

**ELABORACIÓN DE TEXTO GUÍA PARA LA ASIGNATURA DE CONSTRUCCIÓN I.  
CAPÍTULOS DE: PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y COSTOS DE PROCESOS Y  
OPERACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN**

**VIVIANA CAROLINA PICÓN DELGADO  
ALBA LORENA VELASCO GÓMEZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2007**

**ELABORACIÓN DE TEXTO GUÍA PARA LA ASIGNATURA DE CONSTRUCCIÓN I.  
CAPÍTULOS DE: PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y COSTOS DE PROCESOS Y  
OPERACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN**

**VIVIANA CAROLINA PICÓN DELGADO  
ALBA LORENA VELASCO GÓMEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERÍA CIVIL**

**DIRECTOR:  
Ingeniero Civil. M.Sc., GUILLERMO MEJÍA AGUILAR**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2007**

*Dedicatoria*

*A Dios por guiar mi vida y darme la  
Oportunidad de salir adelante,  
Llenándome de sabiduría y dedicación.*

*A mis padres José de Dios Picón y Belsy  
Delgado, quienes con su amor, dedicación,  
esfuerzo y confianza, han hecho de mí,  
la persona que hoy soy.*

*A mis hermanos Marta, Alexander y  
Luis Fernando Picón. A mi familia, también  
han sido un gran apoyo y motivación.*

*A Fredy Hernández, por su amor, apoyo,  
compañía y ánimo para seguir adelante.*

*A mis compañeros y amigos, por compartir  
conocimientos y experiencias durante la carrera.*

*A aquellas personas que han creído  
en mí y en el comienzo de una  
nueva etapa en mi vida.*

*Viviana Carolina Picón D.*

*Dedicatoria*

*Al primero en todo, Dios,  
Por darme la luz de vida y por adornar  
Con las mejores cosas el camino que  
Recorro día a día.*

*A mis padres  
Margarita Gómez y  
Álvaro Velasco,  
Por su amor, apoyo y comprensión  
Que han estado siempre a mi lado para guiarme.  
Son la chispa que mantiene encendida mi vida.*

*A mis hermanos y familia por el apoyo  
Y con fianza que han puesto en las  
Cosas que hago.*

*A mis compañeros y amigos por sus días y noches  
De compañía, aprendizaje y crecimiento.*

*Alba Lorena Velasco G.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen la colaboración recibida de todos aquellos que hicieron posible la realización de este proyecto y en especial:

A nuestro directo de proyecto Ingeniero M.Sc. Guillermo Mejía Aguilar, por brindarnos la oportunidad de trabajar en este proyecto siendo nuestro guía y compartiéndonos sus conocimientos.

Al cuerpo de cuerpo de profesores por enseñarnos a ser profesionales compartiéndonos sus experiencias y conocimientos.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>1. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>21</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>23</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>23</b>
<b>3. PLANEACIÓN DE PROCESOS Y OPERACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>25</b>
<b>3.1. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO</b>	<b>26</b>
<b>3.2. DEFINICIONES DE PLANEACIÓN</b>	<b>27</b>
3.2.1. Importancia de la planeación.	28
3.2.2. Objetivos de la planeación.	30
3.2.3. Elementos que debe contener una planeacion.	31
3.2.4. Herramientas y técnicas de apoyo para realizar una buena planeación.	34
<b>3.3. PROCESOS Y OPERACIONES</b>	<b>50</b>
3.3.1. Ubicación de procesos dentro de un proyecto.	50
3.3.2. La construcción vista como un proceso.	53
3.3.3. Principios de calidad enfocados a la gerencia de procesos.	60
<b>3.3.4. DEFINICION DE LOS LIMITES (ALCANCE) DEL PROCESO</b>	<b>63</b>
3.3.5. Características de un proceso	65
3.3.6. Tipos de procesos.	66
3.3.7. Factores determinantes de un proceso (8 emes (m)).	69
3.3.8. Identificación y clasificación de procesos	72
3.3.9. Diseño del proceso.	75
3.3.10. Modelos para la gerencia de procesos.	76
3.3.11. Mediciones realizadas a los procesos	84
<b>3.4. EJERCICIOS</b>	<b>87</b>
3.4.1. Ejercicios resueltos.	87
<b>3.4.2. EJERCICIOS PROPUESTOS</b>	<b>91</b>
<b>4. PROGRAMACIÓN DE PROCESOS</b>	<b>93</b>
<b>4.1. RESTRICCIONES</b>	<b>93</b>
<b>4.2. OBJETIVOS DE LA PROGRAMACIÓN</b>	<b>96</b>
<b>4.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA</b>	<b>97</b>
4.3.1. Diagrama de Gantt.	98
4.3.2. Diagramas de redes orientados a eventos y actividades.	100
<b>4.4. MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN</b>	<b>108</b>
4.4.1. Desarrollo histórico de PERT y CPM.	110
4.4.2. Método CPM.	111
4.4.3. MÉTODO PERT.	115

<b>4.5. DETERMINACION DE TIEMPOS TEMPRANOS Y TARDIOS</b>	<b>124</b>
4.5.1. Diagrama de nodos.	124
4.5.2. Diagrama de flechas.	128
<b>4.6. DURACIÓN DEL PROCESO</b>	<b>134</b>
<b>4.7. HOLGURAS DE UNA ACTIVIDAD</b>	<b>135</b>
4.7.1. Holgura total de una actividad (Ht).	136
4.7.2. Holgura libre (HI).	138
4.7.3. Holgura interferente (Hi).	138
<b>4.8. ANÁLISIS DE LA RUTA CRÍTICA</b>	<b>139</b>
<b>4.9. OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS</b>	<b>142</b>
<b>4.10. EJERCICIOS</b>	<b>142</b>
4.10.1 EJERCICIOS RESUELTOS	142
4.10.2. EJERCICIOS PROPUESTOS	164
<b>5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PROCESOS</b>	<b>165</b>
<b>5.1. OBEJETIVOS DE LA ESTIMACIÓN DE COSTOS.</b>	<b>166</b>
<b>5.2. MANERAS DE ESTIMAR COSTOS.</b>	<b>166</b>
<b>5.3. FACTORES A TENER EN CUENTA DURANTE LA ESTIMACIÓN DE COSTOS.</b>	<b>169</b>
<b>5.4. GUÍA PARA EL CONTROL DE COSTOS</b>	<b>171</b>
<b>5.5. COSTOS DIRECTOS EN LA OBRA</b>	<b>171</b>
5.5.1. Definición de Ítems.	172
3.5.2. Enumeración de Recursos.	173
5.5.3. Análisis De Precios Unitarios.	175
<b>5.6. RECURSOS EN EL TIEMPO</b>	<b>193</b>
<b>5.7. EJERCICIOS</b>	<b>194</b>
5.7.1. EJERCICIOS RESUELTOS:	194
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>216</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>217</b>
<b>Anexo1</b>	<b>219</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Etapas de la planeación,	29
Figura 2. Planificación de operaciones. (Serpell)	33
Figura 3. Diagrama de flujo para el ejemplo 1.2. Proceso de mampostería común.	40
Figura 4. Diagrama de afinidad para el ejemplo 1.3. Proceso de mampostería común	41
Figura 5. Diagrama de afinidad para el ejemplo 1.3. Proceso de mampostería común.	42
Figura 6. Interrogantes que sirven de guía para una buena planeación.	43
Figura 7. Ejemplo de un histograma	45
Figura 8. Gráfico de ley de Pareto correspondiente al ejemplo 1.6.	46
Figura 9. Diagrama de espina de pescado	47
Figura 10. Diagrama de espina de pescado para el ejemplo 1.7.	48
Figura 11. Ejemplo de un diagrama de dispersión.	49
Figura 12. Representación de Proyectos, Tareas y Actividades.	50
Figura 13. Etapas de la construcción de proyectos (Slack)	52
Figura 14. Proceso	53
Figura 15. Etapas dentro de un proceso.	57
Figura 16. Principios de la calidad ISO 9000:2000	60
Figura 17. Alcance de procesos	63
Figura 18. Análisis de procesos	64
Figura 19. Definición de límites para el ejemplo 1.11.	65
Figura 20. Clasificación de los procesos según variedad y volumen	68
Figura 21. Ciclo NECA, para controlar	78
Figura 22. Ciclo PEEA, para mejorar	79
Figura 23. Desarrollo del ejercicio 1	87
Figura 24. Matriz de precedencia tipo 2	95
Figura 25. Diagrama de Gantt	97
Figura 26. Conexión fin a comienzo	98
Figura 27. Conexión fin a fin	98
Figura 28. Conexión comienzo a comienzo	99
Figura 29. Conexión comienzo a fin	99

Figura .30. Tipo de relación de entre actividades	100
Figura 31. Diagrama de nodos	100
Figura 32. Actividad en el diagrama de flechas	101
Figura 33. Diagrama de flechas	101
Figura 34. Tipos de flechas	102
Figura 35. Red de actividades	102
Figura 36. Línea de liga	103
Figura 37. Red de actividades en una matriz de tiempo	103
Figura 38. Uso de una actividad ficticia	104
Figura 39. Ejemplo del uso de actividades ficticias	105
Figura 40. Diagrama de Nodos ejemplo 2.4	106
Figura 41. Diagrama de flechas ejemplo 2.4	107
Figura 42. Diagrama PDM	108
Figura 43. Diagrama ADM	109
Figura 44. Diagrama de nodos ejemplo 2.6	113
Figura 45. Diagrama de flechas ejemplo 2.6	113
Figura 46. Curva de distribución de probabilidades de una actividad (Antill)	116
Figura 47. Diagrama de red con $T_e$ y Varianzas	120
Figura 48. Probabilidad de cumplir un tiempo programado $T_s$	121
Figura 49. Nomenclatura de tiempos para diagramas de nodos	124
Figura 50. Cálculo de tiempos tempranos para el ejemplo 2.9	125
Figura 51. Nomenclatura de tiempos tardíos para nodos	126
Figura 52. Nomenclatura de tiempos para diagramas de flechas	128
Figura 53. Cálculo de tiempos tempranos en diagramas de flechas	129
Figura 54. Cálculo de tiempos tempranos para el ejemplo 2.10	129
Figura 55. Cálculo de tiempos tardíos en diagramas de flechas	131
Figura 56. Tiempo tardío en un nodo al que llegan más de dos actividades	131
Figura 57. Diagrama de flecha con tiempos de red, ejemplo 2.10	132
Figura 58. Duración de un proceso, ejemplo 2.1	134
Figura 59. Ubicación de la holgura en los diagramas de red	135
Figura 60. Ubicación de la holgura total en el diagrama de nodos	136
Figura 61. Ubicación de la holgura total en el diagrama de flechas	137
Figura 62. Ruta crítica en el diagrama de nodos	139
Figura 63. Ruta crítica en el diagrama de flechas	139

Figura 64. Red de nodos ejercicio. 1	142
Figura 65. Red de flechas ejercicio. 1	143
Figura 66. Red de flechas en matriz de tiempos ejercicio. 1	143
Figura 67. Red de flechas 2 ejercicio. 1	144
Figura 68. Red de nodos ejercicio. 2	145
Figura 69. Red de flechas ejercicio. 2	146
Figura 70. Red de nodos y duraciones ejercicio. 2	147
Figura 71. Red de flechas y duraciones ejercicio. 2	147
Figura 72. Red de nodos con tiempos tempranos ejercicio. 2	148
Figura 73. Red de nodos con tiempos tardíos ejercicio. 2	148
Figura 74. Red de nodos con holguras ejercicio. 2	149
Figura 75. Red de flechas con tiempos tempranos ejercicio 2	150
Figura 76. Red de flechas con tiempos tardíos ejercicio 2	151
Figura 77. Red de flechas con holguras ejercicio. 2	152
Figura 78. Diagrama de nodos ejercicio. 3	153
Figura 79. Diagrama de flechas ejercicio 3	154
Figura 80. Diagrama de nodos ejercicio. 4	156
Figura 81. Diagrama de flechas ejercicio. 5	158
Figura 82. Diagrama de flechas ejercicio. 6	160
Figura 83. Diagrama de nodos ejercicio. 6	161
Figura 84. Método de estimación por enumeración de recursos	174
Figura 85. Pasos del proceso de estimación	176
Figura 86. Cantidades de obra para mampostería	178
Figura 87. Ladrillo común	191
Figura 88. Ley de pareto para el proceso de mampostería	216
Figura 89. Ladrillo H-10	217
Figura 90. Ladrillo H-12	218

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Matriz DOFA	34
Tabla 2. Cartas de proceso	35
Tabla 3. Carta de proceso para el ejemplo 1.1. Proceso de mampostería común	36
Tabla 4. Planeación del proyecto correspondiente a la construcción de una casa	54
Tabla 5. Clasificación según el tipo de actividades para el ejemplo 1.10.	57
Tabla 6. Clasificación según las etapas de las actividades para el ejemplo 1.10.	58
Tabla 7. Diferencia entre programación y producción	68
Tabla 8. Solución del ejercicio 2.	88
Tabla 9. Solución del ejercicio 3.	89
Tabla 10. Complemento del ejercicio 3.	90
Tabla 11. Secuencia entre actividades	94
Tabla 12. Matriz de Precedencia tipo 1	94
Tabla 13. Matriz de precedencia ejemplo 2.4	105
Tabla 14. Matriz de Precedencia y tiempos ejemplo 2.6	112
Tabla 15. Matriz de precedencia y tiempos ejemplo 2.7	118
Tabla 16. Resultados cálculos de PERT	119
Tabla 17. Probabilidad ejemplo 2.8	122
Tabla 18. Tiempos de las actividades, ejemplo 2.9	127
Tabla 19. Tiempos de las actividades ejemplo 2.10	133
Tabla 20. Tiempos y holguras de la red de actividades	138
Tabla 21. Resumen para la elaboración de redes	140
Tabla 22. Matriz de precedencias ejercicio. 1	142
Tabla 23. Matriz de precedencias 2 ejercicio. 1	144
Tabla 24. Matriz de precedencias ejercicio. 2	145
Tabla 25. Matriz de precedencias y duraciones ejercicio. 2	146
Tabla 26. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 2	149
Tabla 27. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 2	152
Tabla 28. Matriz de precedencias y tiempos ejercicio. 3	153
Tabla 29. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 3	154

Tabla 30. Matriz de precedencias y duraciones ejercicio. 4	155
Tabla 31. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 4	156
Tabla 32. Matriz de precedencias y duraciones ejercicio. 5	157
Tabla 33. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 5	158
Tabla 34. Matriz de precedencias y duraciones ejercicio. 6	159
Tabla 35. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 6	162
Tabla 36. Matriz de precedencias ejercicio 7	163
Tabla 37. Formato para el cálculo de cantidades de obra	179
Tabla 38. Formato para la presentación de APU	181
Tabla 39. Planeación del proceso de mampostería	182
Tabla 40. Planeación de materiales para mampostería	183
Tabla 41. Planeación de herramientas y equipos para mampostería	184
Tabla 42. Planeación de mano de obra para mampostería	186
Tabla 43. APU Replanteo del muro	188
Tabla 44. APU Preparación del mortero	189
Tabla 45. APU Armado del muro	190
Tabla 46. APU Limpieza del muro	192
Tabla 47. Costo total proceso de mampostería	192
Tabla 48. Tipos de mezcla	194
Tabla 49. Análisis de precios unitarios para preparar 1m <sup>3</sup> de concreto	196
Tabla 50. Recursos para la excavación	197
Tabla 51. Recursos para corte y figurado	198
Tabla 52. Recursos para armado del refuerzo	198
Tabla 53. Recursos para la fundición	199
Tabla 54. APU para la excavación.	201
Tabla 55. APU para corte y figurado.	201
Tabla 56. APU para armado del refuerzo.	202
Tabla 57. APU para la fundición.	202
Tabla 58. Valor total de la construcción de la viga de amarre.	203
Tabla 59. Recursos para el proceso de descapote	204
Tabla 60. APU Mano de obra para descapote	205
Tabla 61. APU Herramienta para descapote	205
Tabla 62. APU muro con ladrillo común	206
Tabla 63. APU ordenando descendientemente el Vr. Parcial	208

Tabla 64. Evaluación de la alternativa a mejorar	217
Tabla 65. APU muro con ladrillo H-10	220

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>pág.</b>
Fotografía 1. Pirámides de Keops	25
Fotografía 2. Consecución de material	37
Fotografía 3. Bodegaje del material o almacenamiento	37
Fotografía 4. Transporte horizontal y vertical del material	38
Fotografía 5. Preparación y transporte de la mezcla, pegue de ladrillos	38
Fotografía 6. Verificación y nivelación, limpieza del muro	39
Fotografía 7. Materiales	70
Fotografía 8. Mano de obra	70
Fotografía 9. Métodos aplicados para realizar el proceso	71
Fotografía 10. Máquinas	71
Fotografía 11. Medio ambiente	72

## RESUMEN

**TITULO:** ELABORACIÓN DE TEXTO GUÍA PARA LA ASIGNATURA DE CONSTRUCCIÓN\*

**CAPITULOS:** PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y COSTOS DE PROCESOS Y OPERACIONES

**AUTOR(ES):**

PICON DELGADO, Viviana Carolina

VELASCO GOMEZ, Alba Lorena\*\*

**PALABRAS CLAVES:**

Proyecto, procesos, tareas, actividades, planificación, programación, control, rendimientos, productividad, recursos, cantidades de obra, imprevistos, estimación de costos, presupuestos y costos directos.

**DESCRIPCIÓN:**

Un proyecto de construcción es un conjunto de procesos que a su vez están conformados por actividades que emplean recursos agregándoles valor para generar productos, a través del diseño de metodologías de operación y uso eficiente de recursos. Planificar los procesos es el objeto fundamental en la administración de proyectos u obras ya que se pueden tomar decisiones sobre la duración de cada proceso y la obra en general, incluyendo imprevistos, rendimientos y cantidades de obra para evaluar costos.

Realizar un debido control de tiempos en obra, requiere del uso y profundización en dos de los métodos más usados en la construcción: PERT y CPM, que representan los procesos con redes para identificar las actividades, sus tiempos y precedencias, abriendo paso al estudio directo de los costos parciales y totales en la construcción, mediante un plan sistemático y efectivo en cada una de las áreas que demanda una obra.

El alcance de este aporte es brindar la información necesaria que permita identificar estrategias para lograr cambios en la forma de administrar obras: incorporando visión de procesos, mano de obra y uso de tecnología que permitan un mejor desempeño para crear ventajas competitivas, teniendo en cuenta el rediseño de procesos para alcanzar mejoras en medidas críticas y contemporáneas de rendimiento, tales como costos, servicio y cumplimiento en la entrega del producto. Se trata de trabajar mejor, más rápido y económicamente; es decir mayor productividad a través de procesos basados en eficacia, confiabilidad, eficiencia y costo.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de ingenierías físico mecánicas, escuela de ingeniería Civil, Director:  
M. Sc MEJÍA AGUILAR,

## ABSTRAC

**TITLE:** Create a guide text for the construction of signature\*

**CHAPTERS:** Planning, programming and spendings process and operations

**AUTHOR (S):**

PICON DELGADO, Viviana Carolina

VELASCO GOMEZ, Alba Lorena\*\*

**KEY WORDS:** Project, process, duties, activities, planification, programation, control, productive, produce, resources, amounts of improvise, estimates of spendings, propose and direct spendings.

## DESCRIPTION

A construction project is a conjunction of process that at the time are conformed for activities that they use the resources adding value to generate products, thru the designs and operational metals and efficient use of resources. Planning the process is the fundamental objecting projects of administration or duties that we can take decisions about the lasting of each process and the completed jobs including improvise amounts so we can evaluate the cost.

We realize the control timing of jobs required the use and deep ness in both methods of uses in construction like PERT and CPM that represent the process with the net to identify activities, timing and procedures opening the way to study the partial of the direct cost thru the hold construction, thru effective and systematic plan in each of demand for the complete project.

The preachment towards this information is needed that permit identify strategies to archive changes of administration for projects joining visions for the process, workmanship and technology that will allow duties to create competitive advantages having in mind processes to reach better resource and critics contemporaneous and achievement, such us cost, service and the velocity is about working better, faster, cheaper is solving better products thru he process and proceeding based on efficiently trust ness and cost.

---

\* Project of degree.

\*\* Physics-Mechanics Engineering Faculty, Civil Engineering School, Director  
M. Sc. MEJÍA AGUILAR, Guillermo

## INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años Las empresas se han esforzado por formar y reformar organizaciones, hoy en día esto es de gran importancia, sobretodo si se trata de generar proyectos que garanticen un bajo costo y a la vez un buen producto. Una de las formas para lograr este propósito en la construcción es verla como un conjunto de procesos en mejora continua, considerando en el manejo de estos la clave para tener un desempeño satisfactorio. Este cambio se logra mediante la implantación de sistemas que permitan controlar procesos, garantizando su buen desarrollo con un alto nivel de competencia y calidad en el mercado.

Los conceptos de proyectos y procesos hacen notar lo importante que es tener en cuenta aquellos aspectos que intervienen en la ejecución de obras civiles y así obtener buenos resultados durante su ejecución. En este trabajo se hará énfasis en la dirección y gestión de procesos apoyados en la norma ISO 9000 y en el valor que tiene llegar a 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 a través de los diferentes métodos empleados para desagregar los procesos en actividades y que a la vez sirvan como herramientas de una buena planeación y programación de procesos.

Es importante tener una visión del futuro, creer en el cambio e implementar sistemas para lograrlo, eliminar aquellas barreras que impiden obtener el éxito, modelar nuevos procesos e implantar sistemas de medición que faciliten el adecuado control, con el fin de estar preparados para evitar o responder a imprevistos que aunque no se quieran se presentan en cualquier tipo de obra.

Este material sirve de apoyo y guía para los estudiantes de ingeniería civil y demás lectores interesados en el área de la construcción, concientizandose de la importancia que tiene realizar una adecuada planeación de obra, seguida de un buen control y manejo enfocado hacia la mejora continua y así evitar construcciones de mala calidad, poca vida útil, sobre-costos, extralimitaciones en el tiempo de entrega y perjuicios para la sociedad en general. Además generar expectativas y dar a conocer lo significativo que es entender las obra como procesos, para los que son muy

delicadas la asignación de tiempos y de recursos, ya que estas decisiones son de vital importancia para el proyecto y más en una economía como la nuestra en donde el sector monetario es el más crítico.

## 1. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de grado está fundamentado en la necesidad de cambiar el paradigma de creer que la construcción abarca simplemente el diseño y no se le da importancia a la administración y dirección de obras en general. Debido a esto la industria de la construcción ha sufrido muchos inconvenientes y críticas por su lentitud en la aplicación de los modernos métodos gerenciales basados en la planificación para ejecutar proyectos, siendo esto la causa principal de los retrasos en la entrega de los mismos, seguido de sobre-costos y pobres resultados en cuanto a calidad, es decir vida útil de las obras.

Teniendo en cuenta la complejidad de los proyectos u obras que actualmente se están ejecutando es necesario enfocarse hacia la gerencia de procesos, a través de sistemas de control y mejoramiento. La carencia de planeación, programación, control de recursos adecuados y baja calidad se hacen notorias también en los trabajadores, reduciendo la productividad en su trabajo. El crecimiento poblacional y tecnológico ha desatado un afán por acometer todas las obras al tiempo generando además de accidentes -por falta de planeación-, serias deficiencias tanto en el diseño como en la construcción de los proyectos. Se han visto obras, como es el caso de la vía Troncal de Las Américas y la Calle 13 en Bogotá entre otras; tienen un diseño y una construcción que no permite sostener el número de tráfico que hoy tienen, resultado de una mala planeación sin pensar en el futuro. No es posible que en Colombia se tengan que construir obras para, años más tarde, demolerlas y otra vez construir las.

El asunto real es que los resultados que desde hace mucho tiempo se han visto no han podido ser más nefastos: pérdidas de vidas, lo que nunca debe ocurrir por el desarrollo de una obra pública y pérdidas económicas por la mala planeación. Es necesario garantizar que se mejore la seguridad y la programación de los trabajos, para evitar que los daños se sigan produciendo por falta de control.

Estos temas de gran importancia y aplicación en el campo profesional es necesario tratarlos en la educación superior, por esta razón recopilamos información de varios autores expertos en el tema,

extrayendo de ellos lo mejor y plasmándolo en este libro, para hacer más amplio su aprendizaje ya que es un texto elaborado por estudiantes para estudiantes, bajo la dirección y guía de el docente e ingeniero encargado de la materia; lo que garantiza que la lectura y los temas explicados sean de mayor entendimiento e interés. Además es de total acceso a los estudiantes de la escuela de ingeniería civil, a través del cual podrán revisar ejemplos y ejercicios que les permitan despejar dudas en cuanto a las clases vistas en la materia de construcción I.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Generar un texto guía para la asignatura de construcción, como material de apoyo a la práctica docente y campo profesional, a través de una investigación descriptiva que abarque la administración de obras, enfocada hacia la planificación, programación y control de procesos. El texto debe brindar un marco conceptual y práctico que permita identificar metodologías, herramientas teóricas y técnicas existentes, para analizar y diseñar procesos y operaciones de construcción, que busquen mejorar la productividad mediante la planeación, manejo de tiempos y costos en obra.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Recopilar y estudiar la información actualizada sobre procesos, programación de procesos y operaciones, para realizar obras mejorando costos a través de insumos, con productividad de recursos primarios de la producción: materiales, hombres y máquinas.
- ✓ Identificar las metodologías existentes que conducen a un mejor aprovechamiento de recursos en la administración de proyectos, aplicándolas en la rama de construcción para evitar errores y minimizar desperdicios en obra.
- ✓ Expresar la importancia que tiene la medición de procesos y actividades en una obra, ya que centran su atención en factores que contribuyen a lograr la misión, mostrar efectividad y fijar metas que ayudan a identificar oportunidades de mejoramiento.
- ✓ Mostrar y explicar las herramientas necesarias (diagramas de flujos, cartas de procesos, modelos de operaciones, muestreos de trabajo.....) para entender el funcionamiento interno y las relaciones entre procesos que permitan ver las diferencias entre la forma como se debe conducir una actividad y la manera como realmente se esta dirigiendo,

tratando de eliminar los procedimientos confusos que interrumpen la calidad y la productividad.

### 3. PLANEACIÓN DE PROCESOS Y OPERACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN

Desde que se construyeron las pirámides de Egipto, siempre hay una lección por aprender: construir cualquier cosa de valor y mérito requiere de talento, una cuidadosa planeación y una ejecución maestra. La construcción de éstas fue un proceso prolongado, del que resultó entre otras; la pirámide de Keops con más de 200 pies de altura y que llevó aproximadamente 23 años en su construcción convirtiéndose en uno de los tesoros pertenecientes a las maravillas indisputables del mundo.

*Fotografía 1. Pirámides de Keops*



Fuente: <http://enigmas0.iespana.es/enigmas0/keops.htm><sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> TRILLOS, Ofelia. Las pirámides de keops. <http://enigmas0.iespana.es/enigmas0/keops.htm>.

Los egipcios contaban con dirigentes capaces de planear, organizar y controlar a miles de trabajadores en la ejecución de sus monumentos; más de cien mil hombres trabajaron durante 20 años. Las pirámides de Egipto son evidencia actual de que se intentaron proyectos de enorme alcance, que emplearon decenas de miles de personas, con bastante anticipación a los tiempos modernos. Las personas llevan muchos siglos formando y reformando organizaciones, al repasar la historia de la humanidad aparece la huella de pueblos que trabajaron unidos en organizaciones formales, por ejemplo los ejércitos griegos y romanos, la Iglesia católica Romana, la compañía de las Indias Orientales, la compañía de la bahía de **Hudson**; Las personas también han escrito sobre cómo lograr que las organizaciones sean eficientes y eficaces, desde mucho antes de que términos como administración fueran de uso común. Hoy en día se debe seguir planeando, controlando y mejorando cada una de las obras, con la variante que la mano de obra ha sido desplazada por la maquinaria, que en su efecto reduce el tiempo de ejecución de obras, aumentando su productividad y calidad.

### **3.1. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO**

El concepto de administración de procesos y operaciones se desarrolló a principios del siglo XX. Las empresas se orientaban a generar sistemas que facilitaran el incremento del número de productos y de bienes, la práctica de la calidad la hacían mediante la supervisión del producto final. Taylor (1856 - 1915), afirma que “el principal objetivo de la administración debe ser asegurar el máximo de prosperidad, tanto para el empleador como para el empleado”<sup>2</sup>. Empezó a introducir el concepto de planeamiento, asignando responsabilidades a supervisores de producción que permitieran el mejoramiento de la productividad, pero se encontraban problemas como caída de la calidad del producto lo cual para solucionarlo se realizaban auditorias e inspecciones dentro de los departamentos de producción, para detectar los productos defectuosos y evitar que llegaran a las manos de los clientes, pero no se hacía nada para corregir el defecto. Para tratar de corregir esto aparece Walter Shewhart, (1891 – 1967), siendo pionero en control de procesos, enseñando a los directivos que los procesos arrojaban datos medibles y controlables que permitieran verificar si las actividades realizadas estaban bajo control, cumpliendo con la planeación inicial para evitar que surgiera un imprevisto o error. Es así como se puede reconocer que la calidad no se debe verificar solamente al final, sino que se construye en el proceso mediante actividades que crean un

---

<sup>2</sup> MARIÑO NAVARRETE, Hernando. Gerencia de procesos. Alfa omega S.A. Bogotá, Colombia, 2001. p. 2.

producto. Este personaje es también el autor del ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar), hoy después de su evolución conocida como PEEA (planear, ejecutar, estudiar y actuar) y llevó a analizar los datos arrojados por los procesos, para minimizar la variación, estabilizarlos y mejorarlos. Joseph Juran, (1904), Edwards Deming (1900 – 1993) y Peter Drucker, (1909), a mediados del siglo XX enseñaron el paradigma de calidad total, en el que la gerencia de procesos es uno de sus fundamentos. Otro aporte fue el de Kauro Ishikawa, (1915 – 1989), experto en el control de calidad, que orientó hacia los procesos en la organización, siendo el padre de los círculos de calidad que permitía que las personas aportaran sus conocimientos, experiencias y habilidades, trabajando en equipo y usando herramientas de mejoramiento; pero antes de eso diseñó el diagrama causa-efecto. Luego Masaka Imai conocido como Kaizen, en los años ochenta sintetiza el concepto de mejoramiento continuo de procesos, que consiste en mejorar a pequeña escala pero incesantemente. Después se da el mejoramiento a gran escala por Joseph Juran, que se conoció como Kayro. Estas ideas aportadas llevan a afirmar que el objeto son los procesos no las organizaciones. Se concluye con que la orientación hacia los procesos forma parte de la cultura que tienen las organizaciones exitosas, si hay una buena gerencia de procesos los resultados se deben dar como se esperan. Las empresas exitosas invierten mucho más dinero en la investigación a nuevos procesos que en los productos.

