ítem de costo.

Mezcladora de 1 saco: Hora de alquiler: \$ 40.000 (Incluye combustible y acarreo del equipo).

Vibrador eléctrico: Día de alquiler: \$ 25.000, hora: \$ 3.125

Aspersor manual: Día de alquiler: \$ 10.000, hora: \$ 1.250

Metro cuadrado de formaletas de madera (incluye parales): Día de alquiler: \$ 2.000

- *Mano de obra:* Determinar los honorarios de cada uno de los auxiliares y ayudantes que conforman las diversas cuadrillas de trabajo.

Factor real salarial asumido "F.R.S": 2.2

Salario mínimo mensual vigente año 2009: \$ 496.900

Salario del Oficial: $\$ 496.900 * 2.2 * 1.4 / 30 \text{ días} / 8 \text{ horas diarias} = \$ 6.376,88$ cada hora.

Salario del Ayudante: $\$ 496.900 * 2.2 / 30 \text{ días} / 8 \text{ horas diarias} = \$ 4.554,92$ cada hora.

Cuadrillas de trabajo:

- ✓ $(0x1) = \$ 4.554,92$ cada hora.
 - ✓ $(0x2) = 2 * \$ 4.554,92 = \$ 9.109,84$ cada hora.
 - ✓ $(1x1) = 1 * \$ 4.554,92 + 1 * \$ 6.376,88 = \$ 10.931,8$ cada hora.
 - ✓ $(1x3) = 3 * \$ 4.554,92 + 1 * \$ 6.376,88 = \$ 20.041,64$ cada hora.
 - ✓ $(1x4) = 4 * \$ 4.554,92 + 1 * \$ 6.376,88 = \$ 24.596,56$ cada hora.
-
- Herramienta menor: Determinar los costos relacionados de las herramientas dentro del ítem de costo.

Herramienta menor: Se asume el 5% del costo de la mano de obra.

Tabla 52. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo "Acero A-60".

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|---|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 1 | ACERO (Corte, flejado y figurado, amarre y armado) | Kg | 2.047,9 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| Acero de 3/8" y 5/8" | Incluye 15% desperdicio | Kg | 1,000 | \$ 2.800 | \$ 2.800 |
| Alambre negro | Incluye 15% desperdicio | Kg | 0,100 | \$ 2.500 | \$ 250 |
| Subtotal | | | | | \$ 3.050 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | Rendimiento | \$ 2.368,558 | \$ 2.369 |
| Subtotal | | | | | \$ 2.369 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Corte del acero (0x2) | | h-C | 0,010 | \$ 9.110 | \$ 91 |
| Flejado y figurado (0x2) | | h-C | 0,021 | \$ 9.110 | \$ 191 |
| Amarre del acero (0x2) | | h-C | 0,048 | \$ 9.110 | \$ 437 |
| Armado de columnas (1x3) | | h-C | 0,015 | \$ 20.042 | \$ 301 |
| Subtotal | | | | | \$ 1.020 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 6.439 |

Fuente: El Autor.

Tabla 53. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo "Formaleteado".

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|--------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 2 | FORMALETEADO | m2 | 141 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | \$ 0 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | Rendimiento | \$ 455 | \$ 455 |
| Formaletas de madera | | Hora | | \$ 250 | \$ 250 |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | \$ 705 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Cuadrilla (0x2) | | h-C | 0,150 | \$ 9.110 | \$ 1.366 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | \$ 1.366 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 2.072 |

Fuente: El Autor.

Tabla 54. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo "Concreto".

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|---|--------|-------------|-----------------|-------------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 3 | CONCRETO (preparación, vaciado y vibrado). | m3 | 9,3 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| Cemento Gris | Incluye 10% desperdicio | Kg | 385 | \$ 400 | \$ 154.000 |
| Arena de río | Incluye 20% de vacíos | m3 | 0,403 | \$ 50.900 | \$ 20.513 |
| Grava de 3/4" | Incluye 20% de vacíos | m3 | 0,605 | \$ 55.000 | \$ 33.275 |
| Agua limpia | | Lts | 170 | \$ 8 | \$ 1.360 |
| Subtotal | | | | | \$ 209.148 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Mezcladora de 1 saco | Incluye flete y combustible | Hora | 1/2 | \$ 40.000 | \$ 20.000 |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | | \$ 3.006 | \$ 3.006 |
| Vibrador eléctrico | | Hora | 0,041 | \$ 3.125 | \$ 128 |
| Subtotal | | | | | \$ 23.134 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Preparación (1x4) | | h-C | 0,426 | \$ 24.597 | \$ 10.478 |
| Vaciado (1x4) | | h-C | 0,300 | \$ 24.597 | \$ 7.379 |
| Vibrado (1x1) | | h-C | 0,041 | \$ 10.932 | \$ 448 |
| Subtotal | | | | | \$ 18.305 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 250.587 |

Fuente: El Autor.

Tabla 55. Formato de análisis de precios unitarios para el “Desformaleteado y curado”.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|--------|-------------|-----------------|-----------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 4 | DESFORMALETEADO Y CURADO | m2 | 141 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| Antisol de Sika | Emulsión líquida para el curado | Kg | 0,030 | \$ 3.500 | \$ 105 |
| Subtotal | | | | | \$ 105 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | Rendimiento | \$ 683 | \$ 683 |
| Aspersor manual | | Hora | 0,01 | \$ 1.250 | \$ 6 |
| Subtotal | | | | | \$ 689 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Retiro de formaletas (0x2) | | h-C | 0,150 | \$ 9.110 | \$ 1.366 |
| Aplicación de antisol (0x1) | | h-C | 0,050 | \$ 4.555 | \$ 228 |
| Subtotal | | | | | \$ 1.594 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 2.389 |

Total Costo del Proceso “Fundición de Columnas” = \$ 16'145.888

Ejercicio 3. Realizar el análisis de precios unitarios (APU), para el proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de amarre”.