### **3.2. DEFINICIONES DE PLANEACIÓN**

La palabra planeación se deriva del verbo planear, que significa trazar o formar el plan de una obra metódicamente organizado para obtener un objetivo determinado. Ordenar las cosas según un plan, es algo que frecuentemente se hace incluso en la vida cotidiana, pensar antes de ir a la práctica. Planear, consiste en tener una definición clara, desde donde se inicia hasta donde se quiere llegar y las actividades que se deben realizar para lograrlo. “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” <sup>3</sup>.

La planeación o planificación se da a través de un conjunto de actividades conexas y lógicas que deben realizarse como etapa de cualquier proceso, para cumplir las metas establecidas y satisfacer las demandas aprovechando correctamente los recursos, entendiéndose también como

---

<sup>3</sup> SERPELL, Alfredo Serpell B. Administración de operaciones de construcción. Segunda edición. México D.F. Alfaomega grupo editores S.A. p.81.

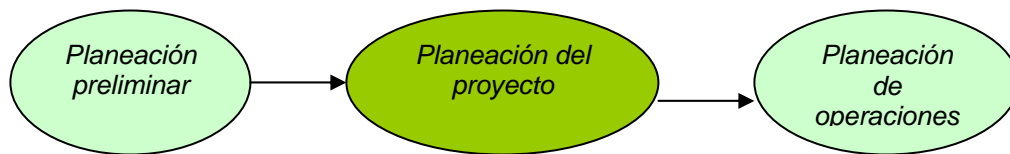
la administración o manejo de los recursos para producir bienes y servicios que ofrece una organización o empresa. A través de esta se puede tener control de un proceso desde su inicio hasta su final, tener conocimiento de qué y cuánto se necesita para lograr un producto. Para ello se debe iniciar por identificar los límites del proceso, su alcance y las actividades que lo componen tratando de darles un orden de ejecución, se debe mirar la capacidad del proceso y analizar dentro de las actividades necesarias cuales de ellas son conveniente realizar dentro del proceso y cuales delegarlas a otros sistemas, esto se conoce como integración vertical, por ejemplo en la construcción de un muro se entraría a analizar por razones de costo, personal y tiempo si es mortero es mejor prepararlo en obra o comprarlo ya echo.

### **3.2.1. Importancia de la planeación.**

- Permite definir la forma como se lleva a cabo una operación, los sistemas y procedimientos que ésta implica.
- Sirve como base de referencia para el seguimiento y control.
- Permite una utilización eficiente de los recursos y fortalece la posición del administrador, se pueden transferir responsabilidades directivas al personal de obra. Un buen sistema de dirección y gestión influye de manera fundamental en los resultados finales de cualquier empresa u organización, se podría decir que el factor básico está en invertir en dirección, gestión y planeación de operaciones, pues permite obtener una mejora notoria en los sistemas productivos y operativos de una organización. Es necesario planificar cualquier proyecto u obra que se vaya a ejecutar, pues permite tener una clara visión de lo que se quiere llevar a cabo, en tres etapas: inicial, durante y final. Las fases 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 a hacer y la disposición para hacerlo, definiendo las alternativas, incluyendo implicaciones cuantitativas y cualitativas, seleccionando la mejor e implementando los planes para llevarla a cabo.
- Mediante una buena planeación se logra una alta percepción de los acontecimientos futuros, previendo obstáculos para reaccionar a tiempo. Serpell. *Ibid.*, p.82. divide la planeación en tres partes que son: planeación preliminar, la cual enmarca una aproximación de costos para propuestas o estudios de factibilidad sirviendo de base para la segunda parte, planeación de

proyecto, que tiene como objetivo obtener un plan definitivo para la ejecución del proyecto, la última parte es la planeación de operaciones, que es un método detallado por el cual se rige la construcción, buscando tener control de cada una de las actividades que se realizan en una obra haciendo un buen manejo de recursos, entendiendo como operación aquella actividad de trabajo que resulta en la colocación o instalación de un elemento definible de construcción, un proceso como una colección de tareas y una tarea como el elemento de trabajo más básico. Hablamos de una clasificación del proceso teniendo en cuenta la acción en terreno y en los procesos tecnológicos.

*Figura 1. Etapas de la planeación*



*Fuente: Los autores*

Otras de las importancias de la planeación para cualquier obra o proyecto que se quiera llevar a cabo son:

- Facilitar o posibilitar la minimización de costos y maximización de utilidades, con mejor utilización de los recursos, logrando solidificación en la parte financiera y mantenerse en el mercado.
- Minimizar costos de inventario, ya que mediante una buena planeación es posible tener clara la medida en la que este debe utilizarse; éste hecho reduce costos generales de la obra pues de cierta manera permite minimizar desperdicios de materiales que permanecen almacenados en vez de utilizarse.
- Minimizar cambios en los niveles de producción, pues se puede lograr un mejor control sobre la productividad obtenida en cada obra.
- Minimizar cambios en el personal de trabajo, evitando improductividad, incremento en los gastos de entrenamiento, selección y menor eficiencia en la producción.

- Maximizar el servicio al cliente, viéndose esto reflejado en una mayor satisfacción de los consumidores o receptores del producto.
- Mejor aprovechamiento del espacio en la obra.

**3.2.2. Objetivos de la planeación.** El objetivo principal de una planeación adecuada es llegar a 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. Una buena planeación y administración tiene como objetivos:

- Recopilar y analizar información, para identificar y solucionar problemas, permitiendo tomar decisiones oportunas, calcular riesgos y anticiparse a las consecuencias.
- Definir detalladamente los procesos y actividades que contiene una obra para poder ejecutarla y controlarla, estableciendo prioridades, responsabilidades y asignando los recursos necesarios, garantizando así el logro de los objetivos con eficacia.
- Establecer metas tácticas y operativas que permitan implementar estrategias para lograr las metas u objetivos.
- Garantizar la calidad del trabajo.

Estrategias para lograr los objetivos. Una planeación se debe hacer teniendo en cuenta los objetivos primordiales para el buen funcionamiento del proceso y de la empresa; En ello se involucran algunas estrategias como: la flexibilidad, el tiempo, la calidad y el costo:

- La flexibilidad se refiere a la posibilidad de cambiar la forma de realizar el proceso en un momento determinado, incluyendo la variabilidad en la producción o rendimiento.
- El manejo del tiempo es importantísimo, por la responsabilidad que se tiene con el cliente en la entrega del producto y además con el control del rendimiento que debe tener los empleados según un estudio o estadísticas de tiempos habitualmente usados para determinada actividad.

- Para el control de calidad, se tiene: calidad del proceso, calidad del producto, calidad del personal y todo aquello que involucre directamente la satisfacción de la demanda dependiente que se maneja en construcción.
- Afortunada o desafortunadamente lo que prima a la hora de montar un proyecto de construcción es el dinero disponible, 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 hacer todo lo posible por generar bajos costos en los insumos garantizando siempre un buen producto.

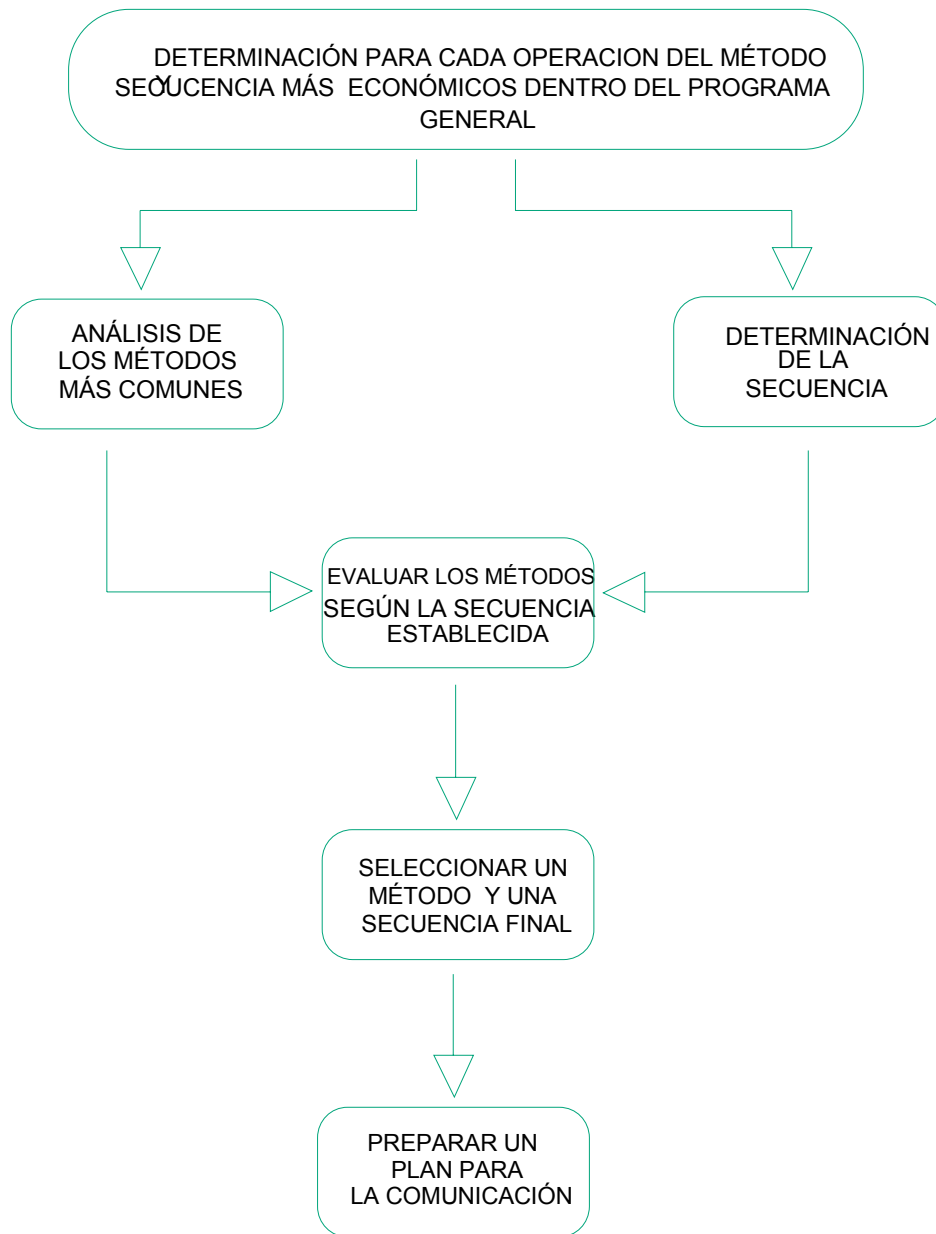
**3.2.3. Elementos que debe contener una planeacion.** Es importante dentro de la planeación dar espacio al diseño de la distribución en planta de las instalaciones para la producción, dando comodidad a los empleados y evitar el desperdicio de tiempo en transporte. Según el tipo de proyecto que se desarrolle se puede hablar de un tipo de distribución en planta, por ejemplo en la construcción en general podemos hablar de una distribución de planta fija ya que el producto, es decir; la obra no se mueve, los materiales y obreros se mueven en función de ella, pero internamente en procesos más pequeños se pueden identificar distribuciones por proceso en las que los materiales se van moviendo. Manejar la distribución de planta por procesos, brinda flexibilidad a la obra al permitir pequeños cambios en el método de trabajo o del producto que pueden ser controlados fácilmente.

- ✓ Descripción del proceso a montar.
- ✓ Tener claro el alcance que se le quiere dar, esto se logra con la definición de sus objetivos.
- ✓ Montar un plan de trabajo, teniendo presente cuáles son las actividades que intervienen en la elaboración del producto. Se debe hacer una asignación de trabajo y materiales con una secuencia dada.
- ✓ Dentro de la planeación se debe dar cabida al análisis de los métodos que serán usados para hacer un seguimiento al proceso, se debe dejar claro cómo y cuándo se harán, por ejemplo encuestas, muestreos y también en qué momento se tomarán las correcciones necesarias, teniendo siempre presente que estamos hablando de realizar un proceso basado en la mejora continua. Es necesario realizar un seguimiento y toma de datos, hacer control de la calidad ofrecida en el proceso teniendo en cuenta que ésta depende no sólo del tipo de materiales que se usan sino también del compromiso del trabajador, la capacitación e interés. Ésta es una

actitud que se debe controlar permanentemente logrando en el empleado un sentido de pertenencia con la empresa, permitiéndole dar su opinión y aporte que puedan mejorar el proceso.

- ✓ Planeación de redes de actividades.
- ✓ Selección y mantenimiento de equipos.
- ✓ Métodos de producción, forma en que se va a dividir el trabajo a realizar y luego pensar en qué tipo de mecanismos de coordinación se emplearán para orientar el comportamiento de las diversas partes constitutivas de la nueva organización hacia un fin común.
- ✓ Tener en cuenta la planificación a corto plazo, ya que más que un resultado es un método más dedicado, porque para un proceso se realiza seguimiento, control y mejora continua, esto con el propósito de lograr una alta productividad y eficiencia evitando incurrir en un error por largo tiempo. Para esto se realiza una planeación en un periodo máximo de quince días asignando trabajos, recursos, responsabilidades y objetivos.
- ✓ La calidad influyendo externamente en la satisfacción al cliente e internamente en la reducción de costos y aumento de formalidad.
- ✓ Métodos de trabajo, (Decidir las mejores combinaciones de procesos en términos de costos, calidad, eficiencia, mano de obra), esto se ve con más detalle en el siguiente diagrama, que analiza métodos ya disponibles comparándolos con uno propuesto de diferente secuencia y luego de un análisis escoger el mejor.

Figura. 2. Planificación de operaciones. (Serpell)



Fuente: Administración de operaciones de construcción. Ibid., p.85.

En la práctica existen se usan una serie de técnicas cualitativas para visualizar la planeación de un proyecto u obra y permitir que de una idealización resulte algo tangible:

- ✓ La Encuesta: Que se realiza con el fin de recopilar información requerida, una serie de personas se encargan de visitar obras similares y realizar una serie de preguntas sobre los procesos constructivos, maquinaria, rendimientos, tiempos, etc.
- ✓ Matriz de Selección de Problemas: El objetivo de la utilización de la matriz DOFA es la generación de estrategias, alternativas factibles y seleccionar cuales son las mejores; Por tanto no todas las estrategias desarrolladas en la matriz serán seleccionadas para su ejecución.

Tabla 1. Matriz DOFA

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






Fuente: [www.sercol.org.co/graficas/dofa.gif](http://www.sercol.org.co/graficas/dofa.gif)<sup>4</sup>.

**3.2.4. Herramientas y técnicas de apoyo para realizar una buena planeación.** Para obtener como resultado una debida planeación y como guía fácil para su cumplimiento se pueden obtener, 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.

- **Cartas de proceso.** Son las más completas, tiene símbolos predeterminados que representan cada parte del proceso y con ella es posible guiarse más fácilmente.

<sup>4</sup> MUÑOZ, Jairo. Metodologías para el diagnostico y el diseño de metas. Publicaciones Pizarrón N° 24. <http://www.sercol.org.co/pizarra24.htm>

Tabla 2. Cartas de proceso

ACTIVIDAD	SIMBOLO	INTERPRETACIÓN
OPERACIÓN		<p>Un paso definido en un proceso, generalmente se producen cambios como por ejemplo, hacer una perforación, vibrar un hormigón...</p>
TRANSPORTE		<p>Cualquier movimiento de obreros, materiales o equipo. Por ejemplo acarreo de ladrillos, transporte de hormigón en camiones.</p>
ALMACENAMIENTO		<p>Almacenamiento planificado y autorizado que es controlado.</p>
DEMORA		<p>Una demora no prevista, generalmente temporal, producto de una secuencia poco apropiada, o del que no se logró una coordinación perfecta entre los pasos de la operación, ejemplo: materiales en espera de procesamiento, obreros en espera de materiales.</p>
INSPECCIÓN		<p>Control de calidad o verificación de cantidades, medidas, pesos.</p>

Fuente: Administración de operaciones de construcción. Serpell. Op. Cit., p.90

*Ejemplo 1.1.*

En un proceso de mampostería común, se realiza la carta de procesos:

Proceso: Mampostería

Actividades:

Consecución de materiales

Bodegaje

Transporte interno de (cemento, arena, agua)

Elaboración de la mezcla (mortero de pega).

Calidad de la mezcla

Transporte de la mezcla








Transporte de ladrillos

Pegue de ladrillo

Verificación de nivel y plomada

Limpieza

*Tabla 3. Carta de proceso para el ejemplo 1.1. Proceso de mampostería común.*

CONSTRUCCIÓN DE MURO EN MAMPOSTERIA	
	Consecución de materiales.
	Bodegaje
	Transporte interno
	Elaboracion de la mezcla
	Calidad de la mezcla
	Transporte de la mezcla
	Transporte de ladrillos
	Pegue de ladrillo
	Verificación de nivel y plomada
	Limpieza del muro

*Fuente: Los autores*

Algunas imágenes que permiten observar cada una de las actividades mencionadas en una obra:

*Fotografía 2. Consecución de material*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

*Fotografía 3. Bodegaje del material o almacenamiento*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

*Fotografía 4. Transporte horizontal y vertical del material*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

*Fotografía 5. Preparación y transporte de la mezcla, pegue de ladrillos*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

*Fotografía 6. Verificación y nivelación, limpieza del muro*



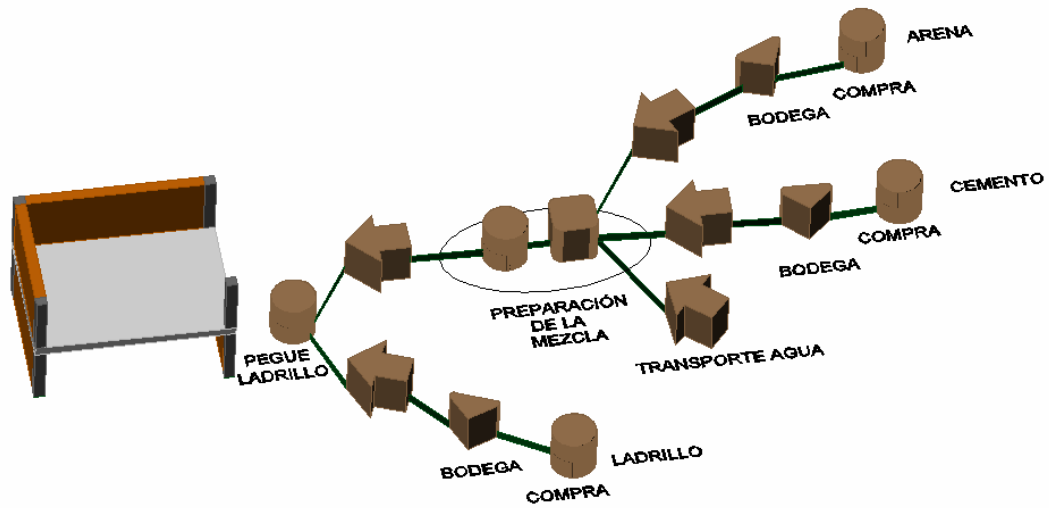
*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

- **Diagramas de Flujo.** Son la forma gráfica de representar el proceso, logrando así una visualización y entendimiento del mismo, Se parecen a las cartas de proceso, pero se les hace además una representación en planta de donde está ubicado el proyecto, siendo esto de mejor ayuda visual. Son una herramienta para entender el funcionamiento interno y las relaciones entre los procesos de la empresa, también permite identificar las diferencias entre cómo debe conducirse una actividad y la manera como realmente se conduce, buscando mejorar cada vez más.

*Ejemplo 1.2.*

Para el proceso de mampostería común, se realiza el diagrama de flujo.

Figura 3. Diagrama de flujo para el ejemplo 1.2. Proceso de mampostería común.



Fuente: Los autores

- **Diagrama de afinidad.** Es una forma de organizar la información reunida en sesiones de lluvias de ideas (La lluvia de ideas (**Brainstorming**)): Se obtiene dándole participación a todo el personal relacionado con el proyecto, para que aporten sus ideas: Las personas encargadas del diseño y construcción de la obra, darán sus opiniones sobre cada una de las actividades que deben llevarse a cabo para su realización y posteriormente basados en hechos históricos ( obras similares realizadas ) decidirán cuáles de ellas finalmente se llevarán a cabo, conformando así cada uno de los procesos contenidos en el proyecto.

Ejemplo 1.3.

Para el proceso de mampostería común, se realiza el diagrama de afinidad.

Figura 4. Diagrama de afinidad para el ejemplo 1.3. Proceso de mampostería común

PROCESO: MAMPOSTERIA



Fuente: Los autores

- **Diagrama de árbol.** Es una representación gráfica que consta de varias tareas y cada tarea de un conjunto de actividades, para realizar un proceso determinado.

*Ejemplo 1.4.*

Para el proceso de mampostería común, se realiza el diagrama de árbol.

Figura 5. Diagrama de árbol para el ejemplo 1.3. Proceso de mampostería común.



Fuente: Los autores

En la etapa de planificación es posible responder y analizar preguntas como:

¿Qué se va a lograr?

¿Es necesario hacerlo?

¿Dónde se va hacer?

¿Por qué ahí?

¿Quién lo va hacer?

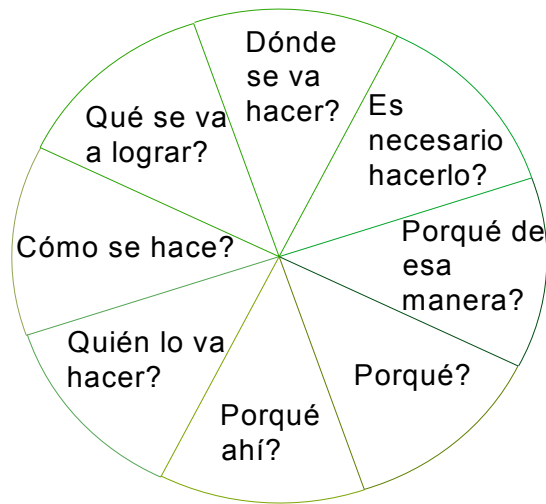
¿Por qué?

¿Cómo se hace?

¿Por qué de esa manera?

Respondiendo a estos interrogantes permitirá enfocarse a la manera de realizar las cosas y encontrar la forma más viable para hacerlas.

Figura 6. Interrogantes que sirven de guía para una buena planeación.



Fuente: Los autores

Existen siete técnicas básicas de planeación que han sido adoptadas en las actividades de mejora de la calidad y utilizadas como soporte para el análisis y solución de problemas operativos en los distintos contextos de una organización. Es conveniente utilizar medidas de control o registros que podrían llamarse herramientas para asegurar la calidad de un producto. Se nombrarán todas, pero se hará una explicación más precisa a aquellas que tengan mayor aplicación en el campo de la construcción que es de nuestro interés. Esta son las siguientes:

Hoja de control (Hoja de recogida de datos)

Histograma

Diagrama de pareto

Diagrama de causa efecto (espina de pescado)

Estratificación (Análisis por Estratificación)

Diagrama de scadter (Diagrama de Dispersión)

Gráfica de control

Las siete herramientas ofrecen grandes beneficios como:

Detectar problemas.

Delimitar el área problemática.

Estimar factores que probablemente provoquen el problema.

Determinar si el efecto tomado como problema es verdadero.

Prevenir errores debido a omisión, rapidez o descuido.

Confirmar los efectos de mejora.

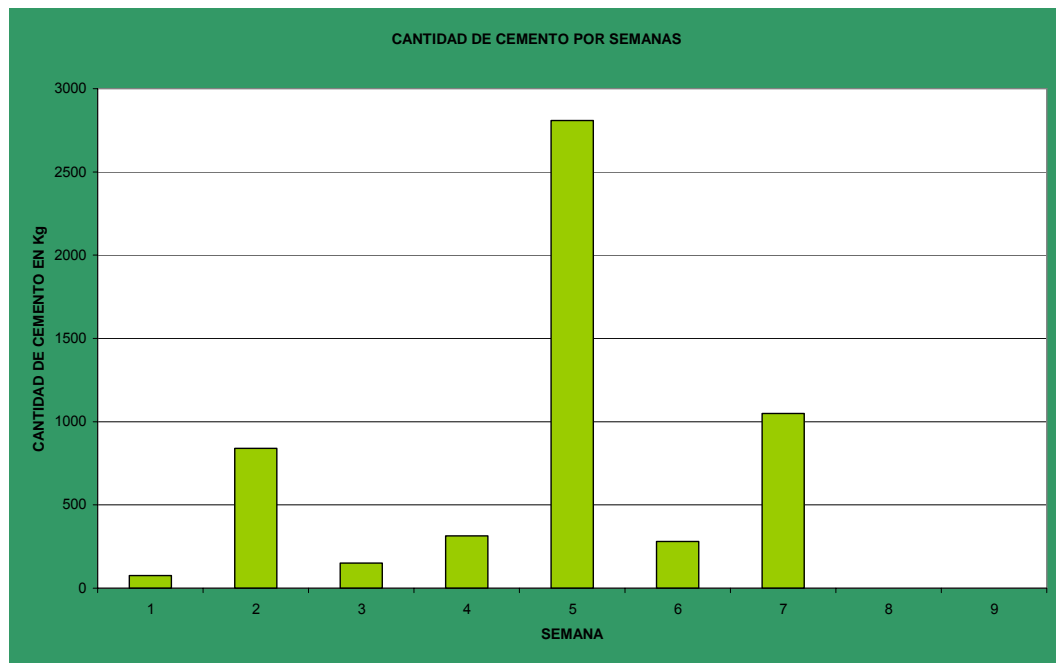
Detectar desfases.

- **Hoja de control.** La Hoja de Control, también llamada registro sirve para reunir información y clasificarla según determinadas categorías. Una vez identificado lo que se quiere estudiar e identificada la categoría que lo caracteriza, se registran en una hoja, indicando la frecuencia de observación., lo esencial de los datos es que reflejen la verdad. La función de esta es facilitar la recopilación de datos y realizarla de forma que puedan ser usados fácilmente y analizarlos automáticamente permitiendo ver en los artículos variaciones de (peso, volumen, longitud, talla, clase, calidad, etc...), clasificar lo que se encuentre defectuoso, localizar defectos y las causas que los produjeron mediante verificación chequeos y tareas de mantenimiento.
- **Histogramas.** Es la presentación de una serie de medidas clasificadas y ordenadas, las medidas se deben colocar de manera que formen filas y columnas. Se usa para obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad de un sistema, mostrar el resultado de un cambio en el sistema, Identificar anomalías examinando la forma y comparar la variabilidad con los límites de especificación.

*Ejemplo 1.5.*

El análisis de la construcción de una bodega muestra el histograma del consumo de cemento por semana, pudiendo determinar en qué semana se utiliza la mayor cantidad de este material.

Figura 7. Ejemplo de un histograma



Fuente: Los autores: Trabajo de la materia de construcción, primer semestre de 2006.

- **Diagrama de Pareto.** Es una herramienta utilizada para darle prioridad a los problemas o a las causas que los generan. En el caso de la construcción, se usa para seleccionar entre varias opciones de proyectos, en cuanto a costos y procesos constructivos obteniendo los mejores resultados con buena calidad, rendimiento y economía. También es conocido como la regla 80/20, según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que 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. Decidir 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 de Pareto con la lista de ítems, los totales individuales, los totales acumulados, la composición porcentual y los porcentajes acumulados.
- e. Clasificar los ítems por orden de cantidad llenando la tabla respectiva.

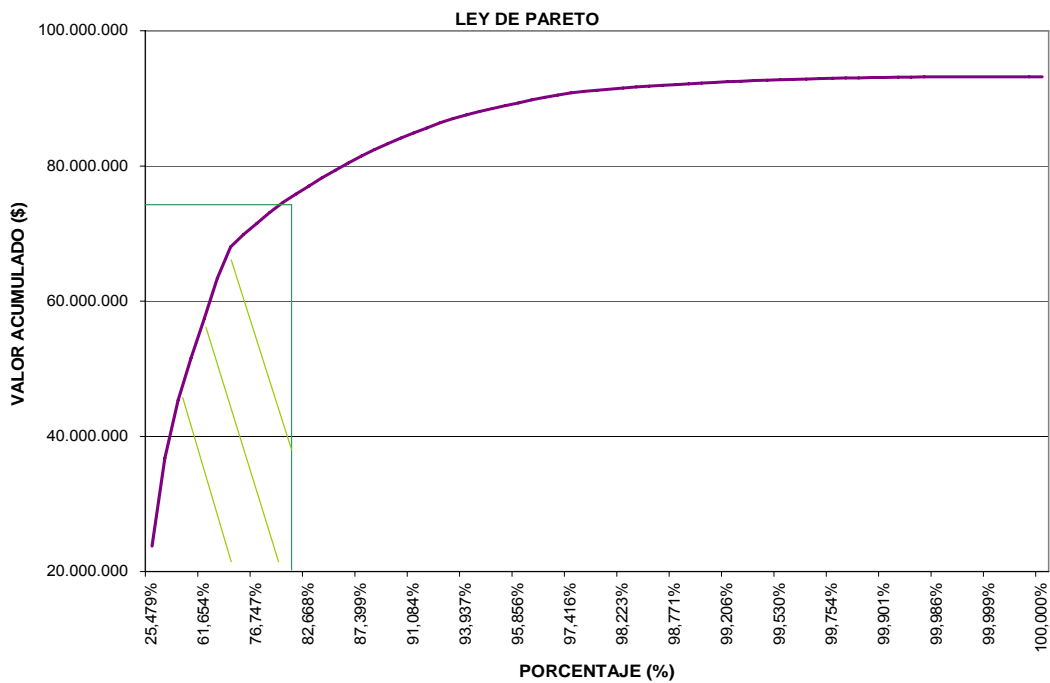
- f. construir un gráfico de barras con base a las cantidades y porcentajes de cada ítem.
- g. Dibujar la curva acumulada y finalmente unir los puntos con una línea continua.
- h. Escribir cualquier información necesaria sobre el diagrama.

Ejemplo 1.6.

El análisis de la construcción de una bodega muestra el gráfico, para análisis de ley de Pareto. Cada valor graficado corresponde al acumulado de cada proceso. Los valores achurados bajo la curva y el 80% son los susceptibles a modificarse para mejorar el presupuesto fina.

En el capítulo de costos se hará un ejemplo con una mejor explicación conteniendo todos los datos y tablas necesarias para realizar el diagrama.

Figura 8. Gráfico de ley de Pareto correspondiente al ejemplo 1.6.



Fuente: Los autores: Trabajo de la materia de construcción, primer semestre de 2006.

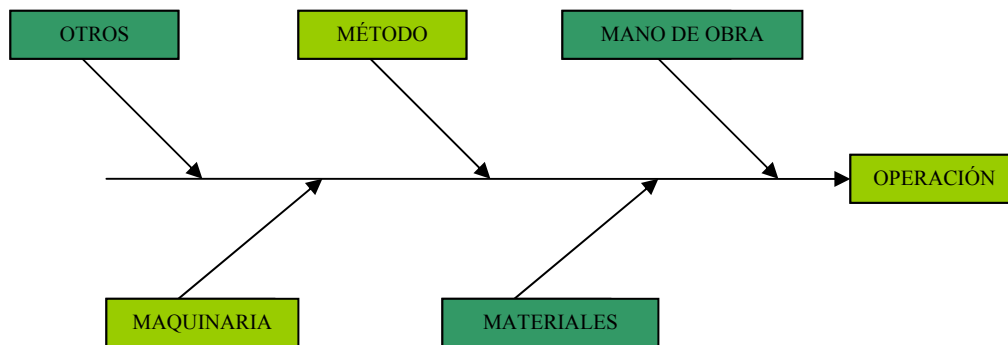
- **Diagrama de causa efecto o de espinas de pescado.** Sirve para resolver problemas de calidad.

¿Como debe ser construido un diagrama de causa efecto?

Para hacer efectivo cualquier proceso se requiere:

- ✓ Maquinaria
- ✓ Hombre ( mano de obra)
- ✓ Método
- ✓ Material

Figura 9. Diagrama de espina de pescado

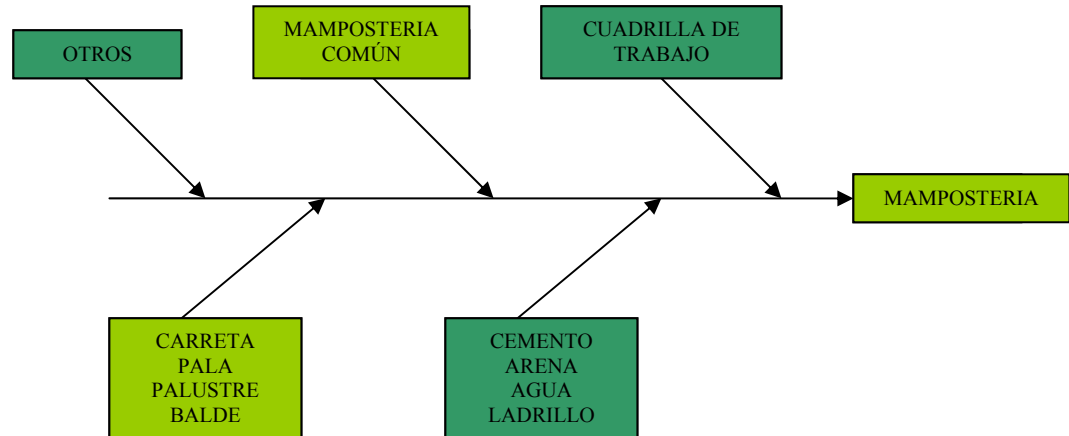


*Administración de operaciones de construcción, Serpell. Op. Cit., p.85.*

*Ejemplo 1.7.*

Realizar el diagrama espinas de pescado para el proceso de construcción de un muro en mampostería común:

Figura 10. Diagrama de espina de pescado para el ejemplo 1.7.



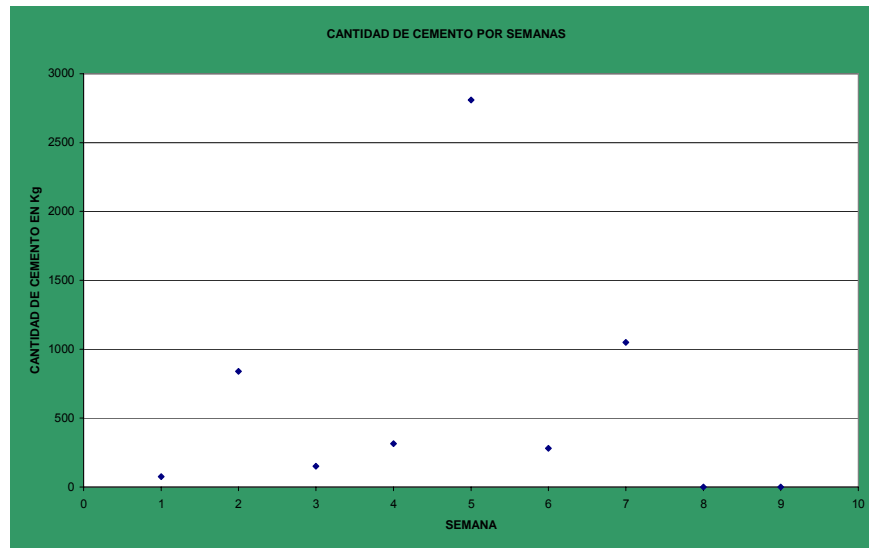
Fuente: Los autores

- **La estratificación.** Consiste en clasificar la información recopilada sobre una característica de calidad. Toda la información debe ser estratificada de acuerdo a operadores individuales en máquinas específicas y así sucesivamente, con el objeto de asegurarse de los factores asumidos; Por ejemplo se puede observar que después de algún tiempo las piedras, arena, lodo y agua puede separarse, en otras palabras, lo que sucede es una estratificación de los materiales, este principio se utiliza en industria manufacturera. Los criterios efectivos para la estratificación son:
  - ✓ Tipo de defecto
  - ✓ Causa y efecto
  - ✓ Localización del efecto
  - ✓ Material, producto, fecha de producción, grupo de trabajo, operador individual, proveedor, lote, etc.
- **Diagrama de dispersión.** Es el estudio de variables tales 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. Se utilizan para estudiar la variación de un proceso y determinar a que obedece esta variación.

*Ejemplo 1.8.*

Para el mismo ejemplo 1.5: Histograma, en el análisis de la construcción de una bodega, se muestra el diagrama de dispersión del consumo de cemento por semana, pudiendo determinar cómo varía el consumo de cemento por semana.

*Figura 11. Ejemplo de un diagrama de dispersión.*



*Fuente: Los autores: Trabajo de la materia de construcción, primer semestre de 2006.*

- **Gráfico de control.** Es una gráfica lineal en la que se determina estadísticamente un límite superior (límite de control superior) y un límite inferior (límite inferior de control) a ambos lados de la media o línea central, la línea central refleja el producto del proceso. Los límites de control proveen señales estadísticas para que la administración actúe, indicando la separación entre la variación común y la variación especial; Estos gráficos son muy útiles para estudiar las propiedades de los productos, los factores variables del proceso, los costos, los errores y otros datos administrativos.

Un gráfico de Control muestra:

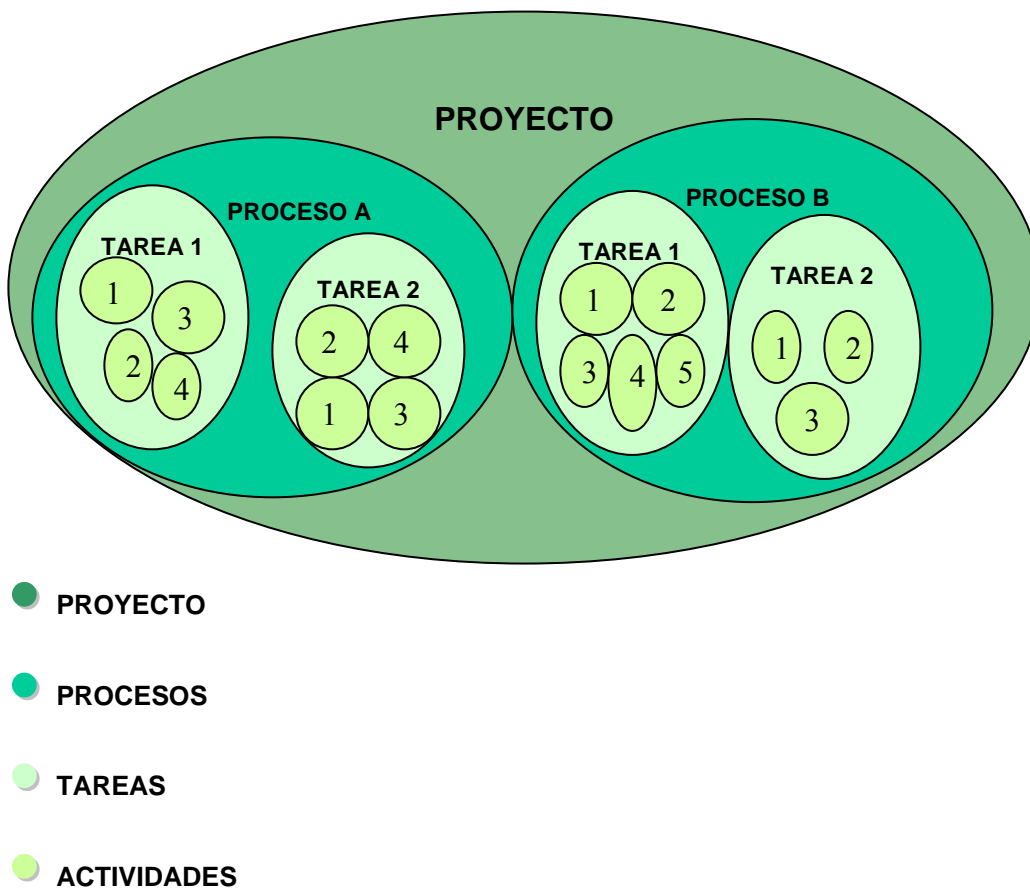
- ✓ Si un proceso está bajo control o no
- ✓ Indica resultados que requieren una explicación

- ✓ Define los límites de capacidad del sistema, los cuales previa comparación con los de especificación pueden determinar los próximos pasos en un proceso de mejora.

### 3.3. PROCESOS Y OPERACIONES

**3.3.1. Ubicación de procesos dentro de un proyecto.** Teniendo en cuenta que cada obra de construcción es un proyecto que está conformado por un conjunto de procesos y es importante conocer como se administran, desde su concepción hasta su ejecución, se hará una breve introducción a cerca de proyectos.

Figura 12. Representación de Proyectos, tareas y actividades.



Fuente: Los autores

● **Proyectos.** En un proyecto se deben analizar varios factores como son:

- ✓ Factibilidad de elaboración
- ✓ Facilidad para conseguir los materiales
- ✓ Aceptación
- ✓ Vulnerabilidad

En la conformación de un proyecto se deben implantar estrategias que permitan tomar decisiones ante diversas dificultades o situaciones que se puedan presentar en las partes del proyecto, en su planeación, ejecución o control. Estas decisiones deben abarcar campos como, metas, administración de recursos (tiempo, mano de obra, materiales, herramientas...), etc.

Según Slack:<sup>5</sup> los proyectos se caracterizan por una serie de elementos:

● **Elementos que caracterizan un proyecto:**

- ✓ Tener un objetivo o producto final
- ✓ Ser complejo
- ✓ Único
- ✓ Manejar una alta incertidumbre
- ✓ Ser de naturaleza temporal
- ✓ Ciclo de vida corto (desarrollo)

● **Factores para la administración de proyectos:**

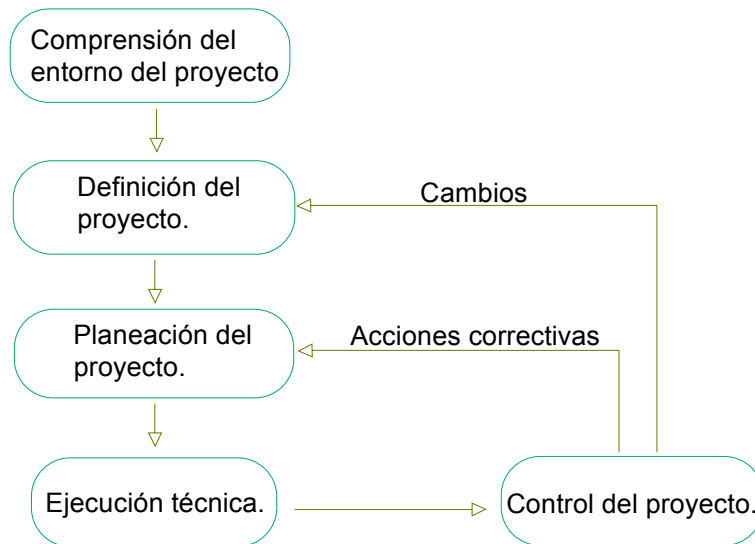
- ✓ Metas definidas con claridad
- ✓ Administrador y personal del proyecto competente
- ✓ Asignación suficiente de recursos
- ✓ Buen manejo de la comunicación interna y externa
- ✓ Mecanismos de control
- ✓ Mecanismos de solución de problemas y mejora

● **Etapas de la administración proyectos: (SLACK)**

---

<sup>5</sup> NIGEL, Slack y otros. Administración de operaciones. Primera edición en español. Compañía editorial continental, S.A de C.V. 1999. p. 590.

Figura 13. Etapas de la construcción de proyectos (Slack)



Fuente: Administración de operaciones, Slack Nigel. *ibid.*, p. 595.

- ✓ Comprensión del entorno del proyecto: evaluación de todos los aspectos y factores con los que va a interactuar el proyecto en general.
- ✓ Definición del proyecto: Comprende selección y asignación de objetivos claros y medibles, alcance que permita identificar el contenido del proyecto, sus resultados y estrategias que lleven al cumplimiento de los objetivos.
- ✓ Planeación del proyecto: Abarca todo lo relacionado con la estimación de recursos como actividades, tiempo, mano de obra y costos
- ✓ Ejecución técnica: Desarrollo de la planeación
- ✓ Control del proyecto: Es el enlace entre la planeación y la ejecución. Está encargado de la supervisión, la toma de decisiones y cambios en el proyecto.

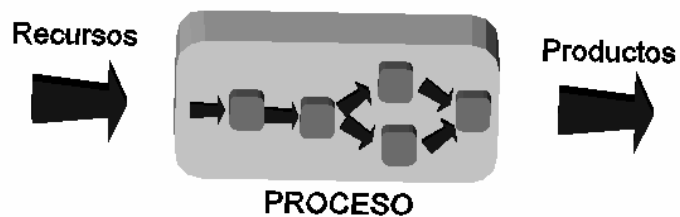
Los proyectos se dan según el tipo de producto que se quiera lograr, el conjunto de labores que conforman un proyecto se denominan procesos. En la construcción cada obra es un proyecto diferente y con gran variedad de procesos componentes que necesitan ser planeados y programados para el éxito de la obra, a continuación profundizaremos en ellos.

**3.3.2. La construcción vista como un proceso.** Para el hombre dedicado a los procesos constructivos es muy importante entender la construcción como un proceso, compuesto por planeación, ejecución, seguimiento, control y mejoramiento de todas y cada una de las actividades que lo componen. Es elemental enfocarse a procesos, para poder y saber hacer planeación, teniendo en cuenta variables como personal, materiales, tiempos y costos que intervienen en su labor.

Primero se dará una definición de lo que es un proceso y así entender porque la construcción debe ser vista y enfocada a procesos.

● **Procesos.** Los procesos se definen como el conjunto de actividades encadenadas que transforma unos insumos (entradas) o recursos variables, agregándoles valor, en productos (salidas). Estos siguen un ordenamiento específico de actividades en lugar y tiempo de inicio con el insumo y termina en un producto, para determinado cliente o mercado. Definiéndose también como un sistema interrelacionado que entrega resultados, bienes o servicios a unos clientes que los requieren o demandan transformando entradas suministradas por los proveedores y agregándole valor a dicha transformación.

Figura 14. Proceso



Fuente: Los autores

Un proceso implica, insumos, transformación y producto.

*Ejemplo 1.9:*

Se va a llevar a cabo el proyecto de la construcción de una casa de un nivel. En la etapa de planificación es posible responder y analizar preguntas como: Dónde se va a construir, luego de ubicado el sitio, para su construcción se necesita identificar cada uno de los procesos que la

conforman es decir; saber como se va a construir y a su vez el conjunto de actividades que conforman cada proceso. Detalladamente se planea como se va a construir la casa, esto es: conocer los pasos (procesos) desde el inicio hasta el final de la construcción.

*Tabla 4. Planeación del proyecto correspondiente a la construcción de una casa*

<b>PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA</b>	
<b>PROCESOS</b>	<b>TAREAS</b>
A. LOCALIZACIÓN	Medición de los limites
	Demarcación y señalización de los limites
B. NIVELACIÓN DEL TERRENO	Desmonte
	Nivelación
	Limpieza de escombros y material
C. REPLANTEO	Demarcación de las divisiones de la casa
D. EXCAVACIÓN	Excavación
	Acarreo interno
E. CIMENTACIÓN	Preparación del solado
	Vaciado del solado
	Acero de refuerzo
	Formaleteado
	Preparación del concreto
	Vaciado del concreto
	Curado
	Desformaleteado
	Relleno manual
F. COLUMNAS	Colocación de acero de refuerzo
	Formaleteado
	Preparación del concreto
	Vaciado del concreto
	Curado
	Desformaleteado
G. VIGAS	Acero de refuerzo
	Formaleteado

	Preparación del concreto
	Vaciado del concreto
	Curado
	Desformateado
H. MUROS	Replanteo
	Preparación del mortero
	Armado del muro
	Limpieza del muro
I. CUBIERTA	Colocación de cerchas
	Colocación de correas
	Colocación de tejas
J. INSTALACIÓN DE TUBERIAS SANITARIAS	Ubicación del lugar
	Transporte de tubería
	Excavación de zanjas
	Corte de tubos
	Instalación de tubos
	Relleno de zanjas
K. NIVELACIÓN PISO	Transporte de suelo
	Vaciado del suelo
	Compactación y nivelación del suelo
L. INSTALACIONES HIDRAULICAS	Ubicación del lugar
	Transporte de tubería
	Excavación de zanjas
	Corte de tubos
	Instalación de tubos
	Relleno de zanjas
M. INSTALACIÓN ELÉCTRICA	Transportes de tubos
	instalación del cableado
	Ubicación de cajas
	Colocación de platones, bombillos, tomas e interruptores
	Instalación del transformador
N. ACABADOS DE MUROS	Preparación de la mezcla
	Aplicación de la mezcla

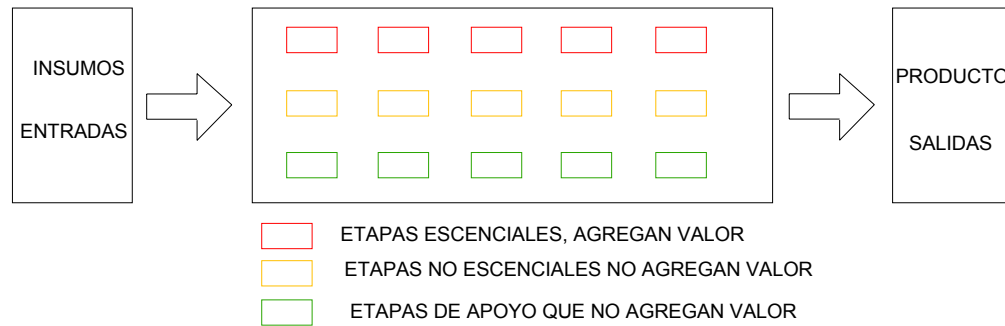
	Curado
O. FUNDICIÓN DE PISO	Colocación de formaletas
	Preparación de la mezcla
	Fundición de placa
	Desformateado
P. INSTALACIÓN ACCESORIOS COCINA	Estuco
	Enchape
	Instalación de lavaplatos
Q. INSTALACIÓN ACCESORIOS BAÑOS	Instalación de lavamanos
	Instalación de ducha
R. INSTALACIÓN DE PUERTAS	Anclaje de la puerta, a los muros
	Preparación de mortero de pega
	Aplicación del mortero de pega
S. INSTALACIÓN DE VENTANAS	Anclaje de ventana
	Preparación de mortero de pega
	Aplicación del mortero de pega
T. ACABADOS DE PISOS	Preparación de mortero de pega
	Aplicación de mortero de pega
	Colocación de piso, ( baldosa o cerámica )
U. PINTURA	Aplicación de la pinturas
V. INSTALACIÓN DRENAJE LLUVIAS	Instalación de canaletas
	Instalación de bajantes
W. ASEO GENERAL	Retiro de escombros
	Lavado de paredes y muros
	Lavado de pisos
	Limpieza de residuos de concreto

*Fuente: Los autores*

- **Tipos de actividades que componen un proceso:**
- ✓ **Actividades administrativas.** Son aquellas que permiten modificar los procesos a través del direccionamiento de sus actividades y están a cargo de la gerencia del proyecto.

- ✓ **Actividades productivas.** Son aquellas que transforman insumos en productos y se utilizan para la representación de la programación del proceso. Dentro de ellas se encuentran las actividades contributivas (esenciales que agregan valor), no contributivas (no esenciales y no agregan valor) y de apoyo (esenciales que no agregan valor).

Figura 15. Etapas dentro de un proceso.



Fuente: Curso ISO 9000:2000 Senvirtual.edu.co

Ejemplo 1.10.

Dadas las actividades, se clasifican según el tipo y éstas según sus etapas:

Tabla 5. Clasificación según el tipo de actividades para el ejemplo 1.10.

ACTIVIDAD	ADMINISTRATIVA	PRODUCTIVA
Compra de materiales	<b>X</b>	
Contratación de personal	<b>X</b>	
Transporte de materiales		<b>X</b>
Elaboración de la mezcla de pega		<b>X</b>
Pegue de ladrillos		<b>X</b>
Limpieza del muro		<b>X</b>

Fuente: Los autores

Tabla 6. Clasificación según las etapas de las actividades para el ejemplo 1.10.

ACTIVIDAD	CONTRIBUTIVAS	NO CONTRIBUTIVAS	DE APOYO
Transporte de materiales			X
Elaboración de la mezcla de pega	X		
Pegue de ladrillos	X		
Limpieza del muro		X	

Fuente: Los autores

- ANÁLISIS DE VALOR AL PROCESO.** Como ya se mencionó las actividades dentro de un Proceso se clasifican en: Actividades que agregan valor y actividades que no agregan valor, para analizar si las actividades agregan o no valor se debe tener en cuenta tres factores: Tiempo de ciclo, costo y percepción del valor por parte del cliente. Las actividades que generan tiempo y costo innecesarios sin agregar valor a los ojos del cliente, son las principales a tener en cuenta como posibilidades de mejoramiento en el proceso, se pueden eliminar o mejorar. Es necesario definir el tiempo de ciclo del proceso el cual es el total requerido para terminar el proceso desde la actividad inicial hasta la final. El tiempo de ciclo permite calcular su eficiencia; al tiempo total de procesamiento se adicionan tiempos de no procesamiento que los ocasionan las actividades que no son esenciales ni agregan valor al proceso.

$$\text{Eficiencia del ciclo} = \frac{\text{Tiempo de ciclo}}{\text{Tiempo de ciclo} + \text{Tiempo de no procesamiento}}$$

Al mismo tiempo se calculan los costos de los recursos consumidos durante la ejecución del proceso (acumulado) y se analiza el valor que agrega cada actividad o subproceso del proceso global. Las actividades que agregan valor son las que determinan la existencia del proceso, la razón de ser del mismo. Las actividades que no agregan valor pueden dividirse en: **Esenciales** que no agregan valor ante los ojos del cliente pero si no se realizan no se puede continuar el proceso y las **no esenciales** que no agregan valor ni al cliente ni al proceso como: almacenar, esperar, chequear y aprobar.

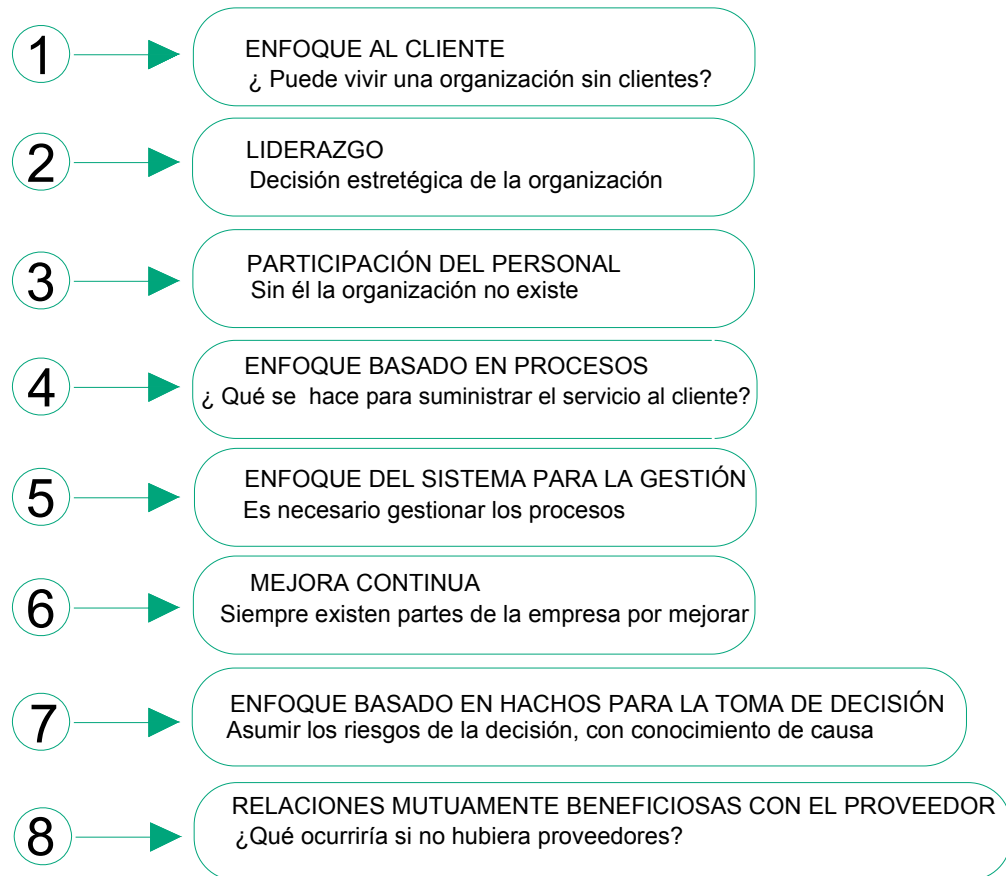
De esta identificación depende tomar decisiones como eliminar actividades que no agregan valor y que no son esenciales para el desarrollo normal del proceso.

Hoy se considera que la gerencia de procesos es una parte inherente al trabajo diario en las organizaciones. Los paradigmas en administración de obras deben ser reevaluados permanentemente, considerando que el principio de una orientación hacia procesos permanecerá por muchos años. Mariño Navarrete. Op. Cit., p. 8,9. Muestra que, la norma **ISO 9000:2000** brinda una serie de principios y conceptos enfocados hacia la gerencia de procesos, es de gran importancia tenerlos en cuenta pensando siempre en la calidad y mejora continua de los mismos.

- ✓ Cualquier actividad que recibe entradas y las convierte en salidas es un proceso.
- ✓ Las organizaciones pueden ser más efectivas (eficaces+eficientes) si se gerencia un sistema interrelacionado de procesos.
- ✓ El enfoque hacia procesos facilita el mejoramiento del sistema de gerencia de calidad.
- ✓ Los clientes juegan un papel significativo para definir los requisitos como entradas.
- ✓ El modelo de ISO 9000:2000 puede usarse para describir cómo el enfoque de procesos se aplica a los sistemas de calidad.

### 3.3.3. Principios de calidad enfocados a la gerencia de procesos.

Figura 16. Principios de la calidad iso 9000:2000



Fuente: Curso ISO 9000:2000 Senavirtual.edu.co

- **Enfoque al cliente:** Las organizaciones dependen de sus clientes; por lo tanto, deben entender sus necesidades actuales y futuras, cumplir con los requisitos y esforzarse para exceder sus expectativas. Aplicando este principio se entenderá en toda su amplitud de las necesidades y expectativas de los clientes para la entrega del producto/servicio, precio y confiabilidad; se asegurará un enfoque balanceado entre las necesidades y expectativas del cliente y otras partes interesadas tales como: propietarios, gente particular, proveedores, comunidad local y la sociedad en su conjunto; se mide la satisfacción del cliente actuando sobre resultados.