Procedimiento de cálculo

Definir el ítem de costo

- Determinar la cantidad de obra a ejecutar definida de acuerdo al producto entregable.

Proceso: Fundición de zapatas y vigas de amarre.

Unidad: m³ de zapata y viga de amarre fundida.

Especificaciones: Las zapatas y vigas de amarre a fundir, corresponden a la cimentación de una casa campestre de dos niveles y serán fabricadas en concreto de resistencia 3000psi fabricado en obra y en acero corrugado A-60 de 420Mpa de fluencia. Las zapatas tienen dimensiones de 1x1x0.25m y las vigas de amarre presentan dimensiones de 0.3x0.25m. Los solados serán fabricados en mortero de dosificación en volumen 1:4.

Cantidad de obra: Se debe despiezar cada una de las parrillas de las zapatas y de las vigas de amarre para determinar la cantidad de refuerzo que se requiere y determinar la cantidad de metros cúbicos de zapatas y vigas que se va a fundir. Por tanto la cantidad de zapatas y vigas de amarre a fundir son: **7.96m³**

Tabla 56. Cantidad de Acero de refuerzo en las zapatas.

| ZAPATA | DIAMETRO (Pulg) | SEPARACIÓN (m) | | LONG (m) | | # BARRAS | | L. TOTAL (m) | | MASA (Kg/m) | PESO (Kg) |
|----------------------------|-----------------|----------------------|-------|-------------------------|---------------|----------|------|--------------|------|-------------|-----------|
| | | X | Y | Lx | Ly | X | Y | Lx | Ly | | |
| Representativa (1x1x0.25m) | 1/2" | 0,17 | 0,17 | 0,86 | 0,86 | 6,00 | 6,00 | 5,16 | 5,16 | 0,99 | 10,27 |
| ACERO (Kg) | 10,27 | No de ZAPATAS | 16,00 | TOTAL ACERO (Kg) | 188,94 | | | | | | |
| Desp (15%) | 1,54 | | | | | | | | | | |
| TOTAL ACERO (Kg) | 11,81 | | | | | | | | | | |

Fuente: El Autor.

Tabla 57. Cantidad de Acero de refuerzo en las vigas de amarre.

| VIGA DE AMARRE | REFUERZO LONGITUDINAL | | | | REFUERZO TRANSVERSAL | | | | MASA (Kg/m) | | PESO (Kgf) | |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|--------|-------------------------|----------------------|------------|--------|------------|-------------|------|------------|------------|
| | Φ (Pulg) | # | L. (m) | L. TOT (m) | Φ (Pulg) | # ESTRIBOS | L. (m) | L. TOT (m) | 5/8" | 3/8" | Long (Kgf) | Trns (Kgf) |
| Representativa (0.30x0.25m) | 5/8" | 4 | 2,2 | 8,80 | 3/8" | 46,00 | 0,92 | 42,32 | 1,55 | 0,56 | 13,64 | 23,70 |
| ACERO (Kg) | 37,34 | No de VIGAS | 24,00 | TOTAL ACERO (Kg) | 1.030,56 | | | | | | | |
| Desp (15%) | 5,60 | | | | | | | | | | | |
| TOTAL (Kg) | 42,94 | | | | | | | | | | | |

Fuente: El Autor.

Tabla 58. Cantidad de mortero para los solados en las zapatas.

| ZAPATA | DIMENSIONES | | | VOLUMEN (m3) |
|----------------------------|-------------|-------------------|-------------|--------------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) | |
| Representativa (1x1x0.25m) | 1 | 1 | 0,05 | 0,05 |
| No de ZAPATAS | 16,00 | TOTAL (m3) | 0,80 | |

Tabla 59. Cantidad de mortero para los solados en las vigas de amarre.

| VIGAS DE AMARRE | DIMENSIONES | | | VOLUMEN (m3) |
|------------------------------|-------------|-------------------|-------------|--------------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) | |
| Representativa (0.30x0.25m) | 2,2 | 0,3 | 0,05 | 0,03 |
| No de VIGAS DE AMARRE | 24,00 | TOTAL (m3) | 0,79 | |

Fuente: El Autor.

Tabla 60. Cantidad de concreto para las zapatas.

| ZAPATA | DIMENSIONES | | | VOLUMEN (m3) |
|----------------------------|-------------|-------------------------|-------------|--------------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) | |
| Representativa (1x1x0.25m) | 1 | 1 | 0,25 | 0,25 |
| No de ZAPATAS | 16,00 | TOTAL CONC. (m3) | 4,00 | |

Fuente: El Autor.

Tabla 61. Cantidad de concreto para las vigas de amarre.

| VIGAS DE AMARRE | DIMENSIONES | | | VOLUMEN (m3) |
|------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|--------------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) | |
| Representativa (0.30x0.25m) | 2,2 | 0,3 | 0,25 | 0,17 |
| No de VIGAS DE AMARRE | 24,00 | TOTAL CONC. (m3) | 3,96 | |

Fuente: El Autor.

Tabla 62. Cantidad de suelo excavado para las zapatas.

| ZAPATA | DIMENSIONES | | | VOLUMEN EXCAVADO (m3) |
|----------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) | |
| Representativa (1x1x0.25m) | 1 | 1 | 0,25 | 0,25 |
| No de ZAPATAS | 16,00 | TOTAL SUELO EXCAVADO. (m3) | 4,00 | |

Fuente: El Autor.