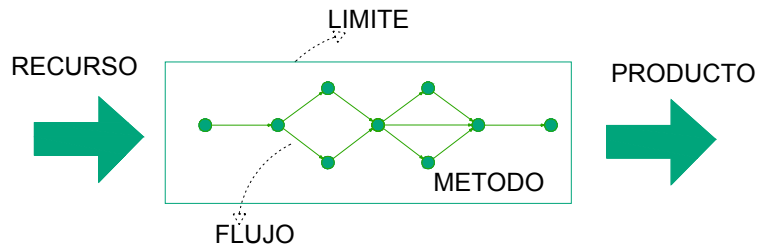
- **Liderazgo:** Los líderes establecen y unifican el propósito y dirección de la organización, ellos deben crear un ambiente en el que el personal se involucre totalmente para lograr los objetivos. Aplicar este principio conduce a ser práctico y liderar con el ejemplo, entender y responder a los cambios del medio ambiente externo, tomar en cuenta las necesidades de todas las partes interesadas incluyendo dueño del proyecto, contratistas, contratantes, proveedores empleados y la sociedad en su conjunto; establecer una visión clara del proyecto; establecer valores compartidos y modelos de conducta ética en todos los niveles de la organización; crear confianza y eliminar el miedo; proporcionar los recursos requeridos al personal y la libertad para actuar con responsabilidad y confianza; inspirar, alentar y reconocer las contribuciones de la gente; promover comunicación abierta y honesta; educar, entrenar y apoyar a la gente; establecer metas retadoras e implementar estrategias para lograrlas.
- **Participación del personal:** El personal es la esencia del proyecto y su total involucramiento permite que sus habilidades sean usadas para el beneficio de la organización. Este principio conduce a aceptar pertenencia para solucionar problemas; buscar activamente oportunidades para mejorar; solucionar problemas o imprevistos que se puedan presentar, compartir su conocimiento y experiencia en grupos y equipos; innovar, crear, llevar adelante los proyectos derivar satisfacción de su trabajo, mostrarse entusiasta y orgulloso por ser parte de la realización de un proyecto u obra
- **Enfoque basado en procesos:** Cuando los recursos y actividades relacionadas se administran como un proceso los resultados deseados se logran más eficientemente. El enfoque hacia procesos conduce a definir el mismo para alcanzar el resultado deseado; identificar y medir los insumos y resultados de los procesos, identificar las interfaces de los procesos con las funciones de la organización; evaluar los riesgos, posibles consecuencias e impactos de los procesos, en clientes, proveedores y otras partes interesadas; identificar clientes internos y externos, proveedores y otras partes interesadas de los proveedores y establecer claramente la responsabilidad, autoridad y las líneas de mando para la gestión del proceso.
- **Enfoque de sistemas:** Identificar, comprender y administrar un sistema de procesos interrelacionados para un objetivo dado, mejora la efectividad y eficiencia de la organización. Este principio conduce a definir el sistema identificando o desarrollando los procesos que afectan un objetivo dado; estructurar el sistema para lograr el objetivo de manera más eficiente; entender la interdependencia entre los procesos del sistema; mejorar continuamente el sistema a través de su medición y evaluación y a establecer recursos antes de actuar. Se

pueden obtener ventajas como: Reducción en la duplicación de actividades, identificación de las ineficiencias del proceso, logros consistentes de objetivos, facilidad en la implantación de cambios, mayores involucramiento de la gerencia, mayor facilidad para medir el desempeño y consistencia en la implantación en todo el proyecto.

- **Mejora continua:** Conduce a mejorar productos, procesos y sistemas, a aplicar los objetivos básicos tanto en la mejora gradual como en la mejora integral, mediante la evaluación periódica de criterios establecidos para lograr la excelencia, identificar áreas de mejoras potenciales y mejorar continuamente la eficiencia y efectividad de los procesos. Este principio debe ser aplicado en cualquier organización ya que permite el perfeccionamiento y solución de problemas que se hayan presentado.
- **Toma de decisiones basadas en hechos:** Las decisiones efectivas se basan en el análisis de datos e información. Aplicar este principio conduce a tomar mediciones y recolectar datos e información relevantes para el objetivo, asegurar que los datos y la información sean suficientemente exactos, confiables y accesibles, analizar los datos y la información mediante métodos válidos, entender el valor de técnicas estadísticas apropiadas y tomar decisiones para actuar basándose en los resultados del análisis lógico, equilibrado con la experiencia e intuición.
- **Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor:** Una obra y sus proveedores son interdependientes, una relación de beneficio mutuo refuerza la habilidad de ambos para crear valor. Permite identificar y seleccionar los proveedores clave; establecer relaciones que equilibren las ganancias del corto plazo, con consideraciones de largo plazo, para la organización y sociedad en su conjunto, crear comunicaciones claras y abiertas, iniciar de manera conjunta el desarrollo y mejora de productos y procesos, establecer en conjunto un entendimiento claro de los recursos necesarios para la ejecución de la obra, compartir información y planes futuros, reconocer las mejoras y logros del proveedor.

### 3.3.4. DEFINICION DE LOS LIMITES (ALCANCE) DEL PROCESO

Figura 17. Alcance de procesos



Fuente: *Administración de operaciones de construcción. Serpell. Op. Cit., p.93.*

Para cada proceso es necesario identificar sus límites dentro de los cuales se logrará el alcance de los objetivos. En esta parte se debe estar seguro que el proceso incluya todo el trabajo requerido para culminarse. Los límites del proceso comprenden en general su alcance, desde donde inicia hasta donde termina.

Figura 18. Análisis de procesos



Fuente: Los autores

Identificado el proceso y hacia quien va dirigido, se deben establecer los límites inicial y final:

- **Límite inicial:** Un proceso nuevo se inicia después de la terminación de uno anterior. Por ejemplo en el caso de la mampostería, esta se puede iniciar, siempre y cuando haya terminado el proceso de fundición de la placa. Un proceso inicia con una actividad, que bien puede ser el final de un proceso anterior o una actividad independiente que abre paso al conjunto de actividades que conforman el sistema como un proceso.
- **Límite final:** La actividad con la que culmina un proceso; puede ser el comienzo de otro. Después de terminado el proceso se abre paso a otros procesos, que se pueda iniciar sí y sólo sí se haya terminado el actual. Ningún proceso dentro de un sistema puede iniciar sin que haya terminado su predecesor.

Ejemplo 1.11.

En el proceso de mampostería se identifican los límites:

Figura 19. Definición de límites para el ejemplo 1.11.



Fuente: Los autores

Dentro del alcance del proceso es necesario tener claro todo lo que se quiere y se espera del mismo.

**3.3.5. Características de un proceso** La importancia de esto radica en conocer y comprender las características que tiene cada proceso, ya que el conocimiento es lo único que no depende de utilidades.

Entre las características se tiene:

- ✓ **Flujo:** métodos para convertir **input** en **output**, (entradas en salidas).
- ✓ **Efectividad:** Generar satisfacción en las necesidades del cliente, está relacionada directamente con la calidad.
- ✓ **Eficiencia:** Usar acertadamente los recursos para generar las salidas.

- ✓ **Adaptabilidad:** Flexibilidad para dirigir las expectativas cambiantes de los clientes, teniendo en cuenta el presente y el futuro.
- ✓ **Tiempo de ciclo:** El requerido para convertir el **input** en **output** (entradas en salidas).
- ✓ **Costos:** Totalidad del proceso.

**3.3.6. Tipos de procesos.** La construcción en general puede ser vista como un proyecto en el cual se maneja un volumen de producción bajo, en cuanto a cantidad de producto por proyecto, pero con alta variabilidad si se tiene en cuenta que cada construcción tiene especificaciones diferentes dadas según los deseos de los clientes. Aquí se pueden encontrar diferentes tipos de procesos, por pedido los más grandes y por inventario las cosas o labores más pequeñas, el que se hable de pedidos permite decir que la construcción maneja sus productos por control de demanda dependiente, es decir, una obra no se inicia si previamente no hay alguien que la necesite.

Los procesos se clasifican en función de la continuidad y duración para la elaboración del producto en:

- **Por proyecto:** Cuando se obtiene uno o pocos productos con un largo período de fabricación. Dentro de este se encuentran clasificadas la mayoría de obras de construcción ya que el producto a entregarse es por unidad (un edificio, una casa, un puente, etc...), y el tiempo que se requiere para su elaboración es relativamente largo.

Configuración productiva por proyectos: Para elaborar productos u obras de este tipo, donde las entradas (**inputs**) usados son de gran tamaño y se trasladan al lugar en el que se realiza el producto, cada vez que se elabore el producto las actividades pueden variar y todas las de apoyo se controlan por un equipo de coordinación durante el proyecto determinando la precedencia entre tareas, costos de las duraciones parciales, costos de retrasos y controlando también la asignación y reasignación de recursos a lo largo del proyecto, controlando siempre que haya una optimización de recursos.

- **Por lotes:** cuando se obtienen productos diferentes en las mismas instalaciones.  
Configuración por lotes: se obtienen múltiples productos y se preparan las instalaciones para procesar otro producto.

Configuración de talleres: pequeño número de operaciones que las puede realizar un mismo trabajo, el lote es de pocas unidades por lo que la variedad puede ser infinita.

Configuración en **Batch**: el operario realiza actividades que corresponden a un centro de taller y luego pasa a otro centro de taller, el cliente elige lo que quiere pero limitado a lo que ofrece la empresa.

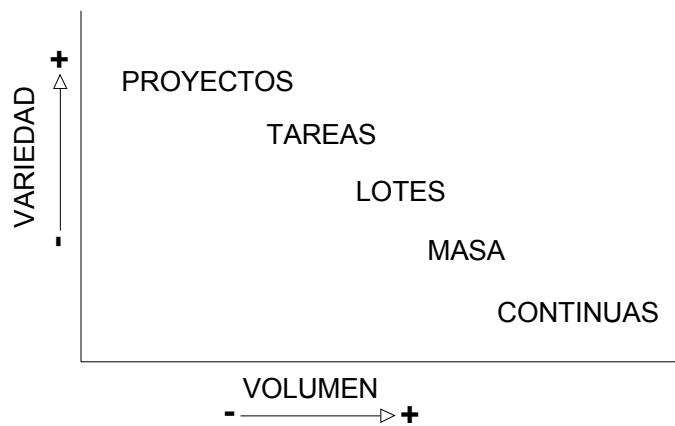
Configuración **Job-Shop**: Se producen lotes más o menos de gran variedad de productos. Los tipos de trabajo que se deben realizar en un período de tiempo, determinando la necesidad de máquinas y plantillas, se agrupan las operaciones, luego se hace la secuencia y se da prioridad de acuerdo a las fechas de entrega.

- **Continua**: se obtiene siempre el mismo producto en las mismas instalaciones.

Configuración continua: Se transforma en un flujo continuo de producción cuando se eliminan tiempos ociosos y de espera, de la forma que se ejecuten siempre las mismas operaciones, en las mismas máquinas, para la obtención del mismo producto con una disposición en cadena o en línea. Las operaciones realizan siempre las mismas tareas para el mismo producto. En la fabricación continua no debe haber paradas pues cualquier parada del proceso podría originar graves perjuicios en la maquinaria. Los objetivos especiales de esta configuración son la mejora del flujo de materiales y de trabajo, una rápida realización de los trabajos y generación de valor agregado.

En la figura 20. Se puede observar la clasificación de los procesos, según su variedad y volumen.

Figura 20. Clasificación de los procesos según variedad y volumen



Fuente: Administración de operaciones, Slack Nigel. *ibíd.*, p. 123.

El siguiente es un paralelo que nos muestra la diferencia entre una PCP (Programación y Control de la Producción) continua y una PCP por ordenes, como se maneja en la construcción.

Tabla 7. Diferencia entre programación y producción

PREPARACIÓN	
EN PCP CONTINUO	EN PCP POR ÓRDENES
Se requiere un pronóstico de ventas, que se convierte en el plan básico o maestro. Información inicial.	Se requiere la orden o pedido del cliente. Información inicial primaria.
Se debe decidir entre hacer o comprar. Se debe decidir el nivel de producción: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Siguiendo los picos de la demanda.</li> <li>• Producción nivelada o constante.</li> </ul>	Se atiende el requerimiento, en volumen, del cliente.

Se requiere un diagrama de Gozinto o de explosión y un diagrama de ordenamiento.	Las especificaciones de los planos, dibujos y diseños, elaborados por ingeniería del producto son suficientes.
Se debe fijar el ritmo diario de producción para poder cumplir con el plan maestro que satisfará la demanda pronosticada.	Se trabaja en función de la capacidad instalada para satisfacer el pedido del cliente.
La preparación se efectúa una sola vez, antes de lanzar la producción y se mantiene mientras no cambien, ya sea el producto elaborado (servicio prestado) o el proceso productivo y el método adoptado.	La preparación debe efectuarse para cada trabajo o pedido a fabricar. Los diseños son diferentes.

Fuente: <http://www.southlink.com.ar/vap/pcp%20%20intermitente.htm>.<sup>6</sup>

**3.3.7. Factores determinantes de un proceso (8 emes (m)).** “Estos factores son conocidos también como las 8 emes (m): **Managment**, material, **manpower**, **methods**, **machines**, medio ambiente, **Money** y **measurements**”. Mariño Navarrete. Op. Cit., p. 13.

- **Tipo de gerencia que guía el proceso (managment):** Enfocado hacia la calidad o la cantidad. Un gerente tiene efecto sobre su gestión y resultados de la misma; Las empresas se parecen a sus gerentes, de la misma forma ocurre con los procesos de la construcción.  
Depende del estilo del gerente:  
Democrático: Pide opinión a todos los involucrados  
Autocrático: Toma decisiones solo  
**Laisse Faire:** Se hace el de la vista gorda
- **Materiales empleados, suministro a tiempo, calidad y cantidad de los mismos (material):**  
En los procesos aplicados a la construcción este concepto es de gran importancia, pues en una obra se necesitan diferentes tipos de materiales que se esperan sean suministrados para

<sup>6</sup> Planeamiento, programación y control de la producción  
. <http://www.southlink.com.ar/vap/pcp%20%20intermitente.htm>.

el momento en que se han programado y con las especificaciones requeridas; una falla en este factor puede generar grandes retrasos y pérdidas de dinero para cualquier obra.

*Fotografía 7. Materiales*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

- **Quienes operan el proceso (manpower):** Personas con experiencia y conocimiento en el área que van a trabajar, dispuestos a dejar los paradigmas que ya no funcionan, actualizándose para de esta forma lograr alta competitividad y buenos resultados en obras.

*Fotografía 8. Mano de obra*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

- **Métodos de trabajo aplicados en el proceso (métodos):** Es muy importante que el personal tenga claros los métodos por los cuales se rige su trabajo, como ejecutan las actividades y los procedimientos establecidos para hacerlo.

*Fotografía 9. Métodos aplicados para realizar el proceso*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

- **Maquinaria utilizada (machines):** Es muy importante conocer y verificar el estado de la maquinaria e instrumentos utilizados, pues de ello depende en gran parte el rendimiento y alcance de la obra ejecutada.

*Fotografía 10. Máquinas*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

- **Medio ambiente que los rodea (environmental media):** Además de la conservación del agua y aire, también es muy importante el clima que se tiene en el sitio o lugar de trabajo y las condiciones como nivel del ruido, iluminación temperatura y demás aspectos ergonómicos y de riesgo en el personal que labora.

*Fotografía 11. Medio ambiente*



*Fuente: Fotografías tomadas por alumnos durante la construcción del edificio de pesados*

- **Factor económico (Money):** Es necesario tener claro antes de ejecutar cualquier proyecto, el factor económico y saber si realmente se dispone de los recursos necesarios para llevarlo a cabo.
- **Sistema utilizado para la medición de resultados del proceso (measurements):** De el sistema utilizado para medir la satisfacción del cliente, eficiencia, calidad, etc., (supervisores, interventores, auditores...etc.), depende que se puedan tomar medidas correctivas o de mejoramiento que permitan obtener los resultados esperados.

### **3.3.8. Identificación y clasificación de procesos**

- **Identificación de los procesos.** El objeto de identificar los procesos es conocer la organización en términos de cuales son, cómo están descritos, cuántos son, quiénes intervienen en ellos y cuál es la relación entre ellos. Las organizaciones como un todo es un

conjunto estructurado de procesos que se establecen para satisfacer y fascinar a los clientes con los productos; (bienes y servicios ofrecidos). El objetivo de mayor importancia para poder identificar y clasificar cualquier proceso debe ser el de tener un sistema de medición de la satisfacción del cliente, el cual se puede lograr empleando las siguientes estrategias:

Proceso: Diseño del sistema; El plan debe responder a: (según sea la exigencia del cliente)

Proceso: Escuchar la voz de los mejores (obteniendo propuestas de expertos en el tema, que permitan establecer indicadores o medidores).

Proceso: Capacitación (que permita incorporar personal de mayor conocimiento para la ejecución del proceso).

Para la identificación de procesos se tiene:

- ✓ **Procesos misionales:** Son los que establecen los procesos básicos en los que la organización debe trabajar, identificando quienes son los clientes, en que mercado y con que tecnología se debe trabajar.
  
- ✓ **Procesos visionarios:** Identifica los factores críticos de éxito, competencias claves o necesidades de mejoramiento a mediano y largo plazo.

Mediante estos dos tipos de procesos es fácil identificar los procesos vitales y aquellos que se debe mejorar.

Para identificar los procesos se debe entender los procesos generales en los que trabaja la organización, lo cual puede hacerse mediante un seguimiento del producto, desde el inicio de su elaboración, hasta que se entregue al cliente; se trata de construir un mapa o una carta de procesos, que permita mostrar como fluye el trabajo, presentando los principales procesos que se trabajan.

- **“Mega procesos en una organización”.** *Mariño Navarrete. Op. Cit., p.37.*

- ✓ **Procesos gerenciales: están basados en:**
  - Estrategias corporativas
  - Manejo de relaciones externas
  - Transformación de la cultura organizacional
  
- ✓ **Procesos operativos: Su función es:**

- Entender los mercados y clientes
- Diseñar el portafolio
- Comercializar y vender
- Manufacturar y entregar ( industrias )
- Operar y prestar el servicio ( empresas de servicios )
- Prestar servicio a clientes externos

✓ **Procesos de soporte:** se desempeñan en:

- Desarrollo del talento humano
- Sistemas de información
- Gestión ambiental
- Sistema financiero y recursos físicos

#### ● **Clasificación de los procesos**

Para clasificar los procesos es necesario desagregar cada proceso principal en tareas:

*Ejemplo 1.12.*

En el siguiente ejercicio se desagrega el proceso de mampostería en una de las tareas que lo conforman y ésta en sus actividades.

PROCESO: MAMPOSTERIA  
 Tarea: Demarcación del muro  
 Actividades: Medición del muro  
                   Cimbrado  
                   Limpieza del muro

✓ **Procesos organizacionales y funcionales:** Los procesos organizacionales se encargan de agregar valor a los clientes externos, su responsabilidad no es solo de un departamento (como es el caso de la construcción); no se pueden pegar los ladrillos si la mezcla no ha sido preparada y no se puede preparar la mezcla si no se ha conseguido el material. (Esto se conoce con el nombre de actividades horizontales). Los procesos funcionales son subprocesos de las organizaciones: actividades que transforman entradas en salidas según lo requiera un cliente interno en la organización se ejecutan al interior de una misma área funcional. Estos procesos son verticales, se desarrollan al interior de un departamento y agregan valor al cliente interno; como es el caso de la nivelación de un muro el cual al irse

levantando agrega valor a quienes colocan los ladrillos que requieren saber los resultados. También se pueden entender los procesos organizacionales como: trabajo en equipo, interfuncional. Procesos funcionales bajo el control de un área o función, trabajo en equipo intrafuncional.

- ✓ **Procesos gerenciales operativos y de apoyo:** Los procesos gerenciales se realizan para brindar dirección a toda la organización. Los procesos operativos y de apoyo son las actividades que se realizan para agregar valor a los productos o servicios; están relacionados con mantenimiento y adecuación de inventarios, almacenamiento, distribución de áreas, información, comunicaciones, construcción y mantenimiento de edificios, manejo de recursos, pagos etc.

**3.3.9. Diseño del proceso.** Consiste en la elección de entradas (recursos), operaciones, flujos de trabajo y métodos para la producción de bienes y servicios. El diseño del proceso debe tener un análisis cuidadoso y detenido de cada proceso en el que se hace un estudio detallado de las actividades y flujos que lo componen, con el propósito de lograr su mejora. Esto es de gran ayuda cuando en el proceso se presentan cuellos de botella, consumo de mucho tiempo, desperdicio de gran cantidad de materiales, condiciones de trabajo peligrosas o desagradables, requerimientos de importantes y frecuentes desplazamientos físicos.

● **Factores condicionantes del diseño del proceso.**

- ✓ **Intensidad de capital.** La persona encargada de la operación debe seleccionar tareas que se desarrollen manualmente y mecánicamente, mientras mayor sea el número de actividades mecanizadas frente a las manuales mayor será la intensidad de capital necesaria. En el campo de la construcción este factor es muy determinante, pues la maquinaria que se necesita para realizar gran parte de las actividades es muy costosa, pero se consigue a través de alquiler durante el tiempo necesario.
- ✓ **La flexibilidad.** Depende de la facilidad con que equipos y operaciones puedan manejar una amplia variedad de productos, niveles de output, responsabilidades a cierto costo y a un tiempo razonable.

**3.3.10. Modelos para la gerencia de procesos.** Para gerenciar procesos se deben establecer metas y liderar con el fin de que las mismas puedan lograrse, mediante planes de acción enfocados en el control y mejoramiento contando con los medios necesarios para alcanzar los resultados que se esperan.

Después de la planeación y selección del proceso vienen varias etapas como son:

- ✓ **Ejecución.** Consiste en el desarrollo de lo planeado, en esta parte la responsabilidad no es sólo del administrador, es necesaria la participación de los empleados, según la importancia y responsabilidad que ellos le den a su trabajo será la calidad obtenida en el producto final. La producción depende del trabajador y de las condiciones de trabajo de su entorno.
- ✓ **Seguimiento.** Consiste en la toma de datos de resultados en cada una de las partes que componen un proceso, esta toma de datos se hace con encuestas, toma de tiempos de ejecución, videos, etc...
- ✓ **Control.** Paso que sucede al seguimiento, sin un seguimiento es imposible hacer control, el control se realiza con los datos de labores como las encuestas que son estudiados y comparados con lo inicialmente planeado, si los resultados son muy diferentes se vera qué tipo de control será necesario hacer: cambiar la planeación por completo, hacer un pequeño ajuste o no hacer nada, estos controles se deben hacer frecuentemente para que las correcciones hechas no vayan a causar grandes efectos en el proceso principal. 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.
- ✓ **Mejoramiento.** El secreto de un buen proceso, es que desde su planeación se tenga un enfoque de mejora continua, es decir que todo lo que se haga tenga siempre la posibilidad de ser mejorado, aun si se esta haciendo lo mejor posible. El mejoramiento no involucra solamente actividades, también manejo de recursos y concientización del personal de trabajo.

Este ciclo de planeación a control debe abarcar manejo en materiales, métodos de trabajo, recursos, rutas de flujo de trabajo, determinación de tiempos, programación de equipos y mano de obra, inspección y evaluación.

En detalle se explicará el control y mejoramiento que deben seguir los procesos para ejecutarse con éxito.

## ● Gerencia para controlar.

- **Control de procesos.** Los resultados de los procesos generan datos cuantitativos que se pueden controlar y analizar mediante una herramienta o una rama muy importante de las matemáticas como lo es la estadística. Estos datos nos permiten realizar un seguimiento o control al proceso el cual indicará las anomalías que se puedan presentar en el proceso y el momento en que las mismas ocurran. Una baja productividad se debe a una planificación y control pobre y a una mala coordinación de los recursos, afectando notablemente el valor del producto final, ya que la productividad es de gran importancia en los costos. Se define la productividad como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.

Productividad = Salida/ Entradas.

Teniendo en cuenta que el resultado de una buena calidad no se presenta solamente en el producto final, sino que se va determinando mediante la realización o avance del proceso; es necesario enfocarse en las actividades previas del proceso. Los resultados de hacer una debida planeación, con el respectivo control y mejoramiento continuo se ven en la productividad obtenida en obra como el grado de rendimiento con que se emplean los recursos que se tienen para alcanzar objetivos determinados, en nuestro caso el objetivo es realizar obras mejorando costos a través de insumos, con productividad de recursos primarios de la producción: materiales, hombres y máquinas. Los parámetros que afectan la productividad son: hombres (mano de obra), materiales, métodos, mercado, máquinas, medio ambiente, mantenimiento, misceláneas como (controles, materiales, costos, inventarios, calidad, cantidad, tiempo, etc.). Para los materiales ésta es un factor fundamental para una producción u operación económica. En otras épocas la producción era lenta y escasa debido al método manual que era lento y rudimentario, hecho que sirvió de base para crear métodos nuevos de producción (maquinaria que simplifica el trabajo).

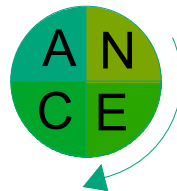
Hay una serie de factores que determinan bajos niveles de productividad, elevados costos, deficiencias de calidad y elevados tiempos de entrega en la industria de la construcción; entre esos están la ausencia de métodos de mejora continua tanto en los procesos como en productos y servicios, el alto nivel de dependencia en los factores climatológicos, personal temporáneo y escaso nivel de capacitación, la administración mediante gestión de control en vez de gestión participativa, falta de aplicación de herramientas e instrumentos para el control en lugar de una gestión participativa, falta de aplicación de herramientas para el control y reducción de desperdicios, como el control estadístico de procesos, escaso interés por el principal factor de

producción que es la mano de obra sujeta a un alto índice de rotación, falta aplicación de ingeniería de valor y las empresas quieren incrementar sus beneficios reduciendo la calidad, confiabilidad y duración de las obras o sea entregando bienes de un bajo valor agregado.

- **Prioridades competitivas influyentes en la productividad.** La evolución, la tecnología, inversión en capital, tasas de utilización de capacidades, volumen y cualificación de la mano de obra, cualificación de gestión, organización de la producción y utilización de recursos como energía, materias primas; son factores que influyen en el crecimiento de la productividad. La gente prefiere pagar más caro si la calidad lo justifica, la competencia se ve tanto en los productos como en los diseños e introducción de los mismos en el mercado. Los costos, calidad, entrega y satisfacción de los clientes (factores que son función de la producción) son de gran importancia para mantener la competitividad. La calidad está relacionada con el proceso y con los sistemas de control, en el cumplimiento de fechas de entrega; la planificación y control de materiales influyen de forma crítica en el cumplimiento de estas. Es por esta razón que el control de procesos se convierte en una necesidad para culminar satisfactoriamente cualquier proceso mitigando anomalías e impases que se puedan presentar durante la ejecución del mismo.

La gestión gerencial consiste en cumplir estándares, procedimientos establecidos para el proceso logrando que las condiciones del proceso se mantengan estables. Se deben identificar anomalías para conocer las causas y tomar correctivas que permitan lograr estabilidad en el proceso; las anomalías traen consecuencias tales como: más trabajo, costos innecesarios, desperdicio de recursos; por esta razón se deben eliminar; pueden costar mucho y no agregan valor. Existe un ciclo que se utiliza para controlar los procesos y lograr su estabilidad, conocido con el nombre de ciclo **NECA (Normalizar, Ejecutar, Comprobar y Actuar)**

*Figura 21. Ciclo NECA, para controlar*

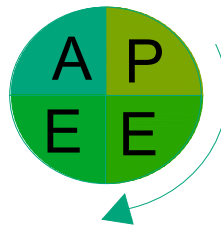


*Fuente: Gerencia de procesos. Mariño Navarrete. Op. Cit., P. 45.*

La primera fase indica que para crear un proceso es necesario elaborar normas que permitan su ejecución: **(Normalizar el proceso)**. En la segunda fase se debe **ejecutar el proceso** paso a paso, regido por las normas establecidas en la primera fase. En la tercera fase **comprueba** la estabilidad del proceso, confirmando la efectividad de los procedimientos que se están llevando a cabo, para la realización del mismo. Después de haber realizado la tercera fase, se debe **actuar** corrigiendo aquellos procedimientos que estén afectando la normalidad y efectividad del proceso y es en esta la cuarta fase donde se aplican las acciones correctivas. Si después de aplicar este ciclo no se obtienen resultados satisfactorios se debe abandonar el proceso y mejorarlo, para esto se utiliza la gerencia para mejorar tema que se explica a continuación.

- **Gerencia para mejorar.** Los procesos de mejoramiento se realizan para generar más beneficios y competencia, con el fin de crear y aplicar la conciencia del mejoramiento continuo y lograr buenos resultados, sin que sean frutos del azar, sino que sean un logro planeado, mediante innovación, cambiando lo que hacemos y la manera como lo hacemos (reingeniería de procesos). El mejoramiento continuo y la innovación trae resultados mediante la inversión en bienes de capital y alta tecnología. Para ambos tipos de mejoramiento, debemos responder a las siguientes preguntas: ¿qué hacemos y por qué lo hacemos así?. En el proceso de mejoramiento se sigue el ciclo PEEA.

Figura 22. Ciclo PEEA, para mejorar



Fuente: Gerencia de procesos. Mariño Navarrete. Op Cit., p. 48.

La primera fase, **planear**: consiste en elaborar un plan para mejorar el proceso, establecer un plan de acción y dar respuesta a por que, que cuando, quien y donde realizan el proceso. La segunda fase, **ejecutar**: consiste en capacitar al equipo humano, para implantar el mejoramiento planeado. Generalmente esto se realiza sobre una prueba piloto, que funcione como prueba y error, de tal manera que no se ocasionen grandes pérdidas en el proceso. La tercera fase consiste en **estudiar**

los resultados de la prueba, examinar la efectividad de los cambios. La última fase es la de **actuar**, adoptando el cambio y estableciendo el nuevo procedimiento, si los resultados de la prueba son benéficos.

Cuando se haya logrado el mejoramiento del proceso, se girará el ciclo NECA, (explicado anteriormente), para normalizar los cambio que se hicieron y controlarlo hasta que sea necesario un nuevo ciclo de mejoramiento, teniendo en cuenta que todos los procesos deben estar en un mejoramiento continuo.

Para lograr el éxito en el mejoramiento se hace énfasis en tres cosas:

Cuál es el objetivo que tratamos de alcanzar:

El líder establece el resultado que se quiere alcanzar y con el equipo de trabajo se realiza un consenso para establecer si el alcance está ajustado a la realidad.

Catalogar el conocimiento actual:

Describir en que consiste el proceso, analizar las actividades y el desempeño actual y pasado las mismas, teniendo en cuenta las necesidades y expectativas que se tiene en cuenta para lograrlas.

Estrategia de aprendizaje:

Encontrar y desarrollar metodologías eficientes, que pueden ser establecidas mediante prueba y error, incrementando el conocimiento.

- **Modelo para mejorar.** Para lograr el éxito en la etapa del mejoramiento nos enfocamos en tres partes o etapas:
  - **Objetivo:** El líder debe tener muy claros los resultados que espera y quiere obtener, hacer un consenso con su equipo de trabajo y aclarar las estrategias para lograrlo.
  - **Catalogar el conocimiento actual:** Describir el proceso, conocer las necesidades y expectativas seleccionar las actividades si agregan o no valor al proceso y basado en datos anteriores recopilar la información necesaria para mirar los pro y los contra (viabilidad de ejecución de las actividades que conforman el proceso).
  - **Estrategia de aprendizaje:** Establecer una metodología eficiente, para incrementar el conocimiento y aprendizaje, desarrollando y probando cambios (aplicación del ciclo PEEA).

## ■ ACTIVIDADES Y ESTRATEGIAS DEL MODELO DE MEJORAMIENTO:

- **Identificar oportunidades de mejoramiento:** Para esto se utiliza el análisis de pareto (visto en las técnicas de planeación) para priorizar actividades.
- **Describir y analizar el proceso actual:** Definir los límites del proceso y describirlos mediante el diagrama de flujo.
- **Escuchar la voz del cliente:** Tener en cuenta las expectativas que el cliente antes durante y después de entregar el producto.
- **Catalogar conocimientos:** Entender la relación causa-causa, causa-efecto, efecto-efecto y clarificar las posibles causas de inconformidad.
- **Desarrollar estrategias de aprendizaje:** Preparar el equipo de trabajo y llenar las falencias de conocimientos.
- **Desarrollar y ejecutar soluciones:** Probar cambios a pequeña escala y según los resultados aplicarlos y normalizarlos en el proceso.
- **Medir y monitorear los cambios:** Desarrollar un plan de acción, para medir, comunicar y controlar los cambios que se van realizando y de esta manera lograr una buena implementación de los mismos.
- **Mejoramiento suficiente:** Analizar los efectos producidos por el mejoramiento.
- **Otras formas para mejorar según Kaizen:** En vista de que la construcción debe enfatizarse a una mejora continua en todos los procesos, cumpliendo satisfactoriamente las necesidades de los clientes y mejorando la calidad de vida de los trabajadores Kaizen fija como meta producir bienes y servicios a los menores costos con la mejor calidad y el menor tiempo de respuesta, esto se refiere a:

El **Just in Time** (producción justo a tiempo), para ello se debe procurar una mejora continua en el lugar de la obra, donde los directivos deban presenciar directamente su construcción tomando contacto con la realidad, desarrollando las labores y resolviendo los problemas que puedan identificarse en las actividades constructivas. Las 5 S, la estandarización y la eliminación de mudas, son una buena aplicación para lograr este objetivo en obra y se da de realizando cinco pasos, que mediante su verificación logra un mayor orden, eficiencia y disciplina en el lugar de trabajo. Toma su nombre de cinco palabras japonesas que inician con la letra "s" de simple y sencillo:

**Seiri** (despejar, retirar todo menos las cosas con las que se pueda trabajar sin estorbos); es decir separar lo necesario de lo innecesario, de tal forma que aquello que estorba se despeje.

**Seiton** (orden, ejecutar actividades una por una; tener un lugar para cada cosa), de tal forma que los elementos o materiales necesarios se ordenen metódicamente, para evitar accidentes, controlar la cantidad de material existente y poder ubicar dicho material y desplazarlo según se necesite.

**Seiso** (limpiar), asear el espacio físico, las herramientas y maquinarias, para mejorar la seguridad, duración y mantenimiento de las mismas.

**Seiketsu** (detallar, corregir todo detalle que indique mala calidad), limpieza y disciplina de los obreros que contribuye a su seguridad y evita enfermedades, utilización de cascos, protectores visuales, zapatos con protección, protectores de sonidos entre otras.

**Shitsuke** (continuidad del proceso), es decir seguir el orden de ejecución de todas las actividades y sistematicidad mediante la aplicación metódica de los pasos anteriores.

La Estandarización implica registrar las actividades y aplicarlas para un óptimo desarrollo de los procesos. Cada vez que se genere un cambio o mejora, debe ponerse bajo control las variaciones a las que sea sometido el proceso hasta estandarizarlo, logrando su normalización, siguiendo en control y estandarización continuo.

La eliminación de las mudas que significa desperdicio, se refiere a los desperdicios clásicos como:

**Mudas de movimiento:** Cuando hay exceso de movimientos por parte de los operarios se origina baja productividad, también aquellos movimientos que generan enfermedades físicas e incluso accidentes, por eso se deben realizar pruebas ergonómicas y un estudio de la disposición de los elementos e instrumentos.

**Mudas de transporte:** Desperdicios debidos a la falta de planeamiento en el traslado de materiales, y en los métodos a usar. Actualmente el uso de moto elevadores, plumas elevadoras, elevadores y grúas corredizas permiten un traslado más rápido y seguro de material incrementando radicalmente los índices de productividad.

**Mudas de sobreproducción:** Construir más de lo demandado, por ello se debe construir sobre pedido en función del **just in time**.

**Mudas de espera:** La falta de coordinación con los proveedores, o con los integrantes del proceso, falta de materiales, tiempos excesivos de preparación de desarrollo de una actividad que se podría hacer en menos tiempo, esto puede ser ocasionado por la ausencia de obreros o supervisores, falta de máquinas, herramientas o daño en ellas.

**Mudas por fallas y corrección:** Se trata de los errores que se presentan al final de la obra y durante la ejecución de los procesos, se debe evitar procesos correctivos que llevan a la pérdida de materiales y horas-hombre. Se trata de hacerlo bien desde el comienzo, guiándose por todas las técnicas de gerencia de procesos y por un debido control y seguimiento de procesos.

Cada actividad debe tener un responsable, desde el inicio hasta el final del proceso conociendo muy bien la labor a realizar, para ello es necesario hacer un seguimiento mental de todas las actividades antecesoras y predecesoras, que hace empleando la carta de procesos. Debe existir un equipo de mejoramiento de procesos EMP, que debe ser el centro “corazón” de la actividad de mejoramiento y su buen manejo permite incrementar efectividad, eficiencia y utilidades; éste conformado por un representante asignado a cada departamento del proceso, que cumplirá con la función de: Realizar un diagrama de flujo, información de costos y calidad del proceso, calificar el proceso, ubicar puntos de medida, desarrollar y practicar planes de mejoramiento, suministrar información sobre eficiencia, efectividad y cambios, asegurar la adaptabilidad del proceso y durante el inicio definen, verifican y actualizan. Existe un equipo de tareas ET, que tienen como función solucionar problemas interfuncionales relacionados con el proceso, o para cuando se requiera hacer un cambio importante. Otro es el equipo de mejoramiento de departamento EMD, que se encarga de identificar problemas que generan errores o que disminuyen la efectividad del

departamento, desarrollando acciones correctivas, centrados en actividades dentro del departamento.

En una de las estrategias para alcanzar el mejoramiento se habla de medir y monitorear cambios, con el fin de controlar. Después de haber obtenido el mejoramiento en el proceso, se debe implementar los cambios y normalizarlos volviendo al ciclo NECA (ciclo para controlar) que es el que permite normalizar y controlar, estar en un continuo control hasta cuando el proceso requiera otro cambio o mejoramiento entonces se vuelve a girar al ciclo PEEA (ciclo de mejoramiento). La construcción es una actividad regida por la exigencia en materia de calidad, y productividad, es por esto que se debe tener muy en cuenta el concepto de mejoramiento continuo y organización de la producción. A continuación se hablará de la importancia de hacer mediciones y como deben realizarse.

#### **3.3.11. Mediciones realizadas a los procesos**

**“Lo que no se puede medir no se puede controlar y lo que no se puede controlar no se puede administrar y lo que no se puede administrar es un caos”.** *Mariño Navarrete. Op. Cit., p. 68.*

Se debe medir con el fin de controlar y crear competencia. Las medidas en un proceso permiten observarlo y controlarlo de manera confiable para tener una visión continua del mismo y tomar decisiones inteligentes. Recordando que la mejora continua es algo que debe existir siempre, en cualquier proceso y por lo tanto en cualquier empresa, se trata de alcanzar siempre los mejores resultados obteniendo eficacia. Se debe utilizar procesos de mejoramiento para generar mayor beneficio y competencia, además permitir una mejor dirección del proceso. Las mediciones son una herramienta clave para el mejoramiento, pues por medio de ellas se puede verificar que las actividades y reglas programadas se estén cumpliendo. Las medidas mantienen el interés en una determinada actividad, sobre todo cuando se trata de mejorar, además son importantes porque centran su atención en factores que contribuyen a lograr la misión de la empresa, mostrando la efectividad, ayudando a fijar metas e identificando oportunidades de mejoramiento.

- **MEDIDORES E INDICADORES.** Las personas y los actos necesitan y deben ser evaluados, para estimular el trabajo y el esfuerzo que hacen en lograr las metas.

Los medidores e indicadores deben ser usados entre otras para:

- Evaluar el desempeño del proceso y medir el grado de cumplimiento de las metas.
- Establecer si el proceso es estable o no, para definir el tipo de mejoramiento.
- Fijar el nivel de desempeño alcanzado por el proceso.
- Mostrar tendencias, evaluar efectividad y proveer señales oportunas de precaución.
- Establecer bases sólidas para identificar problemas o detectar oportunidades de mejoramiento.
- Proveer medios para evaluar las medidas correctivas y preventivas.
- Facilitar la comunicación entre dueño del proceso y quienes lo operan.
- Establecer si el grado de mejoramiento es suficiente y si el proceso sigue siendo competitivo.

Los buenos medidores e indicadores se caracterizan por: Poderse medir, tener significado (breve definición sobre que es y que pretende medir) y poderse controlar. Los indicadores se pueden clasificar en:

- **Indicadores de proceso:** Mide lo que está sucediendo con las actividades. Teniendo un diagrama de flujo del proceso, se pueden establecer puntos de control, donde se mide la variación existente en el proceso.
- **Indicadores de resultados:** Mide las salidas del proceso. Definiendo las salidas importantes del mismo que pueden ser: Acogerse a descuentos, mejorar las relaciones con los proveedores, proveedores pagados a tiempo, incrementar el flujo de caja y proveedores satisfecho. Se debe tener buenas relaciones con los proveedores para que así ellos nos provean los insumos a tiempo sin tener atrasos por causa de ellos.
- **Indicadores de eficacia:** Mide el logro de los resultados, si se hicieron las cosas que se debían hacer, enfocado en qué se debe hacer.
- **Indicadores de eficiencia:** Mide el rendimiento de recursos utilizados, tiene que ver con la productividad.

### **EFICACIA + EFICIENCIA = EFECTIVIDAD**

- **Eficiencia:** Es la capacidad para lograr un fin empleando los mejores medios posible. Aplicable preferiblemente, salvo contadas excepciones a personas y de allí el término eficiente. Usar acertadamente los recursos para generar el output (salidas). Para la eficiencia existen también una serie de medidas que se realizan con el fin de eliminar desperdicios y actividades

que no agregan valor, esto es de gran importancia en el campo de la construcción pues hay actividades que generan gran cantidad de desperdicios. Entre las medidas de eficiencia que existen se pueden observar las siguientes: Tiempo de procesamiento, recursos gastados por unidad de output (salida), costo del valor agregado por unidad de output (salida), porcentaje de tiempo con valor agregado, costo por productos de mala calidad y tiempo de espera por unidad.

- **Eficacia.** Es la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera, sin que priven para ello los recursos o los medios empleados. Esta es una acepción que obedece al uso, debe referirse más bien a equipos.
  
- **Efectividad.** Es la cuantificación del logro, de la meta. Compatible el uso con la norma; sin embargo, debe entenderse que puede ser sinónimo de eficacia cuando se define como capacidad de lograr el efecto que se desea. Generar satisfacción en las necesidades del cliente, está relacionada directamente con la calidad. Existen medidas de efectividad que son una pieza clave en la realización de un proceso, entre las que están: la apariencia, puntualidad, exactitud, rendimiento, confiabilidad, posibilidad de uso, posibilidad de servicio, durabilidad, datos, comprensión, adaptabilidad y responsabilidad; las cuales se deben realizar antes de que el output (salida) sea enviado al cliente, para asegurar un mejor servicio y buenos resultados.
  
- **Adaptabilidad.** Flexibilidad para dirigir las expectativas cambiantes de los clientes, teniendo en cuenta el presente y el futuro; Lo que indica que cualquier producto u obra que se realice, debe tener los requerimientos y funcionar a futuro, no sólo debe satisfacer al cliente en el momento sino que le debe ser útil por mucho tiempo, o por lo menos el que el cliente especifique y requiera.

Los indicadores deben elaborarse teniendo en cuenta que los medidores deben ser representados mediante algún valor numérico, además los indicadores deben permitir tomar decisiones y ser fácil de crear, mantener y usar; también se deben comparar con los actuales evitando duplicarlos.

La aplicación de los temas y metodologías tratados en este capítulo, servirán de guía para realizar una adecuada planeación y de esta manera predecir o adelantarse a los resultados finales, mitigando imprevistos y reaccionando de la mejor manera a cualquier impase que se pueda presentar. La experiencia que se tenga en el conocimiento, control y mejora de los procesos y

actividades a realizarse en cualquier proyecto o proceso, es indispensable para el éxito de cualquier obra; claro está que se debe continuar con la etapa de programación en la cual se determina el tiempo de ejecución y se tratará en el siguiente capítulo.

### **3.4. EJERCICIOS**

#### **3.4.1. Ejercicios resueltos.**

Ejercicio 1. Escoger tres procesos de los enunciados para la construcción de una casa, según el ejemplo 1.9 tabla 4. Identificar los límites anterior y posterior a en cada uno de ellos.

Desarrollo:

Figura 23. Desarrollo del ejercicio 1

- Proceso: CIMENTACIÓN



- Proceso: COLUMNAS



- Proceso: VIGAS



Fuente: Los autores

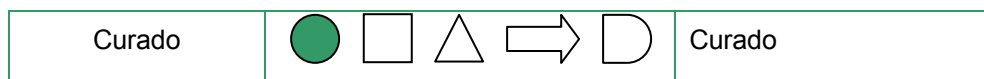
Ejercicio 2. Escoger alguno de los procesos seleccionados en el ejercicio anterior y según las tareas planeadas en el ejemplo 1.9, tabla 1.4. Realizar la respectiva planeación a nivel de actividades y hacer las cartas de procesos, que permitan visualizar la planificación realizada.

**Desarrollo:**

**Proceso: Cimentación**

Tabla 8. Solución del ejercicio 2.

Tareas	Símbolos	Actividades
Preparación del solado		Consecución de materiales
		Bodegaje
		Transporte interno de materiales
		Elaboración del solado
Vaciado del solado		Vaciado del solado.
Acero de refuerzo		Consecución del acero
		Corte del acero
		Colocación del acero
Formaleteado		Armado de la formaleta
		Colocación de la formaleta
Preparación del concreto		Consecución de materiales
		Bodegaje
		Transporte interno de materiales
		Elaboración de la mezcla
Vaciado del concreto		Vaciado del concreto



Fuente: Los autores

Ejercicio 3. Identificar las actividades mostradas en el ejercicio anterior, en administrativas (con su respectiva clasificación) y productivas (con su respectiva clasificación), según lo explicado en el capítulo.

Tabla 9. Solución del ejercicio 3.

ACTIVIDAD	ADMINISTRATIVA	PRODUCTIVA
Compra de materiales	X	
bodegaje		X
Transporte de materiales		X
Elaboración del solado		X
Vaciado del solado		X
Consecución del acero	X	
Corte del acero		X
Colocación del acero		X
Armado de la formaleta		X
Colocación de la formaleta		X
Consecución de los materiales	X	
Bodegaje		X
Transporte interno de los materiales		X

Elaboración de la mezcla		X
Vaciado del concreto		X
Curado		X

Fuente: Los autores

Tabla 10. Complemento del ejercicio 3.

ACTIVIDAD	CONTRIBUTIVAS	NO CONTRIBUTIVAS	DE APOYO
Bodegaje		X	
Transporte de material			X
Elaboración del solado		X	
Vaciado del solado			X
Corte del acero			X
Colocación del acero	X		
Armado de la formaleta			X
Colocación de la formaleta			X
Vaciado del concreto	X		
Curado			X

Fuente: Los autores

### 3.4.2. EJERCICIOS PROPUESTOS

Ejercicio 4. Escoger algunos procesos de los enunciados para la construcción de una casa, según el ejemplo 1.9 tabla 1.4. Identificar los límites anterior y posterior en cada uno de ellos, teniendo como guía el ejercicio resuelto 1.

Ejercicio 5. A los procesos seleccionados en el ejercicio anterior y según las tareas planeadas en el ejemplo 1.9, tabla 1.4. Realizar la respectiva planeación a nivel de actividades y hacer las cartas de procesos, que permitan visualizar la planificación realizada, de la misma manera que se realizó

en el ejercicio resuelto 2 y hacer lo mismo con el proceso de las vigas y columnas que se enunciaron en el ejercicio 1.

Ejercicio 6. Según las actividades que encontraron de la solución del ejercicio anterior 5. Nombrarlas como: administrativas (con su respectiva clasificación) y productivas (con su respectiva clasificación), según lo explicado en el capítulo.

## 4. PROGRAMACIÓN DE PROCESOS

Es común que las labores que se realizan día a día, no salgan del todo como se planean y con mayor frecuencia esto se presenta en proyectos grandes, ya que en cualquiera de los procesos que lo componen se dan imprevistos y aunque se quisiera no se pueden evitar, pero generalmente esto se debe a una deficiencia en la planeación y la programación del proyecto. Si dentro de lo planeado y programado se tienen en cuenta aquellos imprevistos es más fácil solucionarlos sin que todo el proyecto se vea afectado. Por esta razón seguida de una buena y detallada planeación de los procesos y el proyecto en general, se encuentra la programación que consiste en asignar un tiempo a cada una de las actividades definidas en la etapa de planeación, lo que permite tener un control sobre la duración total del proyecto y su avance en el tiempo. Para realizar este paso es necesario hacer una evaluación de las actividades, revisando exactamente cual debe ser su secuencia lógica al ubicarlas dentro de una red determinando el calendario o instantes de tiempo en que debe realizarse cada una.

Esta ubicación y secuencia de las actividades se debe hacer teniendo en cuenta los diferentes tipos de restricciones que éstas pueden experimentar según la variación de ciertos factores como recursos, costos, cargas de trabajo, entre otros.

### 4.1. RESTRICCIONES<sup>7</sup>

- ✓ **Físicas:** Se refiere a la precaución que se debe tener en el momento de realizar más de una labor en un tiempo determinado, por la interferencia de espacio que se pueda presentar. un ejemplo, es no poder programar que las actividades de levantar una columna y terminar una cimentación se realicen a la par, ya que si no se ha terminado por completo el proceso de cimentación no es posible fundir una columna.

---

<sup>7</sup> ANTILL M, James, WOODHEAD W. Ronald. Método de la ruta crítica y sus aplicaciones a la construcción. Segunda edición en español. México. Limusa 1995. p24.

- ✓ **Seguridad:** En una obra es alto el porcentaje de personas trabajando y a la vez altos los riesgos a los que están expuestos según el proyecto que se esté realizando. El programador tiene responsabilidad de brindar garantías de seguridad a los trabajadores en la construcción, por ejemplo, si el proyecto es la construcción de una vivienda no deben programarse actividades de cubierta al tiempo con actividades que se desarrollen en la parte baja de la vivienda.
  
- ✓ **Recursos:** En la mayoría de los proyectos, el factor determinante es el dinero, ya que de su disponibilidad dependerá la cantidad de recursos con que pueda contarse (mano de obra, materiales, herramienta menor, herramienta mayor, maquinaria...) un caso puede ser analizar si se cuenta con sólo una mezcladora de concreto (**Mixer**) no es posible hacer varias fundiciones al tiempo, se debe dar una prioridad para lograr mayor eficiencia en su uso, esto se debe analizar para todos los recursos según su disponibilidad y la importancia de las actividades que lo necesitan.
  
- ✓ **Administración:** Bajo la decisión del administrador de obra puede estar la asignación de duraciones de actividades o del proyecto en total, según compromisos o cláusulas de subcontratos de personal, arrendamiento de equipos, prioridades etc.

*Ejemplo 2.1:*

Al tener en cuenta las restricciones explicadas, se puede llegar a un resultado como el siguiente.

Tabla 11. Secuencia entre actividades

<b>Actividad:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Armado del refuerzo</li> </ul>
<b>Actividades que se deben haber terminado:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte del acero</li> <li>• Fleje del acero</li> </ul>
<b>Actividades que se pueden hacer simultáneamente:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación de formaleta</li> <li>• Transporte de materiales</li> </ul>
<b>Actividades que dependen de la terminación de la actividad:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fundición del elemento estructural.</li> </ul>

Fuente: Los autores

Luego de conocer la precedencia entre actividades, a cada una se le debe asignar una letra para representarla. En la programación se manejan matrices de precedencia para mostrar mejor la información obtenida.

Tabla 12. Matriz de Precedencia tipo 1

Actividad	Representación	Actividad predecesora
Corte del acero	A	--
Fleje del acero	B	A
Armado del refuerzo	C	B
Fundición del elemento estructural	D	C

Fuente: Los autores

La precedencia también se puede representar en un cuadro donde las precedencias entre actividades se marcan con una X. La actividad predecesora está en la columna y la actividad siguiente en la fila, se lee A precede a B, B precede a C y C precede a D.

Figura 24. Matriz de precedencia tipo 2

	A	B	C	D	E
A			X		
B				X	
C					
D					
E			X	X	

Fuente: Los autores

#### 4.2. OBJETIVOS DE LA PROGRAMACIÓN

- ✓ Obtener un conocimiento más o menos acertado de la duración que tendrán las actividades y el proceso en general, conocer las fechas de inicio y terminación, para poder realizar un mejor control durante la ejecución de obra.
- ✓ Identificar las actividades críticas, que componen la ruta crítica, es decir, aquellas cuyo retraso en la ejecución suponen un retraso del proceso completo. 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 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 que se manejan como son, contratos de obreros, compra y transporte de materiales, alquiler de maquinarias, etc.
- ✓ Continuar con la meta de lograr un buen proyecto tomando como base para la programación lo logrado en la planeación previa.

#### **4.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA**

Luego de ubicadas las actividades en la secuencia que se considere más adecuada según lo que se vio anteriormente, se debe asignar un tiempo de ejecución a cada actividad, esto puede hacerse según varios criterios como son: la experiencia que pueda tener en el proceso el personal encargado de la programación; la similitud con otras obras o proyectos, ya que con base a ellos se puede hacer una apreciación del tiempo que puede demorar determinada actividad y conjunto de actividades dentro del proyecto; o por datos estadísticos que se tengan de procesos estandarizados; la mejor de las opciones sería contar con los tres tipos de información para poder hacer una apreciación más exacta del tiempo que puede demorar la ejecución de una actividad y de esta manera obtener una duración total del proyecto bastante acertada.

La asignación de personal es muy importante a la hora de determinar un tiempo a cada actividad, pues dependiendo de las cuadrillas de trabajo que se asignen se tendrá un rendimiento de trabajo y se debe tener en cuenta la uniformidad en la cantidad de personas que trabajan cada día en la obra.

La programación consiste por lo tanto en fijar, de modo aproximado, los instantes de inicio y terminación de cada actividad. Algunas actividades pueden tener disponible un tiempo amplio para su ejecución y otras actividades tendrán asignado un tiempo preciso en el proceso para

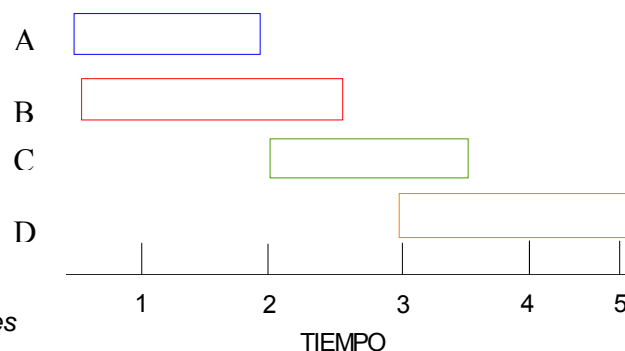
desarrollarlas (fijas en el tiempo). Una de las principales y notorias consecuencias de no llevar a cabo una debida planeación y programación se ve reflejada en un alza de costos.

Hay varias formas de hacer la representación de las actividades que componen un proceso. Inicialmente se elaboró un diagrama de barras que fue mejorado con la creación de diagramas orientados a eventos y diagramas orientados a actividades.

**4.3.1. Diagrama de Gantt.**<sup>8</sup> El diagrama de **Gantt** es un diagrama de barras desarrollado por Henry **Gantt** durante la I Guerra Mundial para la programación del arsenal **Frankford**. En él se muestran las fechas de comienzo y finalización de las actividades y las duraciones estimadas, pero no aparecen dependencias entre ellas. Es una forma de presentar el plan de ejecución de un proceso, colocando en las filas la relación de actividades a realizar y en las columnas la escala de tiempos que se está manejando; la duración y posición en el tiempo de cada actividad se representa mediante el dibujo de líneas.

La utilidad de un gráfico de este tipo es mayor cuando se añaden los recursos y su grado de disponibilidad en los momentos oportunos. Como ventajas está la facilidad de construcción, comprensión y el mantenimiento de la información global del proceso; como desventajas, no muestra la dependencia que existe entre las actividades y el concepto de porcentaje de realización es un concepto subjetivo.

Figura 25. Diagrama de Gantt



Fuente: Los autores

<sup>8</sup> 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.

Este tipo de diagrama sirvió como base para la elaboración de redes direccionadas como las de PERT, CPM y barras conectadas como las que se usa en el software de programación PROJECT, donde entre dos o más actividades se pueden presentar cuatro tipos principales de precedencia que se muestran a continuación.

- ✓ Fin a Comienzo: La actividad siguiente no puede iniciar hasta que la anterior no haya concluido, una forma de representarlo es la siguiente:

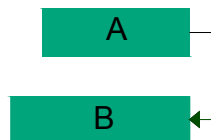
*Figura 26. Conexión fin a comienzo*



*Fuente: Software Project*

- ✓ Fin a Fin: Este tipo de precedencia indica que dos o más actividades deben terminar en la misma fecha y con su representación en la red se podrá saber cuales deben ser sus fechas de inicio para cumplir con el requisito.

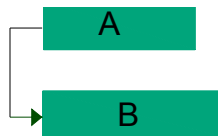
*Figura.27. Conexión fin a fin*



*Fuente: Software Project*

- ✓ Comienzo a Comienzo: Cuando las actividades deben empezar en la misma fecha:

Figura 28. Conexión comienzo a comienzo



Fuente: Software Project

- ✓ Comienzo a Fin: En el diagrama se presenta que la actividad anterior no puede dar inicio hasta que no termine la siguiente:

Figura 29. Conexión comienzo a fin



Fuente: Software Project

**4.3.2. Diagramas de redes orientados a eventos y actividades.** Son los diagramas que constan de actividades y relaciones, representadas por nodos y flechas que simbolizan las actividades y la secuencia y/o simultaneidad entre ellas.

- **Elaboración de diagramas.** En la representación de los procesos y actividades mediante diagramas de red debe verse claramente todas las restricciones existentes. Hay dos formas de hacer la representación de las actividades; mediante nodos *figura 30 (a)* unidas por una flecha, o mediante flechas *figura 30 (b)* unidas por un nodo, donde R es la relación que presentan.

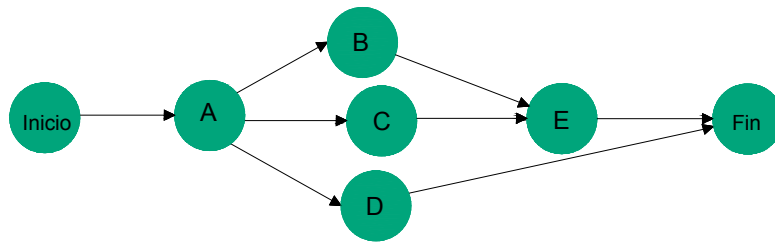
Figura 30. Tipo de relación de entra actividades, a flechas, b f nodos .



Fuente: Los autores

Cuando se usa los nodos para representar las actividades, “**Diagrama de nodos**” cada flecha se usa sólo para conectar dos nodos, se pueden cruzar las flechas respetando siempre 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.

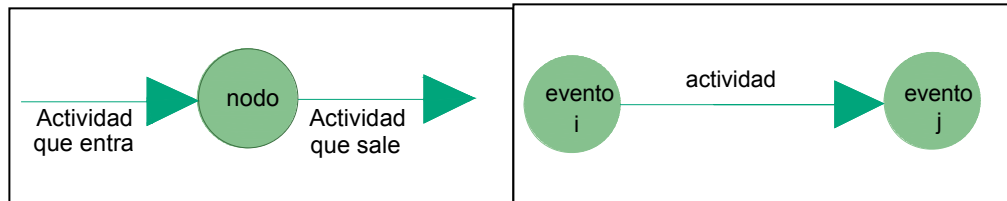
Figura 31. Diagrama de nodos



Fuente: Los autores

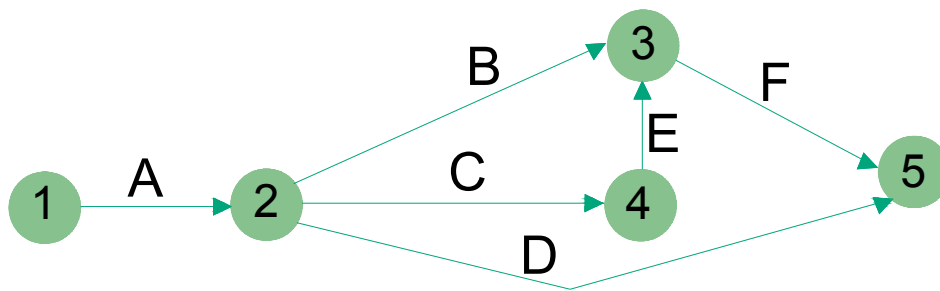
Si en el diagrama las actividades están representadas por flechas, estamos hablando de un “**Diagrama de flechas**” y por consiguiente cada actividad debe iniciar y terminar en un nodo que desde ahora se nombrará como “**Evento**”. Cuando se trabaja diagrama de flechas los nodos representan eventos y serán igual al número de flechas.