Tabla 63. Cantidad de suelo excavado para las vigas de amarre.

| VIGAS DE AMARRE | DIMENSIONES | | | VOLUMEN EXCAVADO (m3) |
|------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------|
| | X (m) | Y (m) | Z (m) | |
| Representativa (0.30x0.25m) | 2,2 | 0,3 | 0,25 | 0,17 |
| No de VIGAS DE AMARRE | 24,00 | TOTAL SUELO EXCAVADO. (m3) | 3,96 | |

Fuente: El Autor.

- Determinar la estrategia constructiva inicial, respondiendo al interrogante ¿Cuál es el procedimiento del proceso a seguir?

El proceso de “Fundición de zapatas y vigas de amarre” comenzará con la excavación manual de los huecos para las zapatas y las zanjas para las vigas de amarre. El concreto empleado será realizado fabricado en obra, a través de una mezcladora mecánica de 1 saco de capacidad; los aceros serán cortados y flejados en obra con el propósito de armar cada parrilla y cada viga también en el

sitio. El proceso no requiere formateado porque el mismo suelo cumplirá el papel de cajón para las zapatas y las vigas de amarre.

- Definir la WBS del proceso y los ítems de costo.

Tabla 64. WBS del proceso “Fundición de Zapatas y Vigas de amarre”.

| (WBS) FUNDICIÓN DE ZAPATAS Y VIGAS DE AMARRE | ÍTEM DE COSTO | ACTIVIDADES PRODUCTIVAS |
|---|----------------------|--------------------------------|
| | EXCAVACIÓN | Excavación manual |
| | | Retiro de material |
| | ACERO | Corte del acero |
| | | Flejado y figurado del acero |
| | | Amarre del acero |
| | | Armado de zapatas y vigas |
| | SOLADOS | Preparación de solados |
| | | Vaciado de solados |
| | CONCRETO | Preparación del concreto |
| Vaciado del concreto | | |
| Vibrado del concreto | | |
| Aplicación de emulsiones o agua | | |

Fuente: El Autor.

Análisis del proceso

- Identificar los recursos necesarios para cada ítem de costo (materiales, equipos, herramientas y mano de obra).

Tabla 65. Recursos para el ítem de costo "Excavación".

| ÍTEM DE COSTO | RECURSO | |
|---------------------------------|------------------------|-------------|
| EXCAVACIÓN | Materiales | --- |
| | Equipos y herramientas | Palas |
| | | Picas |
| | | Carretillas |
| Mano de obra (cuadrilla básica) | (0x2) | |

Fuente: El Autor.

Tabla 66. Recursos para el ítem de costo "Acero".

| ÍTEM DE COSTO | RECURSO | |
|---------------------------------|------------------------|-------------------|
| ACERO | Materiales | Acero 3/8" |
| | | Acero 5/8" y 1/2" |
| | | Alambre negro |
| | Equipos y herramientas | Cizalla |
| | | Segueta |
| | | Alicates |
| | | Bichiroque |
| | | Fluxómetro |
| | | Dobladora |
| | | Martillo |
| Mano de obra (cuadrilla básica) | (1x2) | |

Fuente: El Autor.

Tabla 67. Recursos para el ítem de costo "Solados".

| ÍTEM DE COSTO | RECURSO | |
|----------------|---------------------------------|------------------|
| SOLADOS | Materiales | Cemento |
| | | Arena de río |
| | | Agua |
| | Equipos y herramientas | Batea |
| | | Palas |
| | | Cabos para palas |
| | | Baldes |
| | Mano de obra (cuadrilla básica) | (0x2) |

Fuente: El Autor.

Tabla 68. Recursos para el ítem de costo "Concreto".

| ÍTEM DE COSTO | RECURSO | |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------|
| CONCRETO | Materiales | Cemento |
| | | Arena de río |
| | | Grava 3/4" |
| | | Agua |
| | | Antisol de Sika |
| | Equipos y herramientas | Mezcladora de 1 saco |
| | | Vibrador eléctrico |
| | | Aspersor manual |
| | | Cajones de madera |
| | | Batea |
| | | Palas |
| | | Cabos para palas |
| | | Baldes |
| | Mano de obra (cuadrilla básica) | 2 cuadrillas de (1x4) |

Fuente: El Autor.

- Definir los rendimientos de los recursos activos (aquellos que están en función del tiempo) como los equipos y las cuadrillas de trabajo. El rendimiento y la productividad se determinan por unidad de obra del ítem.

Tabla 69. Rendimientos de equipos.

| EQUIPO | UNIDAD | PRODUCTIVIDAD |
|----------------------|--------------------|---------------|
| Mezcladora de 1 saco | h / m ³ | 0,500 |
| Vibrador eléctrico | h / m ³ | 0,041 |
| Aspersor manual | h / m ² | 0,005 |

Fuente: El Autor.

Tabla 70. Rendimientos de mano de obra.

| ÍTEM DE COSTO | ACTIVIDADES PRODUCTIVAS | CUADRILLA | RENDIMIENTO |
|-------------------|------------------------------|-----------|-------------|
| EXCAVACIÓN | Excavación manual | (0X2) | 0,800 |
| | Retiro de material | (0X1) | 0,800 |
| ACERO | Corte del acero | (0X2) | 0,010 |
| | Flejado y figurado del acero | (0X2) | 0,021 |
| | Amarre del acero | (0X2) | 0,048 |
| | Armado de zapatas y vigas | (1X3) | 0,015 |
| SOLADOS | Preparación de solados | (0X2) | 1,392 |
| | Vaciado de solados | (0X2) | 1,200 |
| CONCRETO | Preparación del concreto | (1X4) | 0,426 |
| | Vaciado del concreto | (1X4) | 0,300 |
| | Vibrado del concreto | (1X1) | 0,041 |
| | Aplicación de antisol | (0X1) | 0,005 |

Fuente: El Autor.