Figura 32. Actividad en el diagrama de flechas



Fuente: Los autores

Figura 33. Diagrama de flechas



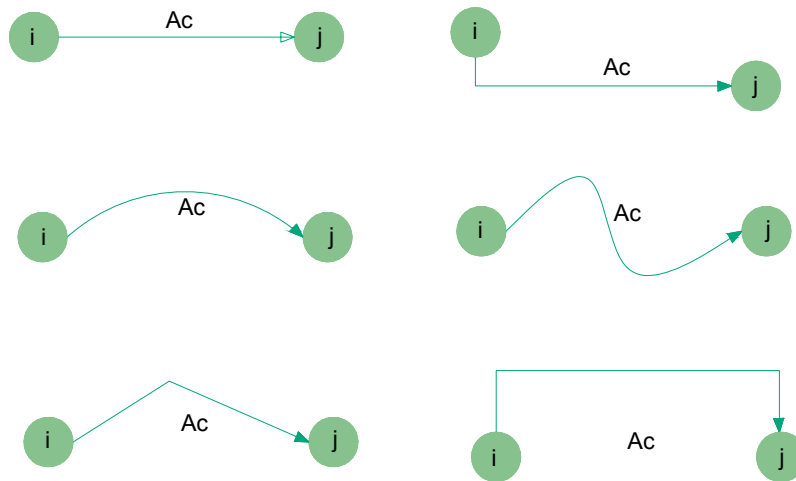
Fuente: Los autores

El evento inicial se llama *i* y el evento final *j*. El evento final de una actividad será el evento inicial de la actividad siguiente a la derecha. Con el evento se puede controlar la secuencia de las actividades ya que hasta que no terminan todas las actividades que llegan a él, no pueden iniciar las actividades que salen del evento, también determina el tiempo variable entre el más temprano y el más tardío posible, de iniciación o de terminación. En un conjunto de actividades Sólo puede haber un evento inicial y un evento final en el proceso, 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 del proceso, todos deben ir relacionados, su numeración es arbitraria, normalmente se enumera la red de izquierda a derecha.

El nombre de la actividad se ubicará sobre la flecha, indicando que desde *i* hasta *j* va la actividad. Ninguna actividad puede representarse dos veces en la red. No interesa la forma de estas, 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.

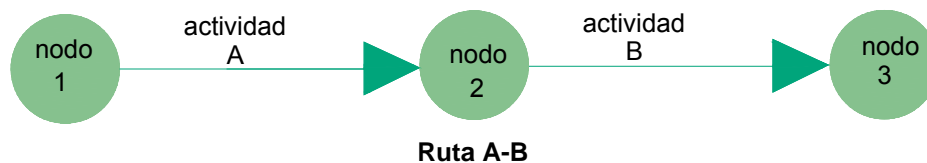
Figura 34. Tipos de flechas



Fuente: Los autores

Las actividades se dibujan de manera que representen las relaciones de dependencia 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 proceso.

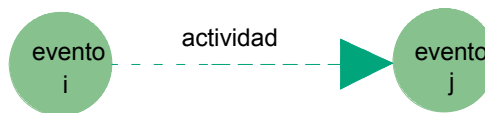
Figura 35. Red de actividades



Fuente: Los autores

Hay casos en los que hay necesidad de indicar que una actividad tiene una interrelación o continuación con otra, para esto se dibuja entre ambas una línea punteada, llamada liga, que tiene una duración de cero.

Figura 36 .Línea de liga

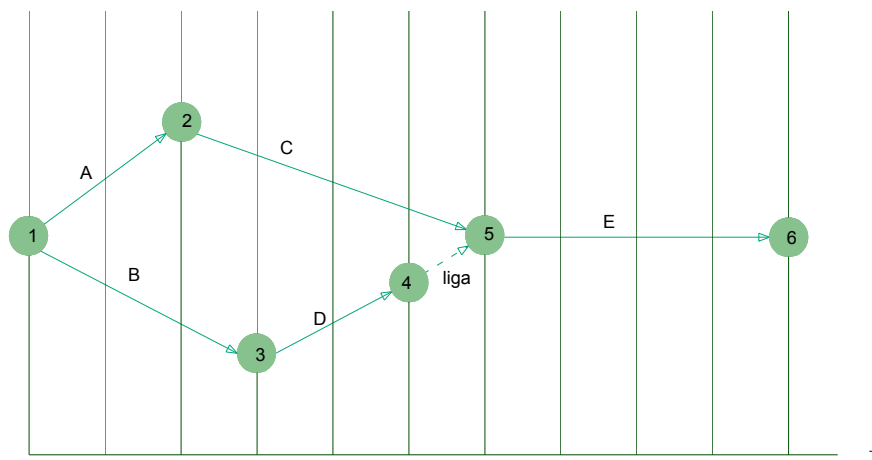


Fuente: Los autores

Esta flecha punteada puede representar en algunas ocasiones un tiempo de espera para poder iniciar la actividad siguiente, cuando se manejan redes dibujadas sobre una matriz de tiempos.

Ejemplo 2.2: Uso de la línea de liga.

Figura 37. Red de actividades en una matriz de tiempo

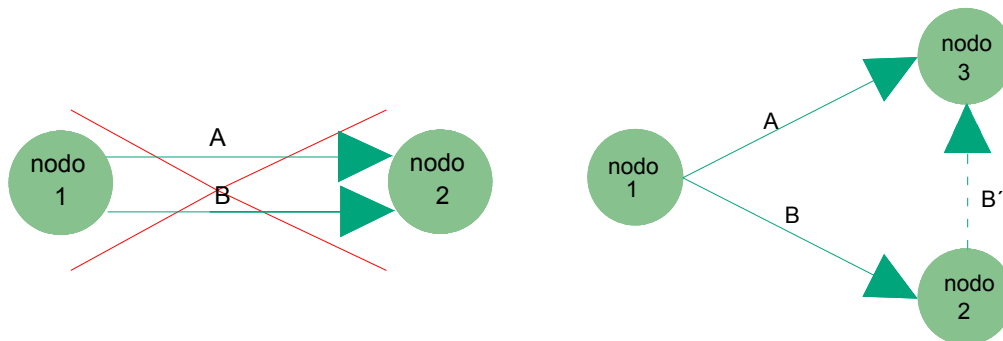


Fuente: Los autores

En la red de la figura anterior la actividad E esta precedida por las actividades D y C, esta relación se conserva mediante el evento 4, aunque la actividad D termina primero se debe esperar la finalización de la actividad C para poder dar inicio a E, esto se representa mediante una actividad de liga entre en evento 4 y el evento 5.

Varias actividades pueden terminar en un evento o partir de un mismo evento. Pero lo que no debe ocurrir es que dos actividades partan del mismo evento y lleguen a un evento común; es decir, dos actividades diferentes no pueden identificarse por los mismos eventos de terminación y de inicio, esto se puede prestar para confusiones en cuanto al tiempo o duración de cada una de ellas, por eso es recomendable dibujar una actividad ficticia que separe las dos actividades y permita ver mejor su secuencia. Este tipo de actividades no consume tiempo ni recursos.

Figura 38. Uso de una actividad ficticia

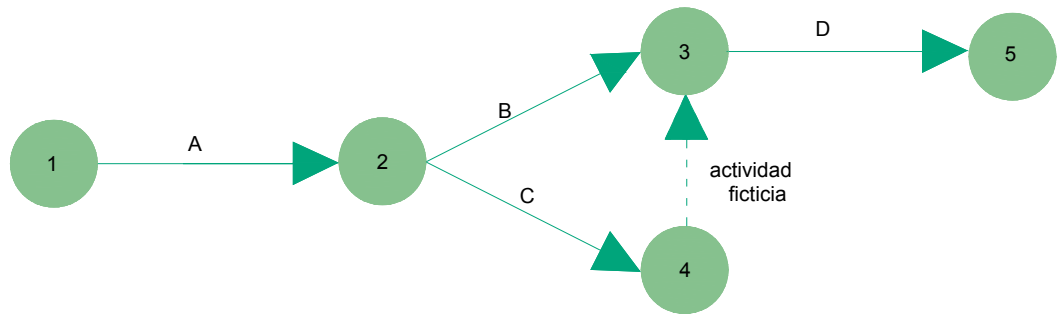


Fuente: Los autores

*Ejemplo 2.3: Ubicación de una actividad ficticia.*

En la red de la figura 38 las actividades B y C están precedidas de la actividad A, mientras que la actividad D esta precedida por B y C; se da entonces una actividad ficticia de B, para conservar la relación.

Figura 39. Ejemplo del uso de actividades ficticias



Fuente: Los autores

Ejemplo 2.4: Elaboración de redes

Para la siguiente lista de actividades elaborar la red.

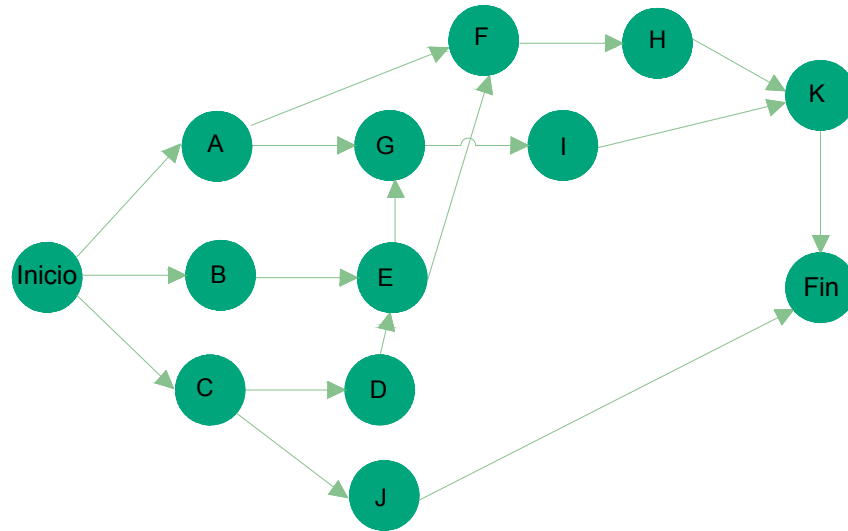
Tabla 13. Matriz de precedencia ejemplo 2.4

ACTIVIDAD	PRECEDENCIA
A	-
B	-
C	-
D	C
E	D, B
F	A, E
G	A, E
H	F
I	G
J	C
K	H, I

Fuente: Los autores

Representando las actividades por nodos se obtiene.

Figura 40. Diagrama de Nodos ejemplo 2.4

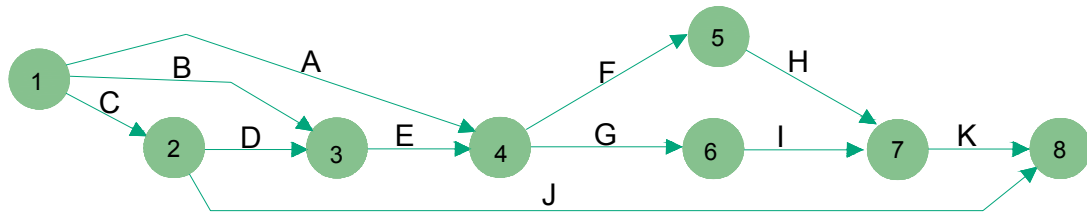


Fuente: Los autores

Para elaborar este diagrama el primer paso es colocar un evento que indique el inicio del proceso, a partir del cual se enlazan los eventos que representan aquellas actividades que no tienen predecesor, (A, B y C); como G y F están precedidas por la actividad A deben ir directamente conectadas por una flecha con dirección hacia la derecha, igual pasa con B - E, C - D y C - J. De esta forma se representan todas las precedencias existentes hasta llegar al fin del proceso, que está representado por un evento final, al que llegan aquellas actividades que no tienen actividades sucesoras. No pueden quedar actividades sueltas dentro de la red, todas deben estar entrelazadas desde el evento inicio hasta el evento fin.

El diagrama de flechas para la matriz de la tabla 13 es:

Figura 41. Diagrama de flechas ejemplo 2.4



Fuente: Los autores

Debe existir un evento inicial (1) que representa el inicio del proceso, de este deben salir las actividades del proceso que no tienen predecesor (A, B, C), como C es predecesor de D y J, debe existir un evento que represente la terminación de C y el inicio de D y J, de igual manera para las demás actividades que tienen relación de precedencia. Al final del proceso se ubica un evento al que llegan aquellas actividades que no tienen actividades sucesoras (evento 8). Cada actividad debe tener un evento inicial y un evento final.

#### 4.4. MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN

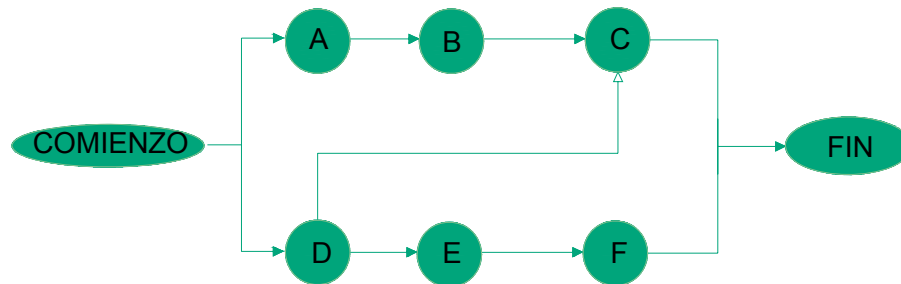
Existen varios métodos de programación utilizados en la actualidad, pero dependiendo del tipo de proyecto, algunos son más recomendados que otros. Enumerando algunos tenemos:

- ✓ PERT
- ✓ CPM
- ✓ GERT
- ✓ PDM
- ✓ ADM
- ✓ Q-GERT
- ✓ SLAM
- ✓ RESOURCE LOADING

**PDM<sup>9</sup> (Precedente Diagraming Method):** Se basa en la utilización de una red en la que figuran las actividades en los nodos y los arcos representan demoras de tiempo entre los puntos (comienzo o fin de nodo) que unen, a la vez que muestran las dependencias (fin-comienzo, comienzo-fin). Permiten reflejar distintas relaciones de precedencia entre tareas.

Entre las ventajas esta que el método PDM tiene más flexibilidad que el método PERT para la modelización de grandes proyectos, la representación gráfica es más sencilla y no hay actividades ficticias.

Figura 42. Diagrama PDM



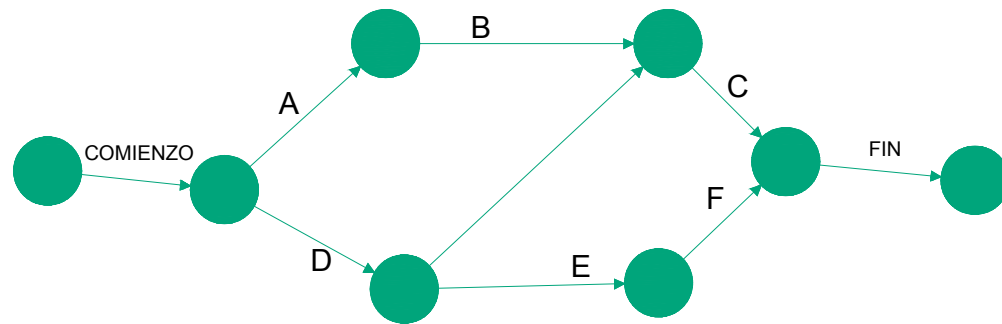
Fuente: Getec

**ADM, (Getec) ibit, (Arrow Diagraming Method):** Está orientada a las actividades y se aplica en la industria de la construcción, en la que de forma habitual el tiempo de cada actividad es muy controlable. Las actividades se representan con flechas que se conectan con nodos para mostrar las dependencias.

---

<sup>9</sup> Grupo de Gestión de la Tecnología Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Técnicas de Programación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. [www.getec.etsit.upm.es](http://www.getec.etsit.upm.es).

Figura 43 Diagrama ADM



Fuente: Getec

En este capítulo se explicará en detalle dos de los métodos o técnicas usadas en el campo de la construcción.

- ✓ Método CPM (**critical path method, método de la ruta crítica**)
- ✓ Método PERT (**Project evaluation and review technique, evolución y revisión de proyectos**), la programación de proyectos por PERT-CPM consiste en tres fases básicas: Planeación, Programación y Control.

**4.4.1. Desarrollo histórico de PERT y CPM.** Los dos métodos fueron desarrollados simultáneamente en Estados Unidos a final del año de 1950, para resolver problemas de administración.

Según CHASE. *Op. Cit, p. 848.* El método de la ruta crítica, **CPM**, se desarrolló para la programación del mantenimiento en las plantas de productos químicos de propiedad **Du Pont** durante paros, buscando el control y la optimización de los costos de operación mediante la planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto. Debido a que los proyectos de mantenimiento se realizan a menudo en esta industria, hay tiempos estimados razonablemente exactos para estas actividades, el CPM se basa en la suposición de que los tiempos para las actividades del proyecto pueden estimarse con precisión y de que no registrarán variaciones. La aceptación del método de la ruta crítica en la construcción se debe a su capacidad para

representar los proyectos y al amplio margen de información que se puede obtener de él. Brinda una estructura básica para un sistema de información integrado, el MRC es un proceso gráfico que contiene las actividades proyectadas ordenadas en una secuencia lógica.

El método **PERT**, fue desarrollado por la armada para controlar los tiempos de ejecución de las diversas actividades que conformaban el proyecto de misiles **Polaris** que fue un plan masivo en el que estaban involucrados más de 3000 contratistas; debido a que la mayoría de las actividades no se habían desempeñado antes, el método PERT se desarrolló para controlar las variables de tiempos inciertos. Con el paso de los años las características que distinguían al CPM de PERT han disminuido.

**4.4.2. Método CPM. (Critical Path Metod; Método del Camino o Ruta Crítica)**, En este método, las redes son medios adecuados para presentar un proyecto, maneja problemas determinísticos y los tiempos se pueden variar cambiando el nivel de recursos utilizados. Al asignar un tiempo de ejecución a cada actividad, CPM asume conocidos los tiempos exactos de cada una de ellas a medida que el proyecto avanza. Estos estimados se utilizan para controlar y monitorear su progreso, si ocurre algún retardo en el proyecto se hacen esfuerzos por lograr que el proyecto quede de nuevo en orden cambiando la asignación de recursos. Para aplicar o hacer programación por medio del CPM es necesario tener en cuenta la siguiente metodología:

- ✓ Definir el proceso: Para cada una de las actividades, tener un conocimiento preciso y claro de cómo se va a ejecutar, cuál es su finalidad, su viabilidad, los elementos disponibles, la capacidad financiera etc.
- ✓ Crear la lista de tareas y actividades: Desagregar los procesos en un conjunto de actividades indivisibles teniendo claro cómo y quién desarrollará cada una de ellas. Esto se puede hacer mediante una WBS.

*Ejemplo 2.5: WBS*

**Proceso: Fundición de vigas**

**Tareas:**

- ✓ Armado del refuerzo de las vigas
- ✓ Encofrado
- ✓ Preparación de la mezcla
- ✓ Fundición de la viga
- ✓ Desencofrado

**Actividades:***Armado del refuerzo de las vigas*

- ✓ Transporte de acero
- ✓ Figurado del acero
- ✓ Colocación y amarre del acero

*Encofrado*

- ✓ Lubricación de formaletas
- ✓ Colocación de formaletas

*Preparación de la mezcla*

- ✓ Transporte de cemento
- ✓ Transporte de agregado
- ✓ Transporte de agua
- ✓ Preparación de la mezcla

*Fundición de la viga*

- ✓ Fundición de la viga

*Desencofrado*

- ✓ Vibrado de formaletas
- ✓ Desencofrado de vigas

- ✓ Especificar las restricciones de precedencia entre actividades e identificar la secuencia entre ellas; estas secuencias se pueden analizar por antecedentes, conociendo cuál de las actividades deben terminarse para dar inicio a otra, o por secuencias, conociendo cuales actividades pueden hacerse una vez terminadas las anteriores. Generalmente se realiza una

matriz que tiene como columnas las actividades, las precedencias o secuencias y la duración de cada una de ellas.

- ✓ Especificar los tiempos de inicio y terminación de cada actividad, así mismo su duración, dentro del proceso (estos tiempos se deben usar en una misma unidad, horas, días...). La longitud de las flechas se puede enmarcar en una cuadrícula para que se pueda diferenciar su duración (red de flechas, con matriz de tiempos) o simplemente hacer la representación y colocar la duración en la parte de debajo de la flecha (Diagrama de flechas), o dentro del nodo (Diagrama de nodos).

*Ejemplo 2.6:*

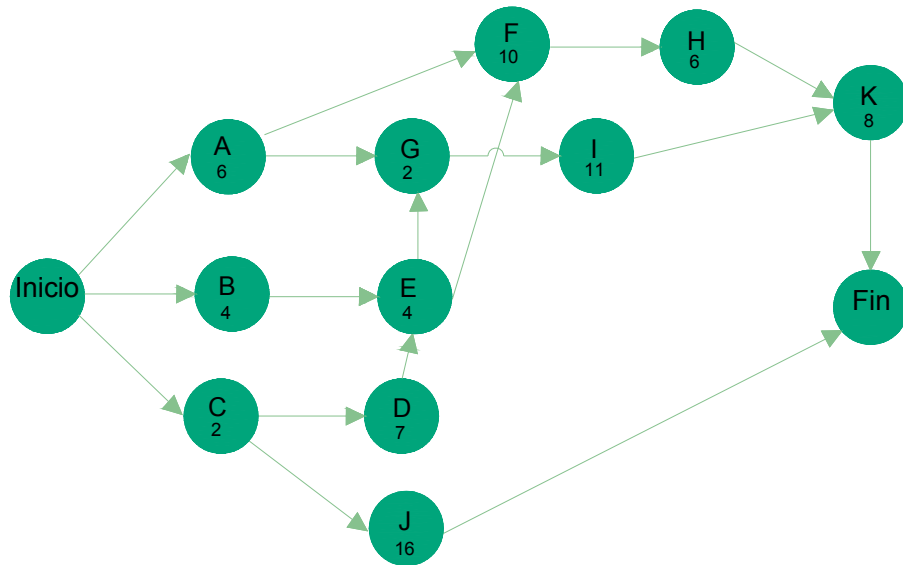
Para el ejemplo 2.4 se han asignado unas duraciones basadas en la experiencia del programador, que deben ubicarse en los diagramas.

*Tabla 14. Matriz de Precedencia y tiempos ejemplo 2.6*

ACT.	PRED.	DURACIÓN
A	-	6
B	-	4
C	-	2
D	C	7
E	D, B	4
F	A, E	10
G	A, E	2
H	F	6
I	G	11
J	C	16
K	H, I	8

*Fuente: Los autores*

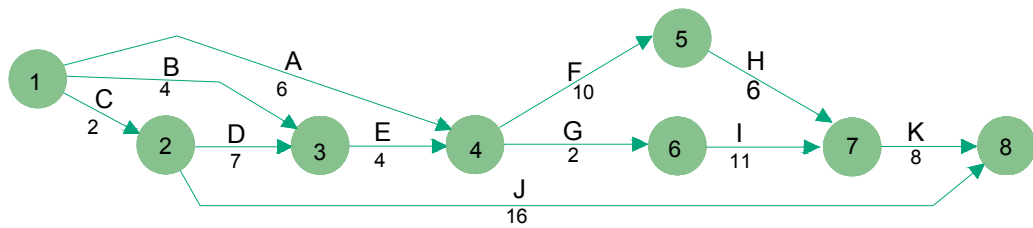
Figura 44. Diagrama de nodos ejemplo 2.6



Fuente: Los autores

La duración de las actividades en el diagrama de nodos se ubica dentro del nodo en la parte baja y en los diagramas de flechas la duración se coloca en la parte inferior de la flecha.

Figura 45. Diagrama de flechas ejemplo 2.6



Fuente: Los autores

Para saber la duración del proceso se analizan las diferentes rutas que se pueden presentar en la red, recorriéndose de inicio a fin.

$$B+E+G+I+K: 4+2+11+8 = 29$$

$$A+G+I+K: 6+2+11+8 = 27$$

$$B+E+F+H+K: 4+4+10+6+8 = 32$$

$$A+F+H+K: 6+10+6+8 = 30$$

$$C+D+E+G+I+K: 2+7+4+2+11+8 = 34$$

$$C+D+E+F+H+K: 2+7+4+10+6+8 = 37$$

$$C+J: 2+16 = 18$$

La duración del proceso será el mayor valor obtenido al recorrer la red de inicio a fin por las diferentes rutas; en este caso se obtuvo una duración de **37** Unidades de tiempo que corresponde a la ruta **CDEFHK**.

**4.4.3. MÉTODO PERT.** (**Program evaluation and review technique**, Técnica de Evaluación y Revisión de Proyectos), Hasta ahora se ha supuesto implícitamente que se puede obtener estimaciones con una exactitud razonable del tiempo requerido para cada actividad del proceso (CPM), pero para una buena programación se requiere un conocimiento preciso de los tiempos que se van a dar en el desarrollo de la obra para cada actividad. En muchas situaciones, no puede predecirse con exactitud la duración de una actividad y muchas de ellas están sujetas a la duda; si una actividad se encuentra en una ruta crítica la duración del proceso y la programación de las actividades siguientes estará sujeta a una incertidumbre.

Realmente existe bastante incertidumbre sobre cuáles serán estos tiempos; de hecho, se trata de una variable aleatoria que tiene cierta distribución de probabilidad. PERT toma en cuenta esta incertidumbre usando tres tipos de estimaciones para los tiempos de las actividades, con el fin de obtener información básica sobre su distribución de probabilidad. Para una misma actividad se determinan tres tiempos de duración (Antill). *Op. Cit p. 412.*

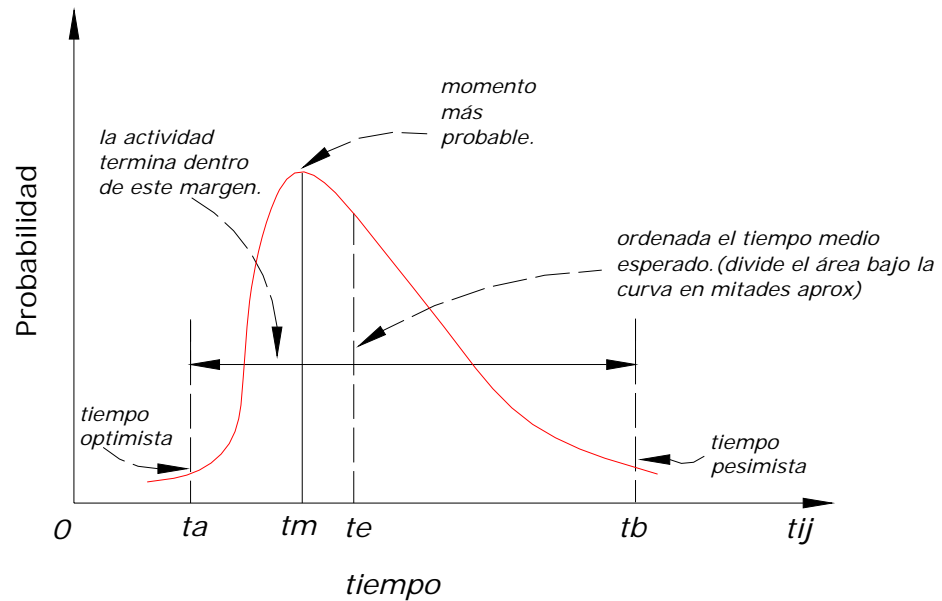
- ✓ Tiempo optimista ( $t_a$ )
- ✓ Tiempo más probable ( $t_m$ )
- ✓ Tiempo pesimista ( $t_b$ )

- **Tiempo optimista ( $t_a$ ):** Es una estimación del tiempo mínimo requerido para realizar una actividad si se tiene buena suerte.
- **Tiempo más probable ( $t_m$ ):** Se basa en la experiencia, el juicio y es el tiempo requerido si la actividad se repite un número de veces en condiciones esencialmente iguales.
- **Tiempo pesimista ( $t_b$ ):** Es una estimación del tiempo máximo requerido si se tiene mala suerte; puede tener en cuenta fallas o retrasos originales, pero no debe estar influido por riesgos mayores.

Teniendo en cuenta estas estimaciones se maneja un tiempo medio esperado " $t_e$ " junto con una media asociada de la incertidumbre de la duración de cada actividad. Esta incertidumbre se expresa como desviación estándar ( $\sigma_e$ ) o varianza ( $Vt_e$ ).

El tiempo medio esperado se propone sea una estimación del tiempo con aproximadamente el 50% de probabilidad de que la duración real lo exceda. (Antill) *Op. Cit p. 411*

Figura 46 Curva de distribución de probabilidades de una actividad (Antill), Op. Cit p. 413.



Fuente: Método de la ruta crítica Antill

En la figura 45 se observa la distribución de los tiempos de una actividad, 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 el tiempo optimista y el pesimista; al ser estos los extremos de la curva tienen poca probabilidad de ocurrir. Esta curva puede ser tomada por su forma, como una curva de distribución beta con la que se pueden hacer varios cálculos matemáticos, que sirven como manejo de información de tiempos.

Se puede calcular el tiempo medio esperado mediante la siguiente ecuación:

$$t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6}$$

La desviación estándar que mide la incertidumbre es:

$$\sigma_{t_e} = \frac{t_b - t_a}{6}$$

La varianza es el cuadrado de la desviación estándar:

$$vt_e = (\sigma_{t_e})^2 = \frac{(t_b - t_a)^2}{36}$$

Si  $t_a + t_b = 2t_m$ , el tiempo medio esperado es igual al tiempo más probable, de lo contrario tendrán valores diferentes como se observa en la figura anterior.