- Definir los consumos de los recursos pasivos (aquellos que no consumen tiempo) como los materiales, teniendo en cuenta posibles desperdicios. El consumo se determina por unidad de obra del ítem.

Tabla 71. Consumo de materiales por unidad de obra de todo el proceso, por m³.

| MATERIAL | OBSERVACIÓN | UNIDAD | CANTIDAD |
|----------------------------|--------------|--------|----------|
| Cemento | Desp (10%) | Kg | 385 |
| Arena de río | Vacios (20%) | m3 | 0,403 |
| Grava 3/4" | Vacios (20%) | m3 | 0,605 |
| Agua | | Lts | 170 |
| Acero 3/8", 1/2" y 5/8" | Desp (15%) | Kg | 153,204 |
| Aditivo especial (antisol) | Desp (20%) | Kg | 0,5 |

Fuente: El Autor.

Si se toma como unidad de obra de todo el proceso el m³ de zapata y viga de amarre fundida; se puede conocer el consumo de cada material presente en 1 m³ de proceso fundido dividiendo la cantidad total de material empleado entre la cantidad total de m³ a fundir. Así:

Total de m³ de concreto a fundir: 7,96m³

Total de acero: 1.219,5Kg

Consumo por m³ de zapata y viga de amarre fundida de Acero: $1.219,5 / 7,96 = 153,204\text{Kg}$

Análisis del mercado

- *Materiales*: Determinar el precio de adquisición de los diferentes materiales empleados para cada ítem de costo. Los siguientes precios de materiales son obtenidos del mercado comercial en Bucaramanga.

Saco de cemento portland tipo I de 50Kg: \$ 20.000

Metro cúbico de arena lavada: \$ 50.900

Metro cúbico de grava: \$ 55.000

Litro de agua: \$ 8

Kilogramo de acero de 3/8", 1/2" y 5/8": \$ 2.800

Kilogramo de antisol: \$ 3.500

Kilogramo de alambre negro: \$ 2.500

- *Equipos:* Determinar el precio de adquisición o arrendamiento de los equipos empleados en cada ítem de costo.

Mezcladora de 1 saco: Hora de alquiler: \$ 40.000 (Incluye combustible y acarreo del equipo).

Vibrador eléctrico: Día de alquiler: \$ 25.000, hora: \$ 3.125

Aspersor manual: Día de alquiler: \$ 10.000, hora: \$ 1.250

- *Mano de obra:* Determinar los honorarios de cada uno de los auxiliares y ayudantes que conforman las diversas cuadrillas de trabajo.

Factor real salarial asumido "F.R.S": 2.2

Salario mínimo mensual vigente año 2009: \$ 496.900

Salario del Oficial: $\$ 496.900 * 2.2 * 1.4 / 30 \text{ días} / 8 \text{ horas diarias} = \$ 6.376,88$ cada hora.

Salario del Ayudante: $\$ 496.900 * 2.2 / 30 \text{ días} / 8 \text{ horas diarias} = \$ 4.554,92$ cada hora.

Cuadrillas de trabajo:

- ✓ $(0x1) = \$ 4.554,92$ cada hora.
 - ✓ $(0x2) = 2 * \$ 4.554,92 = \$ 9.109,84$ cada hora.
 - ✓ $(1x1) = 1 * \$ 4.554,92 + 1 * \$ 6.376,88 = \$ 10.931,8$ cada hora.
 - ✓ $(1x3) = 3 * \$ 4.554,92 + 1 * \$ 6.376,88 = \$ 20.041,64$ cada hora.
 - ✓ $(1x4) = 4 * \$ 4.554,92 + 1 * \$ 6.376,88 = \$ 24.596,56$ cada hora.
-
- Herramienta menor: Determinar los costos relacionados de las herramientas dentro del ítem de costo.

Herramienta menor: Se asume el 5% del costo de la mano de obra.

Tabla 72. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem "Excavación manual".

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------|-------------|-----------------|------------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 1 | EXCAVACIÓN MANUAL | m3 | 7,96 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | \$ 0 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | Rendimiento | \$ 683 | \$ 683 |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | \$ 683 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Excavación manual (0x2) | | h-C | 0,800 | \$ 9.110 | \$ 7.288 |
| Retiro de material (0x1) | | h-C | 0,800 | \$ 4.555 | \$ 3.644 |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | \$ 10.932 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 11.615 |

Fuente: El Autor.

Tabla 73. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo "Acero A-60".

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|---|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 2 | ACERO (Corte, flejado y figurado, amarre y armado) | Kg | 1.219,5 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| Acero de 3/8", 1/2" y 5/8" | Incluye 15% desperdicio | Kg | 1,000 | \$ 2.800 | \$ 2.800 |
| Alambre negro | Incluye 15% desperdicio | Kg | 0,100 | \$ 2.500 | \$ 250 |
| Subtotal | | | | | \$ 3.050 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | Rendimiento | \$ 2.368,558 | \$ 2.369 |
| Subtotal | | | | | \$ 2.369 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Corte del acero (0x2) | | h-C | 0,010 | \$ 9.110 | \$ 91 |
| Flejado y figurado (0x2) | | h-C | 0,021 | \$ 9.110 | \$ 191 |
| Amarre del acero (0x2) | | h-C | 0,048 | \$ 9.110 | \$ 437 |
| Armado de columnas (1x3) | | h-C | 0,015 | \$ 20.042 | \$ 301 |
| Subtotal | | | | | \$ 1.020 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 6.439 |

Fuente: El Autor.

Tabla 74. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo "Solados".

Fuente: El Autor.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|---|--------|-------------|-----------------|-------------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 3 | SOLADOS (preparación y vaciado). | m3 | 1,59 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| Cemento Gris | Incluye 10% desperdicio | Kg | 380,63 | \$ 400 | \$ 152.252 |
| Arena de río | Incluye 20% de vacios | m3 | 1,22 | \$ 50.900 | \$ 62.098 |
| Agua limpia | | Lts | 255 | \$ 8 | \$ 2.040 |
| Subtotal | | | | | \$ 216.390 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | | \$ 911 | \$ 911 |
| Subtotal | | | | | \$ 911 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Preparación (0x2) | | h-C | 1,392 | \$ 9.110 | \$ 12.681 |
| Vaciado (0x2) | | h-C | 1,200 | \$ 9.110 | \$ 10.932 |
| Subtotal | | | | | \$ 23.613 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 240.914 |

Fuente: El Autor.

Tabla 75. Formato de análisis de precios unitarios para el ítem de costo "Concreto".

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
|-------------------------------|---|--------|-------------|-----------------|-------------------|
| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | | |
| 4 | CONCRETO (preparación, vaciado, vibrado y curado). | m3 | 7,96 | | |
| 1. Materiales | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Consumo | Precio unitario | Valor parcial |
| Cemento Gris | Incluye 10% desperdicio | Kg | 385 | \$ 400 | \$ 154.000 |
| Arena de río | Incluye 20% de vacios | m3 | 0,403 | \$ 50.900 | \$ 20.513 |
| Grava de 3/4" | Incluye 20% de vacios | m3 | 0,605 | \$ 55.000 | \$ 33.275 |
| Agua limpia | | Lts | 170 | \$ 8 | \$ 1.360 |
| Antisol de sika | Emulsión líquida | Kg | 0,030 | \$ 3.500 | \$ 105 |
| Subtotal | | | | | \$ 209.253 |
| 2. Equipo | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Tarifa | Valor parcial |
| Mezcladora de 1 saco | Incluye flete y combustible | Hora | 1/2 | \$ 40.000 | \$ 20.000 |
| Herramienta menor | 5% de la mano de obra | Gl | | \$ 3.006 | \$ 3.006 |
| Vibrador eléctrico | | Hora | 0,041 | \$ 3.125 | \$ 128 |
| Aspersor manual | | Hora | 0,010 | \$ 1.250 | \$ 13 |
| Subtotal | | | | | \$ 23.147 |
| 3. Mano de Obra | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Rendimiento | Valor unitario | Valor parcial |
| Preparación (1x4) | | h-C | 0,426 | \$ 24.597 | \$ 10.478 |
| Vaciado (1x4) | | h-C | 0,300 | \$ 24.597 | \$ 7.379 |
| Vibrado (1x1) | | h-C | 0,041 | \$ 10.932 | \$ 448 |
| Aplicación de antisol (0x1) | | h-C | 0,050 | \$ 4.555 | \$ 228 |
| Subtotal | | | | | \$ 18.533 |
| 4. Otros | | | | | |
| Descripción | Observaciones | Unidad | Factor | Precio unitario | Valor parcial |
| Subtotal | | | | | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 250.933 |

Total Costo del Proceso "Fundición de Zapatas y vigas de amarre"
= \$ 10'325.296

3.7.2 Ejercicios propuestos

Ejercicio 1. Realizar el análisis de precios unitarios (APU), para el proceso “Mampostería en ladrillo H-15” planeado en el capítulo 1. Tomar como unidad de obra 1m^2 de muro mampuesto.

Ejercicio 2. Realizar el análisis de precios unitarios (APU), para el proceso “Fundición de placa aligerada de entrepiso” de una vivienda de un solo nivel. Tomar como unidad de obra 1m^3 de placa fundida.

CONCLUSIONES

- El texto servirá de herramienta pedagógica al estudiante de pregrado de Ingeniería Civil, específicamente a aquellos estudiantes que cursan la asignatura de Construcción. Enseña de manera detallada la gestión de obras de construcción, permitiendo interactuar con la planeación, la programación y la estimación de costos de procesos constructivos.
- Planear una obra de construcción, permite ver hacia futuro y responder una serie de interrogantes como los siguientes: cuál es el alcance realmente esperado, cuál es la metodología a seguir, cuáles son los procesos, tareas y actividades que se requieren implementar para el diseño se convierta en algo tangible, qué tipo de materiales, herramientas y equipos se necesitan para realizarlo, cuánta gente debe trabajar para lograr culminar cada una de las tareas a tiempo, etc.
- Definir un proceso constructivo es básicamente asignar cada una de las tareas y actividades requeridas para terminarlo a feliz término; es responder cada uno de los interrogantes anteriores que conduzcan a una asignación de recursos óptima.
- Luego de definir un proceso constructivo, es importante modelar la secuencia entre las actividades que lo conforman; es decir, asignar un orden de realización a cada una de ellas dentro del espacio denominado tiempo, para ello es necesario previamente estimar cada una de sus duraciones.
- Estimar la duración de una actividad a través de estimaciones determinísticas requiere utilizar datos de campo que permitan medir los

rendimientos y productividades de cuadrillas de trabajo y equipos. Esta metodología exige nuevas habilidades de los ingenieros basados en una buena Planeación y Control. El libro busca incentivar el uso de la planeación en obra.