La duración del proceso se calcula sumando el tiempo medio esperado ( $t_e$ ) de cada actividad a través de la ruta más larga, esta será una duración media. Como las actividades de esta ruta son independientes entre ellas se puede tomar para la duración la suma de las varianzas individuales de las actividades de la ruta. La varianza del tiempo medio esperado de cualquier evento es la suma de las varianzas de aquellas actividades que se encuentran en la ruta crítica que consuma más tiempo ( $t_e$ ).

*Ejemplo 2.7:*

Continuando con el ejemplo 2.6, se le han asignado valores para los tiempos optimistas, pesimistas y más probables de cada actividad.

Tabla 15. Matriz de precedencia y tiempos ejemplo 2.7

ACT.	PRED.	Tiempo Optimista (t <sub>a</sub> )	Tiempo Más prob. (t <sub>m</sub> )	Tiempo Pesimista (t <sub>b</sub> )
A	-	3	6	8
B	-	2	4	4
C	-	1	2	3
D	C	6	7	8
E	D, B	2	4d	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: Los autores

Cálculo del tiempo medio esperado:

$$t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6}$$

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

$$t_{e(A)} = 5.83$$

Cálculo de la desviación media:

$$\sigma_e = \frac{t_b - t_a}{6}$$

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

$$\sigma_{t_{e(A)}} = 0.83$$

Cálculo de la varianza:

$$vt_e = (\sigma_{t_e})^2 = \frac{(t_b - t_a)^2}{36}$$

$$vt_e = (\sigma_{t_e})^2 = 0.69$$

La tabla de resultados para todas las actividades es la siguiente

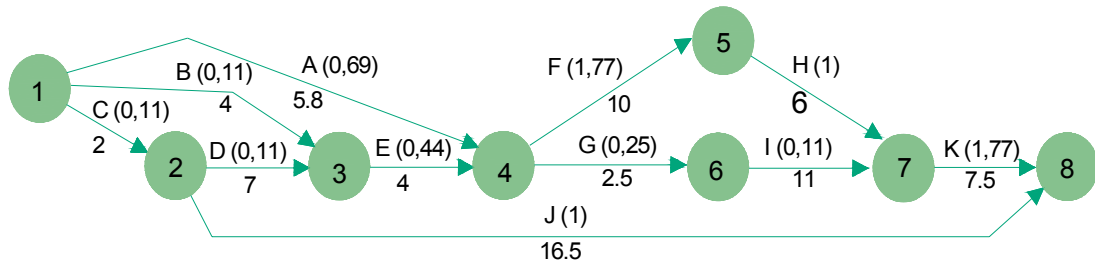
*Tabla 16. Resultados cálculos de PERT*

ACT.	PRED.	Tiempo Optimista	Tiempo Más prob.	Tiempo Pesimista	Tiempo Esperado	Desviación	Varianza
A	-	3	6	8	5,83	0,83	0,69
B	-	2	4	4	3,7	0,33	0,11
C	-	1	2	3	2	0,33	0,11
D	C	6	7	8	7	0,33	0,11
E	D, B	2	4	6	4	0,66	0,44
F	A, E	6	10	14	10	1,33	1,77
G	A, E	1	2	4	2,16	0,50	0,25
H	F	3	6	9	6	1,00	1
I	G	10	11	12	11	0,33	0,11
J	C	14	16	20	16,33	1,00	1
K	H, I	2	8	10	7,33	1,33	1,77

*Fuente: Los autores*

La representación gráfica de la red se puede hacer por nodos o flechas, se presenta la elaboración del diagrama de flechas, que contiene la duración y varianza de cada actividad.

Figura 47. Diagrama de red con  $T_e$  y Varianzas



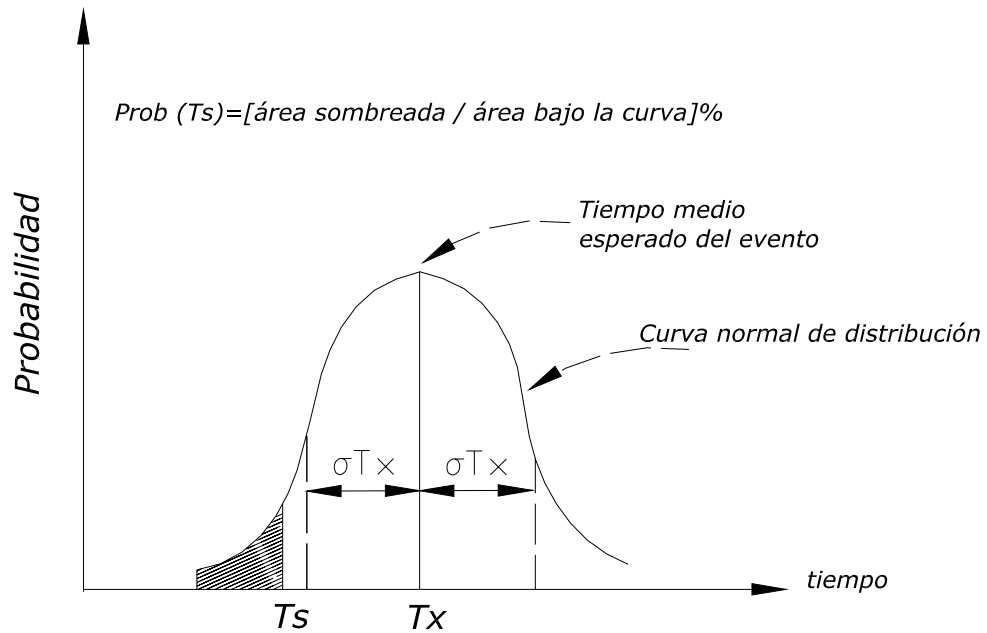
Fuente: Los autores

- B+E+G+I+K:  $4+4+2.5+11+7.5 = 29$
- A+G+I+K:  $5.8+2.5+11+7.5 = 26.8$
- B+E+F+H+K:  $4+4+10+6+7.5 = 31.5$
- A+F+H+K:  $5.8+10+6+7.5 = 29.3$
- C+D+E+G+I+K:  $2+7+4+2.5+11+7.5 = 34$
- C+D+E+F+H+K:  $2+7+4+10+6+7.5 = 36.5$
- C+J:  $2+16.5 = 18.5$

La ruta más larga para esta red es **CDEFHK**, para ella se tiene una duración total de **36.5** unidades de tiempo y si se suman las varianzas de las actividades de esta ruta se obtiene una varianza total de **3.15**.

Con el manejo de programación PERT es posible calcular las probabilidades de realizar el proceso en un tiempo  $T_s$ , mayor o menor al obtenido inicialmente, para esto, es necesario trazar una curva de distribución normal centrada en el tiempo medio esperado obtenido para el proceso inicialmente,  $T_x$ , la probabilidad se obtiene determinando el porcentaje del área cortada por este tiempo, como se ve en la figura 47.

Figura 48. Probabilidad de cumplir un tiempo programado  $T_s$  (Antill). Op. Cit. p. 414.



Fuente: Método de la ruta crítica Antill

Para este cálculo ya existe una tabulación de los valores de diferentes tiempos esperados, las tablas se usan entrando con un valor  $z$ , que esta en función del tiempo medio esperado del proceso ( $T_x$ ), del tiempo que se quiere calcular ( $T_s$ ) y de la varianza del proceso; con esto se obtiene la probabilidad.

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

También es posible calcular un tiempo de duración del proyecto a partir de una probabilidad dada así:

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

*Ejemplo 2.8:*

Retomando el ejemplo 2.7 si se recorre la red por la ruta más larga si encuentra que el proceso en general tiene una duración de 36.5 unidades de tiempo. Es posible calcular la probabilidad de que el mismo proceso tenga una duración de 30

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

$$T_s = 30$$

$$T_x = 36.5$$

$$\sigma T_x = \sqrt{3.15}$$

$$Z = \frac{30 - 36.5}{\sqrt{3.15}}$$

$$Z = -3.66$$

Con este valor se entra a la tabla de distribución normal (Anexo1) y se calcula el valor de la probabilidad.

*Tabla 17. Probabilidad ejemplo 2.8*

Z	PROBABILIDAD	
normal	0,06	0,07
- 3.6	0,0001	0,0001

*Fuente: Administración de las operaciones Meredith*

Como en la tabla no se encuentra el valor exacto de -3.66 se hace una iteración para encontrar el valor de la probabilidad. La probabilidad de terminar el proceso en 30 Unidades de tiempo es de **0.01%**.

#### 4.5. DETERMINACION DE TIEMPOS TEMPRANOS Y TARDIOS

Luego de armar la red del proceso, se ubican los tiempos límites de las actividades, tiempo más temprano y tiempo más tardío de iniciación y terminación. Estos se calculan con el paso adelante y el paso atrás en la red.

El tiempo más próximo de iniciación de una actividad es cuando esta se inicia en la fecha más temprana, para esto es necesario que la actividad anterior a ella haya terminado lo más temprano posible y aun dándose esta situación es probable que la siguiente actividad inicie no en el tiempo temprano, sino en el tardío, esto dependiendo de los imprevistos que se puedan presentar.

##### **Nomenclatura:**

$T_i$  ,  $d_i$ : Duración de la actividad.

**ES<sub>i</sub>**: Tiempo más próximo (temprano) de inicio para la actividad  $i$  (**Early Star**).

Este también será el máximo de los tiempos más próximos de terminación de sus actividades predecesoras inmediatas.

**EF<sub>i</sub>**: Tiempo más próximo (temprano) de terminación de la actividad  $i$  (**Early Star**), que también es el tiempo más temprano de inicio de la actividad siguiente o sucesora,  $ES_j$ .

$$EF_i = ES_j + T_i$$

**LF<sub>i</sub>**: Tiempo más lejano (tardío) de terminación para la actividad  $i$  (**Last Star**).

Este es el mínimo de los tiempos más lejanos de inicio de sus actividades sucesoras inmediatas.

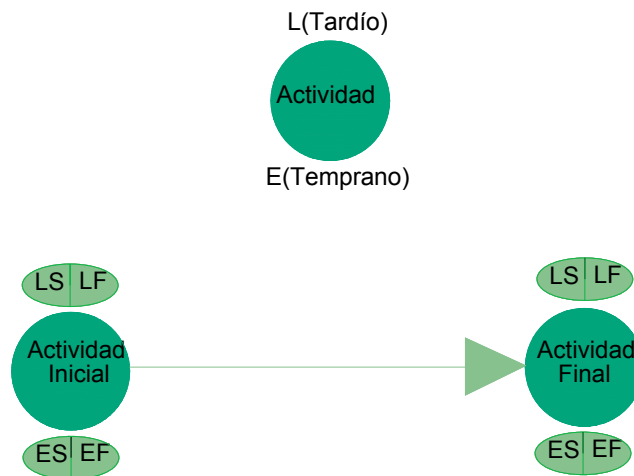
**LS<sub>i</sub>**: Tiempo más lejano (tardío) de iniciación para la actividad  $i$  (**Last Star**).

$$LS_i = LF_i - T_i$$

**4.5.1. Diagrama de nodos.** En el diagrama de nodos la presentación de los tiempos tempranos se ubica bajo los círculos que simbolizan las actividades y los tiempos tardíos sobre los mismos. Para

cada actividad existirán cuatro tiempos dos tiempos tempranos en la parte inferior y dos tiempos tardíos en la parte superior.

Figura 49. Nomenclatura de tiempos para diagramas de nodos



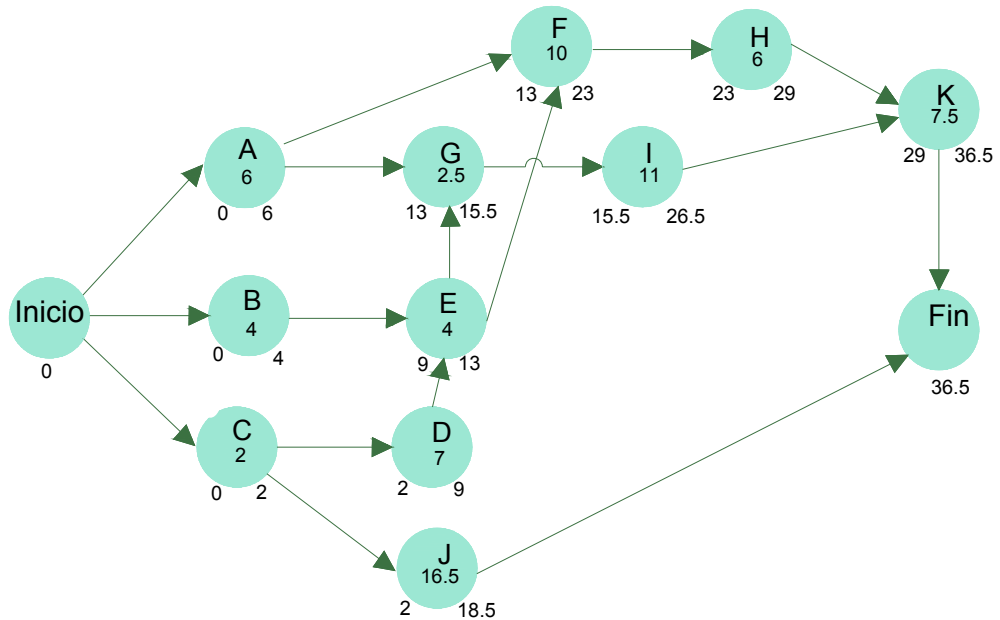
Fuente: Costo y tiempo en edificaciones Suárez Salazar Carlos

Como primer paso colocar un valor de cero en la parte inferior de la actividad inicial (primer nodo), este mismo valor de cero se coloca en la parte inferior izquierdo del nodo siguiente (primera actividad del proceso), que corresponde al tiempo temprano inicial; a este valor se le suma la duración de la actividad para obtener el tiempo temprano final, que se ubica en la parte inferior derecha del mismo nodo. Este valor de terminación temprana se coloca en la siguiente actividad como inicio temprano, de esta manera se avanza de izquierda a derecha hasta llegar a la actividad final.

Ejemplo2.9:

Para la red de actividades del ejemplo 2.7 hallar los tiempos tempranos de inicio y fin para cada actividad.

Figura 50. Cálculo de tiempos tempranos para el ejemplo 2.9



Fuente: Los autores

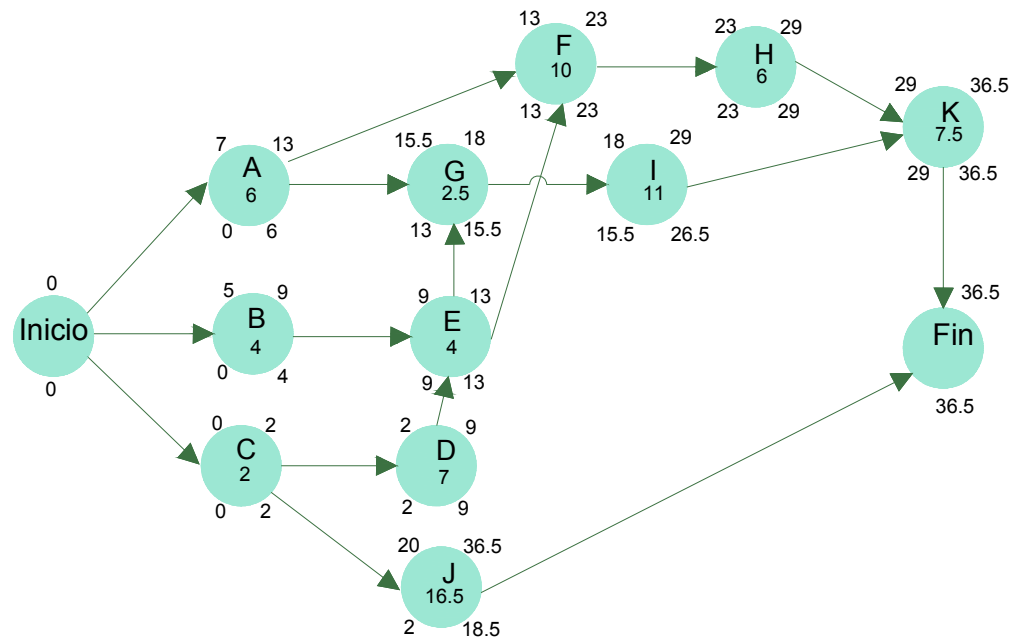
En el nodo al que llegue más de una actividad se coloca el mayor de los tiempos obtenidos en las actividades anteriores, como se ve en la actividad E, donde sus actividades predecesoras D y B tienen un valor de tiempo temprano final de 9 y 4 respectivamente, el tiempo temprano inicial de E es el mayor de ellos: 9, así mismo se pasa con las actividades F, G y K.

Para el cálculo de los tiempos tardíos se inicia en la actividad final donde el tiempo de terminación temprana **EF** es igual al tiempo de terminación tardía **LF**, es decir, con este valor se inicia el paso de atrás a adelante (derecha a izquierda), ubicándolo en la parte superior derecha; al restarle a este tiempo la duración de la actividad se obtiene el tiempo de inicio tardío, que se ubica en la parte superior izquierda del nodo. El tiempo tardío inicial de una actividad corresponde al tiempo tardío final de la actividad que se encuentra a su izquierda.

Para el caso de una actividad que preceda a varias actividades, su tiempo tardío final, será el menor de los tiempos tardío inicial de las actividades sucesoras. Así se avanza hasta llegar al

nodo inicial, donde el tiempo tardío inicial debe ser cero. Cada actividad tendrá representados sus tiempos tempranos y tardíos, los iniciales a la izquierda y los finales a la derecha.

Figura 51. Nomenclatura de tiempos tardíos para nodos



Fuente: Los autores

El tiempo tardío final del nodo fin es igual a su tiempo temprano final (**36**), este valor pasa como tiempo tardío final de K, al cual si se resta la duración de la actividad K se obtiene su tiempo tardío inicial ( $36 - 7.5 = 29$ ), este valor pasa a H como el tardío final. En una actividad como A que precede a G y F, el valor de tiempo tardío final de A será el menor valor de tiempo tardío inicial entre G y F, en este caso **13**.

Los tiempos obtenidos para las actividades de la red se ubican en una tabla para cálculos posteriores de holguras.

Tabla 18. Tiempos de las actividades, ejemplo 2.9

ACTIVIDAD	DURACIÓN	ES	LS	EF	LF
A	6	0	7	6	13
B	4	0	5	4	9
C	2	0	0	2	2
D	7	2	2	9	9
E	4	9	9	13	13
F	10	13	13	23	23
G	2,5	13	15,5	15,5	18
H	6	23	23	29	29
I	11	15,5	18	26,5	29
J	16,5	2	20	18,5	36,5
K	7,5	29	29	36,5	36,5

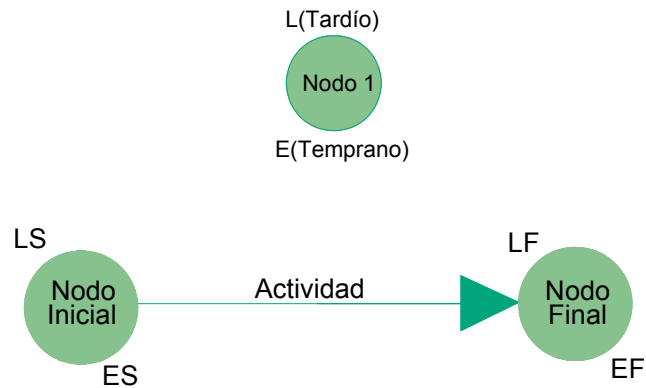
Fuente: Los autores

**4.5.2. Diagrama de flechas.** El diagrama de flechas permite calcular los iniciales tempranos y los finales tardíos de todos los eventos de la red. En cada evento habrá un tiempo temprano y un tiempo tardío. Se obtiene el inicio temprano de todas las actividades que tengan origen en ese nodo y el final tardío de todas las actividades que lleguen a él. Los tiempos tempranos (E) se colocan en la parte inferior del nodo y los tiempos finales (F) en la parte superior.

Nomenclatura para las actividades:

- ✓ Tiempo de inicio temprano (ES), el tiempo temprano del nodo inicial.
- ✓ Tiempo de terminación temprano (EF), se calcula sumando la duración de la actividad al inicio temprano.
- ✓ Tiempo de terminación tardío (LF), el tiempo tardío del nodo final.
- ✓ Tiempo de inicio tardío (LS), es la resta del tiempo tardío final y la duración de la actividad.

Figura 52 Nomenclatura de tiempos para diagramas de flechas



Fuente: Costo y tiempo en edificaciones Suárez Salazar Carlos

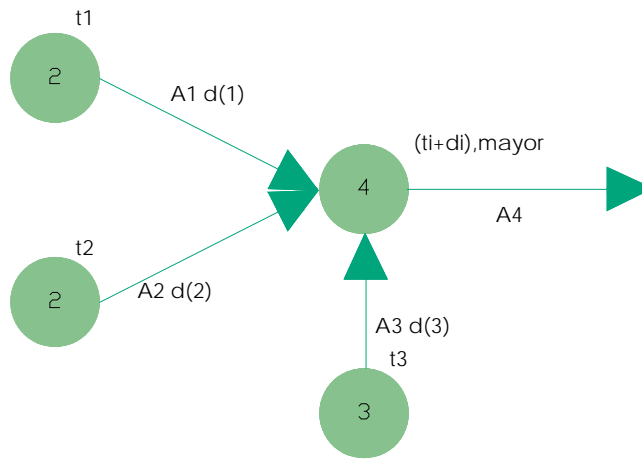
Para el cálculo de los tiempos tempranos se inicia en el primer nodo con un valor de cero en la parte inferior. Si al inicio temprano de una actividad "i" se suma la duración de la misma, se obtiene su tiempo temprano final (EF) de dicha actividad:  $EF_i = ES_i + T_i$ . Si la actividad  $A_j$  depende sólo de una actividad  $A_i$  con una relación fin-comienzo,  $A_j$  sólo podrá iniciarse una vez que la actividad precedente ( $A_i$ ) haya terminado; es decir, el inicio temprano de  $A_j$  será igual al final temprano de  $A_i$ :

$$ES_j = EF_i = ES_i + T_i$$

Se recorre el diagrama en el sentido de las flechas. En la parte inferior de cada evento se escribe el valor resultante de sumar la duración de la actividad mediante la que se llega a él y el valor en la parte inferior del evento anterior. Si una actividad  $A_j$  depende de varias actividades  $A_i$  con una relación fin-comienzo, la actividad  $A_j$  no se podrá iniciar hasta que no hayan terminado todas las actividades  $A_i$ , o sea, el inicio mínimo de  $A_j$  es igual al mayor de los tempranos finales de las actividades  $A_i$ :

$$ES_j = \max (EF_i)$$

Figura 53 Cálculo de tiempos tempranos en diagramas de flechas

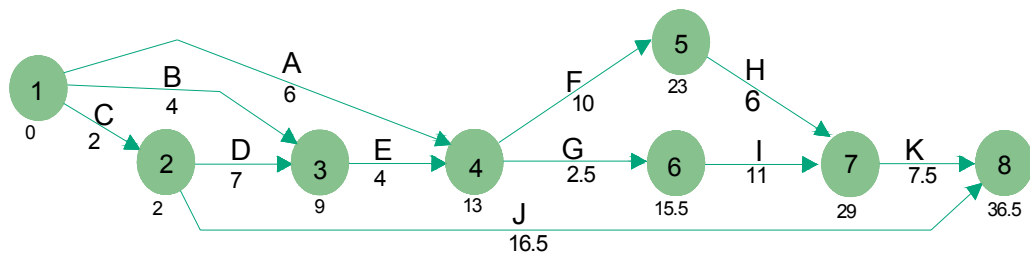


Fuente: [www.iusc.es](http://www.iusc.es)

Ejemplo 2.10

Para la red de flechas del ejemplo 2.7 se calculan los tiempos de red:

Figura 54. Cálculo de tiempos tempranos para el ejemplo 2.10



Fuente: Los autores

En el nodo 1 se inicia con un valor de 0, al que se le suman la duración de las primeras actividades A, B y C, para obtener los tiempos tempranos de los nodos siguientes, en el nodo al que llegue

más de una actividad como en el 3, se coloca como tiempo temprano el mayor valor que se obtenga de las actividades entrantes B y D, para B:  $0+4=4$ ; para D:  $2+7=9$ ; luego el valor temprano del nodo 3 es **9**.

El último nodo representa el final del proceso, por lo que corresponde al tiempo temprano final de la red. Normalmente el interés es hacer los cálculos de manera que reflejen lo más pronto que se puede acabar el proceso, por lo que se fija el final tardío del proceso igual a su final temprano.

$$EF_{\text{proceso}} = LF_{\text{proceso}}$$

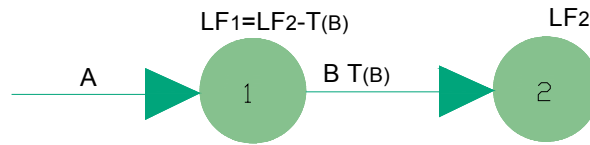
El paso atrás se inicia con el tiempo de terminación del paso adelante y se empieza a avanzar de derecha a izquierda restando los tiempos de las actividades y colocando el resultado en la parte superior de los eventos, en aquellos eventos donde salen más de dos actividades se coloca el menor de los tiempos.

Si al final tardío de una actividad  $A_j$  se resta su duración, se obtiene su inicio tardío (lo más tarde que puede empezar sin retrasar el proceso), es decir,  $LS_j = LF_j - d_j$ . Si la actividad  $A_j$  depende sólo de la actividad  $A_i$  con una relación fin-comienzo, la actividad  $A_i$  no podrá acabar más tarde del inicio tardío de  $A_j$  sin retrasar el proceso, o sea, lo más tarde que puede terminar  $A_i$  es lo más tarde que puede empezar  $A_j$ :

$$LF_i = LS_j = LF_j - T_j$$

Por lo tanto, se ha de recorrer el diagrama en sentido inverso al de las flechas empezando por el evento final. En la parte superior de cada evento se escribe el valor resultante de restar la duración de la actividad que sale del evento calculado al valor en la parte superior del evento al que llega la actividad.

Figura 55. Cálculo de tiempos tardíos en diagramas de flechas



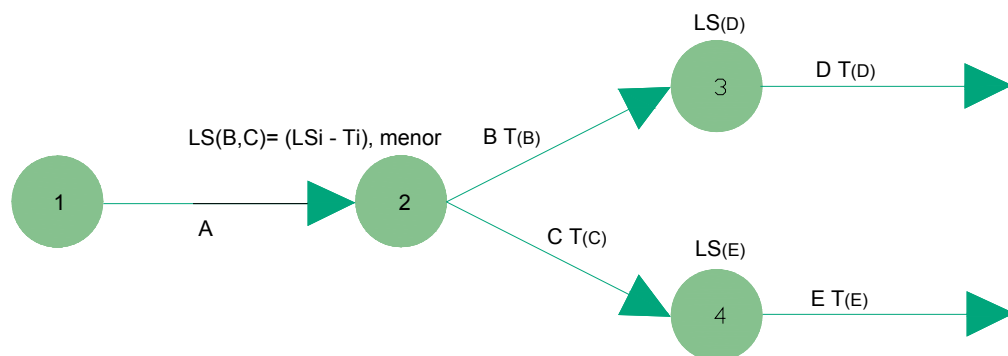
Fuente: Los autores

Si varias actividades  $A_j$  dependen de una o más actividades  $A_i$ , lo más tarde que podrán terminar las actividades  $A_i$  sin retrasar el proceso será lo más tarde que podrá empezar la primera de las actividades  $A_j$ , es decir, aquella cuyo inicio mínimo sea menor; por lo tanto:

$$LF_i = \min (LE_j) = \min (LF_j - T_j)$$

Cuando de un evento parten varias flechas, se deben calcular los valores obtenidos a través de cada una de ellas y tomar el menor de dichos valores.

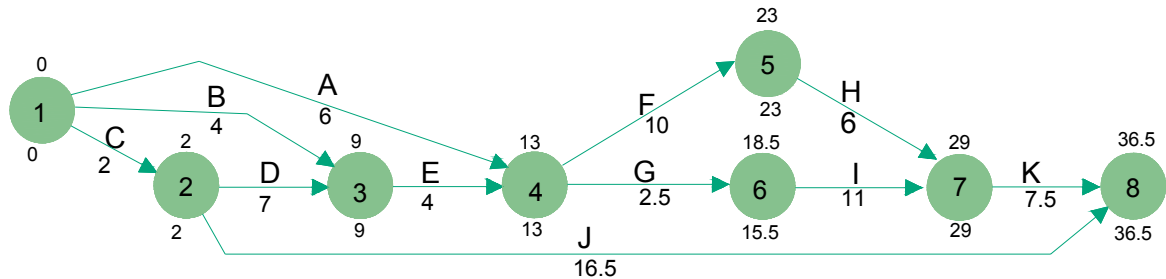
Figura 56. Tiempo tardío en un nodo al que llegan más de dos actividades



Fuente: [www.iusc.es](http://www.iusc.es)

Para la red que se esta trabajando se calculan los tiempos tardíos iniciando en el ultimo nodo con el tiempo temprano **36.5** y avanzando de derecha a izquierda siguiendo las indicaciones anteriormente dadas.

Figura 57. Diagrama de flecha con tiempos de red, ejemplo 2.10



Fuente: Los autores

Los tiempos que se calculan con el paso adelante son los tiempos más tempranos en los que se puede iniciar una actividad y los obtenidos del paso atrás son los tiempos más tardíos de terminación. Al finalizar el recorrido la obtención de un cero en la parte superior del primer nodo no garantiza que los cálculos son correctos pero si se obtiene cualquier otro valor se podrá afirmar que existe algún error en los cálculos realizados. Luego de obtenidos los tiempos de los nodos se deben calcular los tiempos de las actividades, el tiempo **ES**, se toma de la red como el tiempo temprano del nodo inicial de cada actividad;  $EF = ES + T$ , el tiempo **LF** es el tiempo tardío del nodo final de cada actividad y  $LS = LF - T$ .