- La estimación de costos de un proceso constructivo, representa la última etapa de gestión analizada en este trabajo de grado y es uno de los parámetros más analizados detalladamente en la Industria de la Construcción, porque representa el factor económico. Con base en el cual se toman las decisiones en obra.

BIBLIOGRAFIA

- AHUJA, Hira N, WALSH Michael. Ingeniería de costos y administración de proyectos. 373p.
- ANTILL, James M. Método de la ruta crítica y su aplicación a la construcción. Primera edición. México 1969. Editorial Limusa-Wiley S.A. 315p.
- CASTELLANOS, Paola Andrea, PEDROZA Carol Nataly. Sistematización de la estimación de costos y presupuestos del proyecto sistema integrado de transporte masivo de Bucaramanga METROLINEA. Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. UIS, Bucaramanga 2006.
- CHASE B, Richard. JACOBS Robert. AQUILANO Nicholas. Administración de la Producción y Operaciones: Para una ventaja competitiva. Décima edición. México. Mc Graw Hill. 2005. 848p.
- CHUEN, Luís Yu. Aplicaciones prácticas del PERT y CPM; Métodos de Dirección para Planeación, Programación y Control de Proyectos. Tercera edición. España 1969. Ediciones Deusto. 166 p.
- Diccionario de la Lengua Española. Real Academia Española. Vigésima primera edición. Madrid. 1992. 1513p.
- EDELSTEIN, Isaac E. Programación de obras: Técnicas Gantt, CPM, PERT, Aplicadas a la construcción. Argentina. Editorial Librería Mitre. 109p.

- El análisis DOFA, http://www.latinpymes.com/asp_noticia.
- HALPIN W, Daniel. Conceptos financieros y de costos en la Industria de la Construcción. México. Limusa 1997. 482p.
- MARINO NAVARRETE, Hernando. Gerencia de procesos. Alfaomega S.A. Bogotá, Colombia. 2001. 147p.
- MEJÍA AGUILAR, Guillermo, HERNANDEZ, Triny Carolina. Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra. Universidad Industrial de Santander. 2007.
- MORENO B, Eduardo. Curso de construcción, planteamiento y programación de la construcción por los métodos PERT y CPM. Colombia, 1969. Universidad Industrial de Santander, Departamento de materiales y diseño.30p.
- MUÑOZ, Jairo. Metodologías para el diagnóstico y el diseño de metas. Publicaciones Pizarrón No 24. <http://www.sercol.org.co/pizarra24.htm>.
- NIETO DÍAZ, Humberto. Presupuesto de Obra. Escala 1997. 147p.
- PEURIFOY R, L. Estimación de los costos de construcción. 445p.
- PICÓN, Viviana Carolina, VELASCO, Alba Lorena. Elaboración de texto guía para la asignatura de Construcción I. Capítulos de: Planificación, Programación y Costos de Procesos y Operaciones en la construcción. Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. UIS, Bucaramanga 2007.

- SERPELL BLEY, Alfredo. Administración de operaciones de construcción. Segunda edición. México D.F. Alfaomega grupo editores S.A. 291p.
- SUÁREZ SALAZAR, Carlos. Costo y tiempo en edificación. México. Limusa Wiley S.A. 1969. 326p.

ANEXO ²⁵

Tabla de distribución normal:

| Z | PROBABILIDAD | | | | | | | | | |
|--------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| normal | 0 | 0,504 | 0,508 | 0,512 | 0,516 | 0,5199 | 0,5239 | 0,5279 | 0,5319 | 0,5359 |
| 0 | 0,5 | 0,504 | 0,508 | 0,512 | 0,516 | 0,5199 | 0,5239 | 0,5279 | 0,5319 | 0,5359 |
| 0,1 | 0,5398 | 0,5438 | 0,5478 | 0,5517 | 0,5557 | 0,5596 | 0,5636 | 0,5675 | 0,5714 | 0,5754 |
| 0,2 | 0,5793 | 0,5832 | 0,5871 | 0,591 | 0,5948 | 0,5987 | 0,6026 | 0,6064 | 0,6103 | 0,6141 |
| 0,3 | 0,6179 | 0,6217 | 0,6255 | 0,6293 | 0,6331 | 0,6368 | 0,6406 | 0,6443 | 0,648 | 0,6517 |
| 0,4 | 0,6554 | 0,6591 | 0,6628 | 0,6664 | 0,67 | 0,6736 | 0,6772 | 0,6808 | 0,6844 | 0,6879 |
| 0,5 | 0,6915 | 0,695 | 0,6985 | 0,7019 | 0,7054 | 0,7088 | 0,7123 | 0,7157 | 0,719 | 0,7224 |
| 0,6 | 0,7258 | 0,7291 | 0,7324 | 0,7357 | 0,7389 | 0,7422 | 0,7454 | 0,7486 | 0,7518 | 0,7549 |
| 0,7 | 0,758 | 0,7612 | 0,7642 | 0,7673 | 0,7704 | 0,7734 | 0,7764 | 0,7794 | 0,7823 | 0,7852 |
| 0,8 | 0,7881 | 0,791 | 0,7939 | 0,7967 | 0,7996 | 0,8023 | 0,8051 | 0,8079 | 0,8106 | 0,8133 |
| 0,9 | 0,8159 | 0,8186 | 0,8212 | 0,8238 | 0,8264 | 0,8289 | 0,8315 | 0,834 | 0,8365 | 0,8389 |
| 1 | 0,8413 | 0,8438 | 0,8461 | 0,8485 | 0,8508 | 0,8531 | 0,8554 | 0,8577 | 0,8599 | 0,8621 |
| 1,1 | 0,8643 | 0,8665 | 0,8686 | 0,8708 | 0,8729 | 0,8749 | 0,877 | 0,879 | 0,881 | 0,883 |
| 1,2 | 0,8849 | 0,8869 | 0,8888 | 0,8907 | 0,8925 | 0,8944 | 0,8962 | 0,898 | 0,8997 | 0,9015 |
| 1,3 | 0,9032 | 0,9049 | 0,9066 | 0,9082 | 0,9099 | 0,9115 | 0,9131 | 0,9147 | 0,9162 | 0,9177 |
| 1,4 | 0,9192 | 0,9207 | 0,9222 | 0,9236 | 0,9251 | 0,9265 | 0,9279 | 0,9292 | 0,9306 | 0,9319 |
| 1,5 | 0,9332 | 0,9345 | 0,9357 | 0,937 | 0,9382 | 0,9394 | 0,9406 | 0,9418 | 0,943 | 0,9441 |
| 1,6 | 0,9452 | 0,9463 | 0,9474 | 0,9485 | 0,9495 | 0,9505 | 0,9515 | 0,9525 | 0,9535 | 0,9545 |
| 1,7 | 0,9554 | 0,9564 | 0,9573 | 0,9582 | 0,9591 | 0,9599 | 0,9608 | 0,9616 | 0,9625 | 0,9633 |
| 1,8 | 0,9641 | 0,9649 | 0,9656 | 0,9664 | 0,9671 | 0,9678 | 0,9686 | 0,9693 | 0,97 | 0,9706 |
| 1,9 | 0,9713 | 0,9719 | 0,9726 | 0,9732 | 0,9738 | 0,9744 | 0,975 | 0,9756 | 0,9762 | 0,9767 |
| 2 | 0,9773 | 0,9778 | 0,9783 | 0,9788 | 0,9793 | 0,9798 | 0,9803 | 0,9808 | 0,9812 | 0,9817 |
| 2,1 | 0,9821 | 0,9826 | 0,983 | 0,9834 | 0,9838 | 0,9842 | 0,9846 | 0,985 | 0,9854 | 0,9857 |
| 2,2 | 0,9861 | 0,9865 | 0,9868 | 0,9871 | 0,9875 | 0,9878 | 0,9881 | 0,9884 | 0,9887 | 0,989 |
| 2,3 | 0,9893 | 0,9896 | 0,9898 | 0,9901 | 0,9904 | 0,9906 | 0,9909 | 0,9911 | 0,9913 | 0,9916 |
| 2,4 | 0,9918 | 0,992 | 0,9922 | 0,9925 | 0,9927 | 0,9929 | 0,9931 | 0,9932 | 0,9934 | 0,9936 |
| 2,5 | 0,9938 | 0,994 | 0,9941 | 0,9943 | 0,9945 | 0,9946 | 0,9948 | 0,9949 | 0,9951 | 0,9952 |
| 2,6 | 0,9953 | 0,9955 | 0,9956 | 0,9957 | 0,9959 | 0,996 | 0,9961 | 0,9962 | 0,9963 | 0,9964 |
| 2,7 | 0,9965 | 0,9966 | 0,9967 | 0,9968 | 0,9969 | 0,997 | 0,9971 | 0,9972 | 0,9973 | 0,9974 |

²⁵ MEREDITH, Jack. Administración de las operaciones: Un énfasis conceptual. Segunda edición. México, limusa, 1999. 781p.

| | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2,8 | 0,9974 | 0,9975 | 0,9976 | 0,9977 | 0,9977 | 0,9978 | 0,9979 | 0,998 | 0,998 | 0,9981 |
| 2,9 | 0,9981 | 0,9982 | 0,9983 | 0,9983 | 0,9984 | 0,9984 | 0,9985 | 0,9985 | 0,9986 | 0,9986 |
| 3 | 0,9987 | 0,9987 | 0,9987 | 0,9988 | 0,9988 | 0,9989 | 0,9989 | 0,9989 | 0,999 | 0,999 |
| 3,1 | 0,999 | 0,9991 | 0,9991 | 0,9991 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9993 | 0,9993 |
| 3,2 | 0,9993 | 0,9993 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9995 | 0,9995 | 0,9995 |
| 3,3 | 0,9995 | 0,9995 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9997 |
| 3,4 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9998 | 0,9998 |
| 3,5 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 |
| 3,6 | 0,9998 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 |
| 3,7 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 |
| 3,8 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 1 | 1 | 1 |
| 3,9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| Z | PROBABILIDAD | | | | | | | | | |
|----------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| normal | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| -4 | 3E-05 | 3E-05 | 3E-05 | 3E-05 | 3E-05 | 3E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 | 2E-05 |
| -3,9 | 5E-05 | 5E-05 | 4E-05 | 4E-05 | 4E-05 | 4E-05 | 4E-05 | 4E-05 | 3E-05 | 3E-05 |
| -3,8 | 7E-05 | 7E-05 | 7E-05 | 6E-05 | 6E-05 | 6E-05 | 6E-05 | 5E-05 | 5E-05 | 5E-05 |
| -3,7 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 9E-05 | 9E-05 | 8E-05 | 8E-05 | 8E-05 | 8E-05 |
| -3,6 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| -3,5 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 |
| -3,4 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0002 |
| -3,3 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 |
| -3,2 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| -3,1 | 0,001 | 0,0009 | 0,0009 | 0,0009 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0008 | 0,0007 | 0,0007 |
| -3 | 0,0014 | 0,0013 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0012 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,001 | 0,001 |
| -2,9 | 0,0019 | 0,0018 | 0,0018 | 0,0017 | 0,0016 | 0,0016 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0014 | 0,0014 |
| -2,8 | 0,0026 | 0,0025 | 0,0024 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0022 | 0,0021 | 0,0021 | 0,002 | 0,0019 |
| -2,7 | 0,0035 | 0,0034 | 0,0033 | 0,0032 | 0,0031 | 0,003 | 0,0029 | 0,0028 | 0,0027 | 0,0026 |
| -2,6 | 0,0047 | 0,0045 | 0,0044 | 0,0043 | 0,0042 | 0,004 | 0,0039 | 0,0038 | 0,0037 | 0,0036 |
| -2,5 | 0,0062 | 0,006 | 0,0059 | 0,0057 | 0,0055 | 0,0054 | 0,0052 | 0,0051 | 0,0049 | 0,0048 |
| -2,4 | 0,0082 | 0,008 | 0,0078 | 0,0076 | 0,0073 | 0,0071 | 0,007 | 0,0068 | 0,0066 | 0,0064 |
| -2,3 | 0,0107 | 0,0104 | 0,0102 | 0,0099 | 0,0096 | 0,0094 | 0,0091 | 0,0089 | 0,0087 | 0,0084 |
| -2,2 | 0,0139 | 0,0136 | 0,0132 | 0,0129 | 0,0126 | 0,0122 | 0,0119 | 0,0116 | 0,0113 | 0,011 |
| -2,1 | 0,0179 | 0,0174 | 0,017 | 0,0166 | 0,0162 | 0,0158 | 0,0154 | 0,015 | 0,0146 | 0,0143 |

| | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| -2 | 0,0228 | 0,0222 | 0,0217 | 0,0212 | 0,0207 | 0,0202 | 0,0197 | 0,0192 | 0,0188 | 0,0183 |
| -1,9 | 0,0287 | 0,0281 | 0,0274 | 0,0268 | 0,0262 | 0,0256 | 0,025 | 0,0244 | 0,0239 | 0,0233 |
| -1,8 | 0,0359 | 0,0352 | 0,0344 | 0,0336 | 0,0329 | 0,0322 | 0,0314 | 0,0307 | 0,0301 | 0,0294 |
| -1,7 | 0,0446 | 0,0436 | 0,0427 | 0,0418 | 0,0409 | 0,0401 | 0,0392 | 0,0384 | 0,0375 | 0,0367 |
| -1,6 | 0,0548 | 0,0537 | 0,0526 | 0,0516 | 0,0505 | 0,0495 | 0,0485 | 0,0475 | 0,0465 | 0,0455 |
| -1,5 | 0,0668 | 0,0655 | 0,0643 | 0,063 | 0,0618 | 0,0606 | 0,0594 | 0,0582 | 0,0571 | 0,0559 |
| -1,4 | 0,0808 | 0,0793 | 0,0778 | 0,0764 | 0,0749 | 0,0735 | 0,0722 | 0,0708 | 0,0694 | 0,0681 |
| -1,3 | 0,0968 | 0,0951 | 0,0934 | 0,0918 | 0,0901 | 0,0885 | 0,0869 | 0,0853 | 0,0838 | 0,0823 |
| -1,2 | 0,1151 | 0,1131 | 0,1112 | 0,1094 | 0,1075 | 0,1057 | 0,1038 | 0,102 | 0,1003 | 0,0985 |
| -1,1 | 0,1357 | 0,1335 | 0,1314 | 0,1292 | 0,1271 | 0,1251 | 0,123 | 0,121 | 0,119 | 0,117 |
| -1 | 0,1587 | 0,1563 | 0,1539 | 0,1515 | 0,1492 | 0,1469 | 0,1446 | 0,1423 | 0,1401 | 0,1379 |
| -0,9 | 0,1841 | 0,1814 | 0,1788 | 0,1762 | 0,1736 | 0,1711 | 0,1685 | 0,166 | 0,1635 | 0,1611 |
| -0,8 | 0,2119 | 0,209 | 0,2061 | 0,2033 | 0,2005 | 0,1977 | 0,1949 | 0,1922 | 0,1894 | 0,1867 |
| -0,7 | 0,242 | 0,2389 | 0,2358 | 0,2327 | 0,2297 | 0,2266 | 0,2236 | 0,2207 | 0,2177 | 0,2148 |
| -0,6 | 0,2743 | 0,2709 | 0,2676 | 0,2644 | 0,2611 | 0,2579 | 0,2546 | 0,2514 | 0,2483 | 0,2451 |
| -0,5 | 0,3085 | 0,305 | 0,3015 | 0,2981 | 0,2946 | 0,2912 | 0,2877 | 0,2843 | 0,281 | 0,2776 |
| -0,4 | 0,3446 | 0,3409 | 0,3372 | 0,3336 | 0,33 | 0,3264 | 0,3228 | 0,3192 | 0,3156 | 0,3121 |
| -0,3 | 0,3821 | 0,3783 | 0,3745 | 0,3707 | 0,3669 | 0,3632 | 0,3594 | 0,3557 | 0,352 | 0,3483 |
| -0,2 | 0,4207 | 0,4168 | 0,4129 | 0,4091 | 0,4052 | 0,4013 | 0,3974 | 0,3936 | 0,3897 | 0,3859 |
| -0,1 | 0,4602 | 0,4562 | 0,4522 | 0,4483 | 0,4443 | 0,4404 | 0,4364 | 0,4325 | 0,4286 | 0,4247 |
| 0 | 0,5 | 0,496 | 0,492 | 0,488 | 0,4841 | 0,4801 | 0,4761 | 0,4721 | 0,4681 | 0,4641 |