Tabla 19. Tiempos de las actividades ejemplo 2.10

ACTIVIDAD	DURACIÓN	ES	LS	EF	LF
A	6	0	7	6	13
B	4	0	5	4	9
C	2	0	0	2	2
D	7	2	2	9	9
E	4	9	9	13	13
F	10	13	13	23	23
G	2,5	13	15,5	15,5	18
H	6	23	23	29	29
I	11	15,5	18	26,5	29
J	16,5	2	20	18,5	36,5
K	7,5	29	29	36,5	36,5

Fuente: Los autores

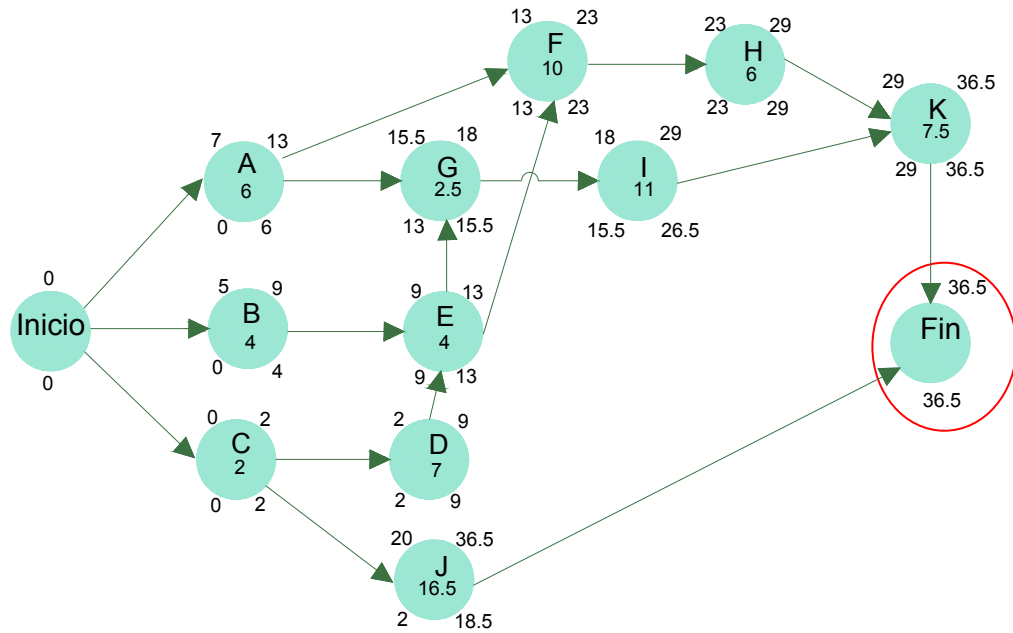
#### 4.6. DURACIÓN DEL PROCESO

La duración total del proceso es el valor del tiempo ubicado en el último nodo de la red o el mayor de los valores obtenidos luego de sumas las duraciones de las distintas rutas que se presentan dentro de la red total del proceso. Con este valor se puede tener certeza de las fechas en que se debe iniciar y terminar los procesos presentes en una obra y las actividades dentro de un proceso. Para cumplir con esto, es necesario un buen control durante la ejecución de todas las actividades.

##### Ejemplo 2.11

En la red del ejemplo 2.9 se obtiene una duración del proceso de **36.5** Unidades de tiempo, el valor se observa en el último nodo.

Figura 58. Duración de un proceso, ejemplo2.11



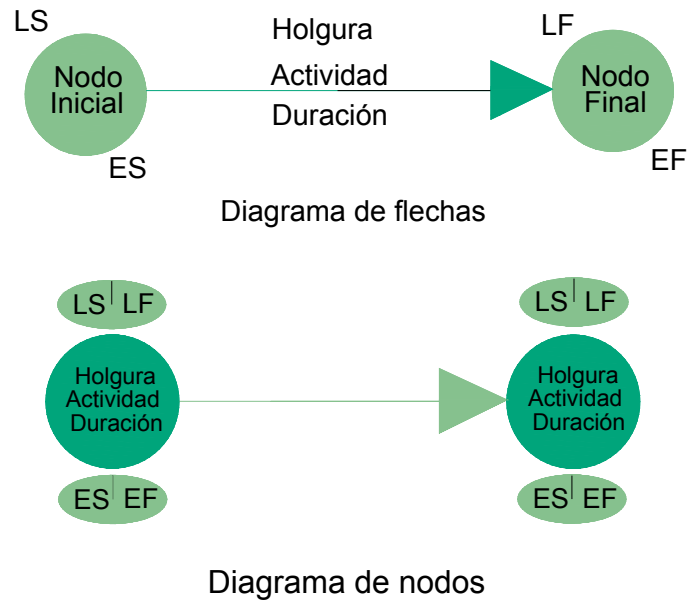
Fuente: Los autores

#### 4.7. HOLGURAS DE UNA ACTIVIDAD

La diferencia entre tiempos tardíos y tempranos de una actividad será la holgura o tiempo flotante de la actividad.  $(LS - ES \text{ o } LF - EF)$ , que indica el margen suplementario de tiempo que se tiene para finalizar esa actividad sin retrasar la duración total del proceso. La holgura permite discriminar las actividades en críticas, aquellas para las cuales este valor es cero y no críticas las actividades con holgura diferente de cero. Cuanto mayor sea el número de actividades en una red y menor su holgura será más probable que tienda a convertirse en una ruta crítica.

En los diagramas de flechas las holguras se colocan en la parte superior de la actividad y en los diagramas de nodos las holguras se escriben dentro del nodo en la parte superior.

Figura 59. Ubicación de la holgura en los diagramas de red



Fuente: Costo y tiempo en edificaciones Suárez Salazar Carlos

En un proceso se pueden identificar diferentes tipos de Holguras:

**4.7.1. Holgura total de una actividad (Ht).** Es el total de tiempo que puede demorarse el inicio de una actividad sin ocasionar que el proceso dure más de lo previsto. Se pueden presentar retrasos en la ruta de actividades con holgura diferente de cero (actividades no críticas) y nunca se vera afectada la duración del proceso.

Si una actividad se inicia en el tiempo temprano la holgura quedará disponible para el final de la actividad; si la actividad comienza en el tiempo inicial tardío 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 al final del período disponible, sin sobrepasar el tiempo que suma la duración de la actividad y su holgura total.

$$Ht = LS - ES$$

$$Ht = LF - EF$$

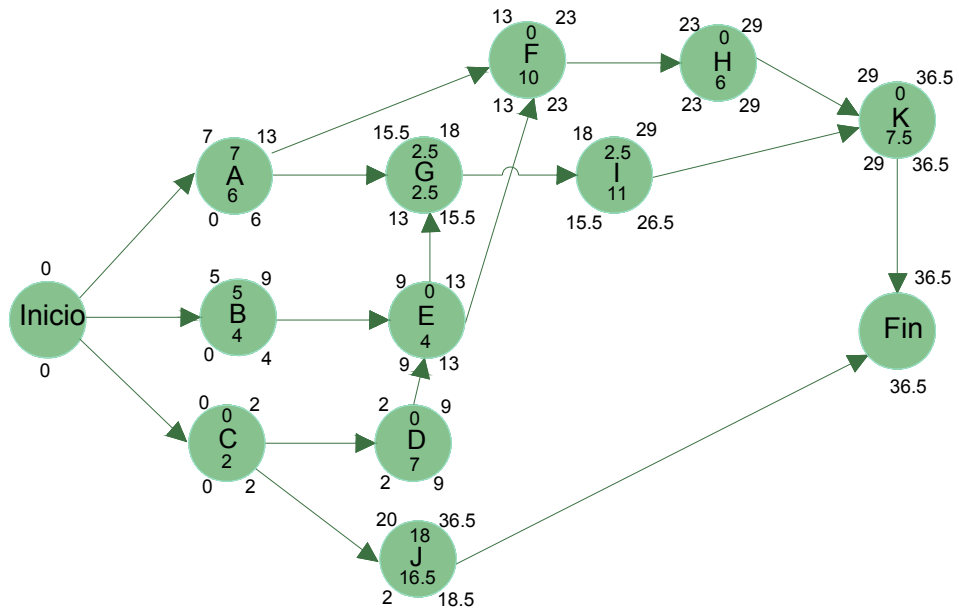
$$Ht = LF - ES - T_{(duración)}$$

La holgura total se usa para identificar la prioridad de las actividades, ya que aquellas con menos holgura deben tener mayor control que aquellas con más tiempo disponible para su ejecución.

*Ejemplo 2.12*

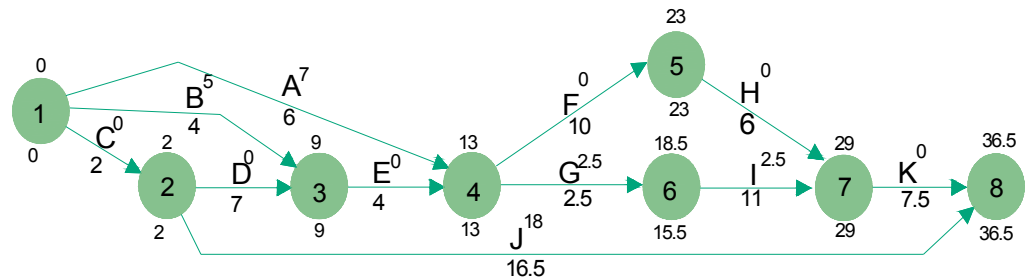
En este ejemplo se completa la presentación de la red de actividades ubicando la holgura total de cada actividad dentro de la red.

*Figura 60. Ubicación de la holgura total en el diagrama de nodos*



*Fuente: Los autores*

Figura 61. Ubicación de la holgura total en el diagrama de flechas



Fuente: Los autores

**4.7.2. Holgura libre (HI).** Es el tiempo que puede demorarse el inicio de una actividad sin interferir con el tiempo de las otras actividades, este tiempo no puede ser mayor que la holgura total. Con esta holgura se puede identificar que tiempo se puede demorar una actividad sin afectar la holgura total de la actividad siguiente.

$$HI = LF - ES - T_{(duración)}$$

**4.7.3. Holgura interferente (Hi).** Tiempo disponible de una actividad además de la holgura libre donde puede iniciar o terminar la actividad después de lo inicialmente previsto; afecta la duración total del proceso. Es la diferencia entre la holgura total y la holgura libre de una actividad.

$$Hi = Ht - HI$$

Para las actividades del ejemplo se calculan los valores de las holguras y se tabulan junto a los tiempos tempranos y tardíos.

Tabla 20. Tiempos y holguras de la red de actividades

ACTIVIDAD	DURACIÓN	ES	LS	EF	LF	Ht	HI	Hi
A	6	0	7	6	13	7	7,0	0
B	4	0	5	4	9	5	5,0	0
C	2	0	0	2	2	0	0	0
D	7	2	2	9	9	0	0	0
E	4	9	9	13	13	0	0	0
F	10	13	13	23	23	0	0	0
G	2,5	13	15,5	15,5	18	2,5	2,5	0
H	6	23	23	29	29	0	0	0
I	11	15,5	18	26,5	29	2,5	2,5	0
J	16,5	2	20	18,5	36,5	18	18,0	0
K	7,5	29	29	36,5	36,5	0	0	0

Fuente: Los autores

#### 4.8. ANÁLISIS DE LA RUTA CRÍTICA

Ruta crítica no sólo es el método sino también las actividades con holgura cero, contadas desde que inicia el proceso hasta su terminación. Cualquier retraso que sufra alguna de las actividades de la ruta provocaría un retraso en todo el proceso.

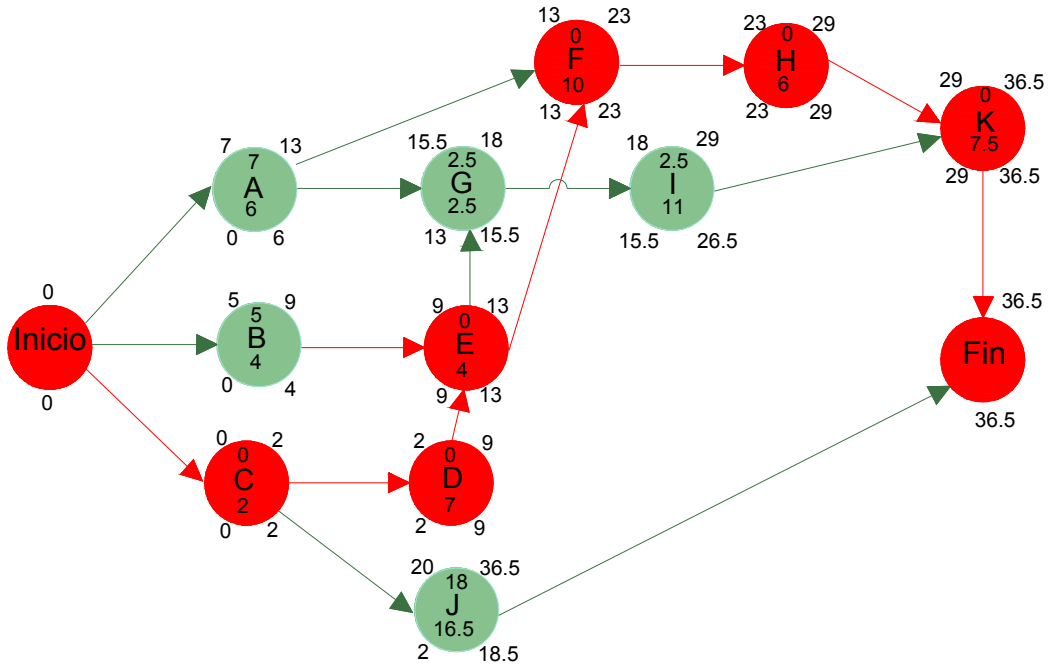
Como el proceso termina cuando todas las actividades han terminado, todas las rutas deben recorrerse. El tiempo mínimo para terminar el proceso debe ser igual a la longitud recorrida por la trayectoria de la ruta más larga, la cual corresponde a la ruta crítica del proceso, es decir, ruta crítica es la serie de actividades que indica la duración total del proceso.

En un proceso se pueden presentar varias rutas críticas. En el análisis de PERT se toma como ruta crítica principal aquella donde la suma de las varianzas de las actividades que la componen es mayor.

*Ejemplo 2.13*

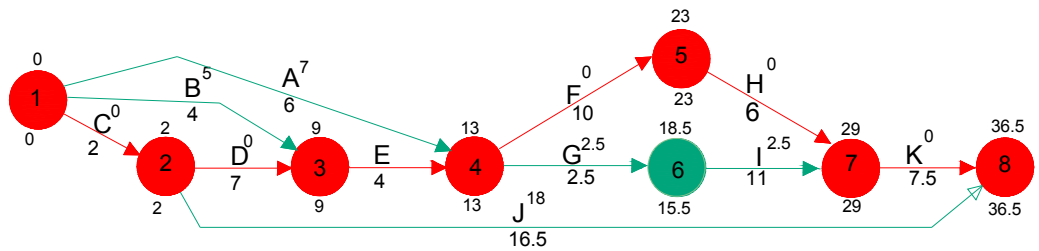
En la red de actividades se resaltan las actividades con holgura total cero que son las componentes de la ruta crítica del proceso.

*Figura 62. Ruta crítica en el diagrama de nodos*



*Fuente: Los autores*

*Figura 63. Ruta crítica en el diagrama de flechas*



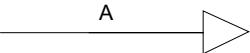


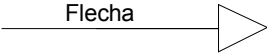
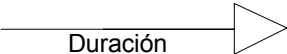

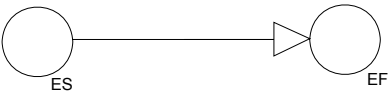
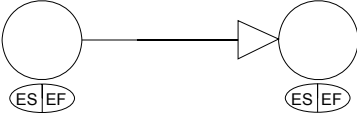
*Fuente: Los autores*

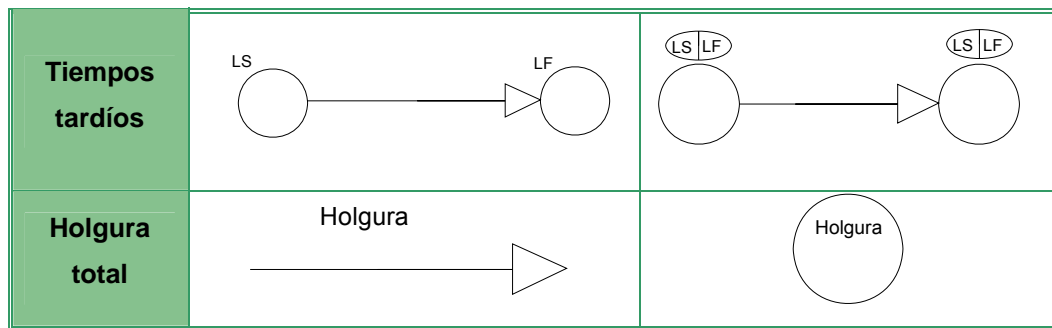
A las actividades críticas no se les puede cambiar sus tiempos de comienzo y finalización sin que se vea afectada la duración total del proceso.

**Resumen:**

- ✓ La Ruta Crítica es la ruta más larga a través de la red
- ✓ Determina la longitud del proyecto
- ✓ Toda red tiene al menos una ruta crítica
- ✓ Es posible que haya proyectos con más de una ruta crítica
- ✓ Todas las actividades de la ruta crítica tienen holgura cero.

*Tabla 21. Resumen para la elaboración de redes*

	DIAGRAMA DE FLECHAS	DIAGRAMA DE NODOS
Actividad		
Elemento de unión		
Duración		
Tiempos tempranos		



*Fuente: Los autores*

#### 4.9. OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS

Teniendo calculadas las holguras es posible manipularlas para lograr una optimización de la programación mediante la reacomodación de las actividades y la determinación del tiempo en calendario donde deben iniciar. También es posible disminuir la duración total del proceso reduciendo el tiempo de ejecución de las actividades críticas. Esta reacomodación en los tiempos se puede dar según varios factores, como decisiones administrativas, imprevistos o disposición de recursos. Este tema se trata en el siguiente capítulo, estimación de costos.

#### 4.10. EJERCICIOS

##### 4.10.1 EJERCICIOS RESUELTOS

###### Ejercicio 1.

Elaborar la red de nodos y flechas de actividades según las precedencias y tiempos dados:

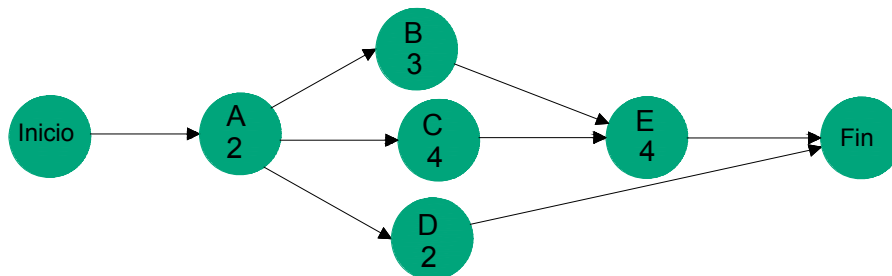
Tabla 22. Matriz de precedencias ej. 1

	A	B	C	D	E
A			X		
B				X	
C					
D					
E			X	X	

ACTIVIDAD	PREDECESORA	DURACIÓN (HORAS)
A	-	2
B	-	3
C	A	4
D	B	2
E	D, C	4

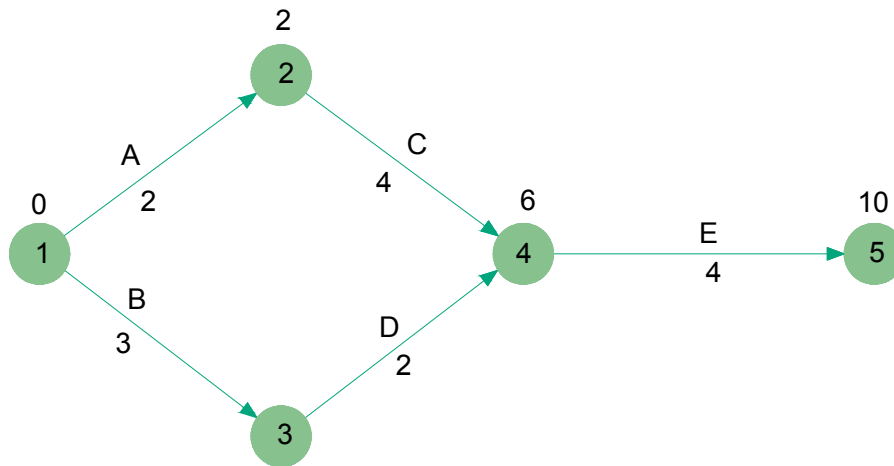
Fuente: Los autores

Figura 64. Red de nodos ej. 1



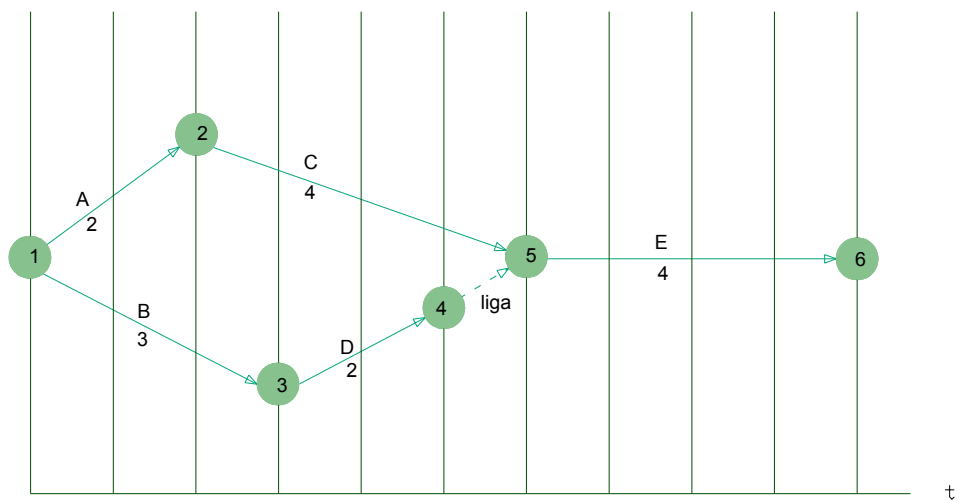
Fuente: Los autores

Figura 65. Red de flechas ej. 1



Fuente: Los autores

Figura 66. Red de flechas en matriz de tiempos ej. 1



Fuente: Los autores

El nodo número 1 indica el comienzo del proyecto y del cual salen aquellas actividades que no tienen predecesor. Como A es predecesor de C debe existir un nodo que representa la terminación de A y el inicio de C de igual manera para B y D. Como C y D son predecesoras de E, al nodo 4 llegan las actividades C y D y sale la actividad E, con la cual finaliza el proceso en el nodo 5, (terminación de actividad E).

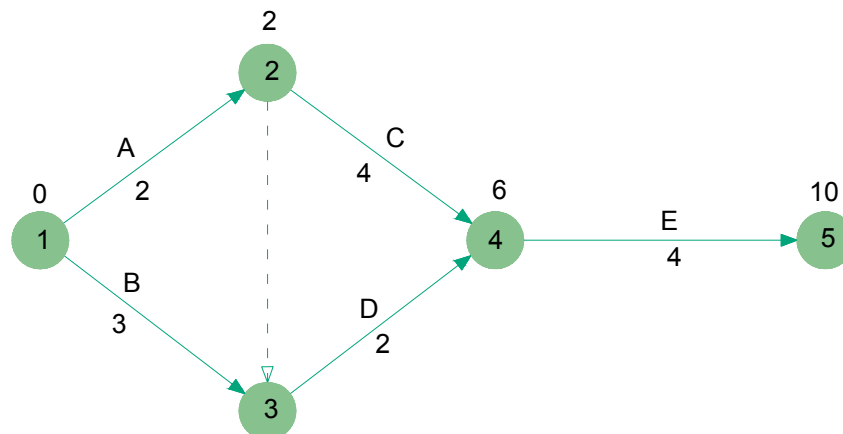
Si adicionalmente A y B fueran predecesoras de D, se utilizaría una actividad ficticia de duración 0 para el diagrama de flechas.

Tabla 23. Matriz de precedencias 2 ej. 1

ACTIVIDAD	PREDECESORA	DURACIÓN (HORAS)
A	-	2
B	-	3
C	A	4
D	A, B	2
E	D, C	4

Fuente: Los autores

Figura 67. Red de flechas 2 ej. 1



Fuente: Los autores

La línea punteada indica que el nodo 3 corresponde a la terminación de A y B, mientras que el nodo 2 sigue correspondiendo sólo a la terminación de A e inicio de C.

**Ejercicio 2.**

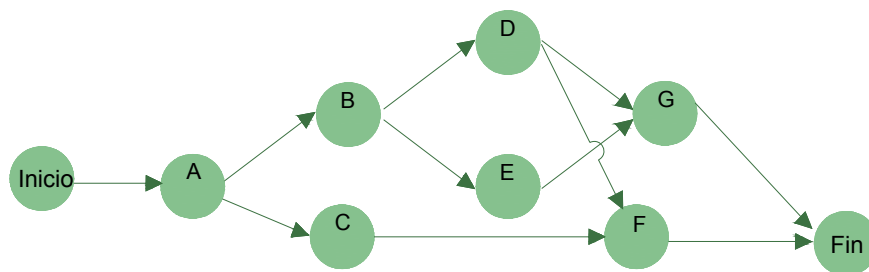
Para las siguientes actividades elaborar los diagramas de red por nodos y flechas, respetando las precedencias.

*Tabla 24. Matriz de precedencias ejercicio. 2*

ACTIVIDAD	PRECEDENCIA
A	-
B	A
C	A
D	B
E	B
F	D, C
G	D, E

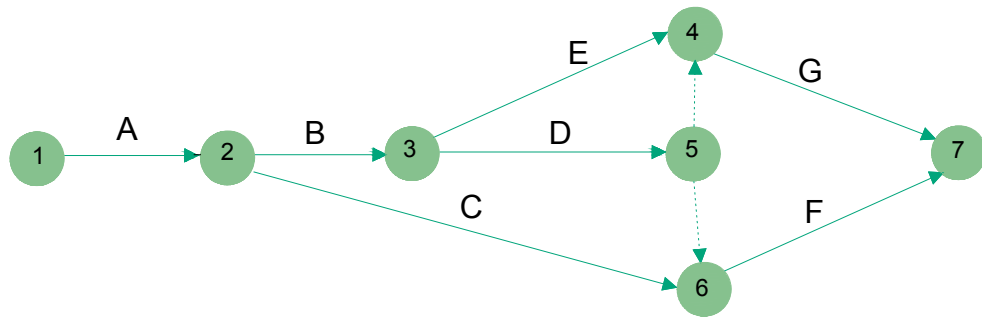
*Fuente: Los autores*

*Figura 68. Red de nodos ejercicio. 2*



*Fuente: Los autores*

Figura 69. Red de flechas ejercicio. 2



Fuente: Los autores

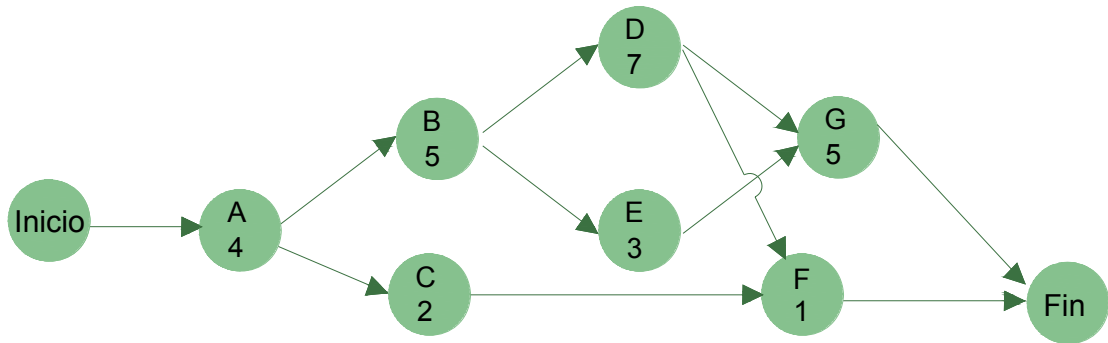
En el diagrama de flechas se hace necesario utilizar dos actividades ficticias para unir a D con E y C en nodos diferentes. A cada actividad se le asigna una duración que debe ser ubicada junto a la actividad en el diagrama.

Tabla 25. Matriz de precedencias y duraciones ejercicio. 2

ACTIVIDAD	PRECEDENCIA	DURACIÓN
A	-	4
B	A	5
C	A	2
D	B	7
E	B	3
F	D, C	1
G	D, E	5

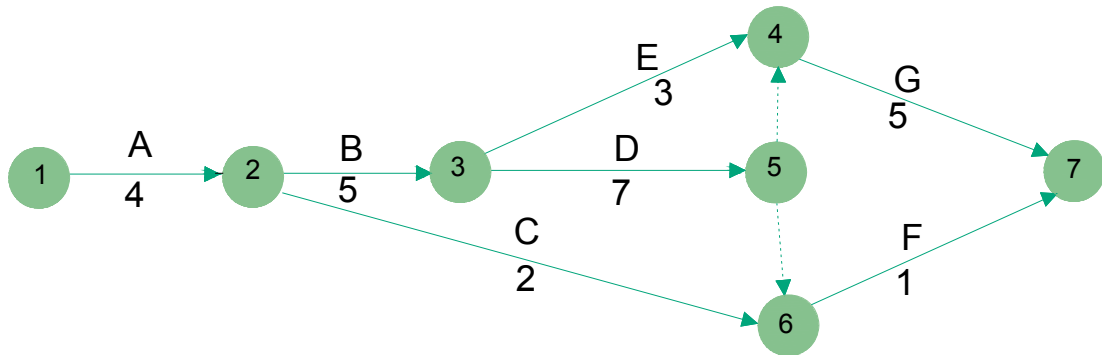
Fuente: Los autores

Figura 70. Red de nodos y duraciones ejercicio. 2



Fuente: Los autores

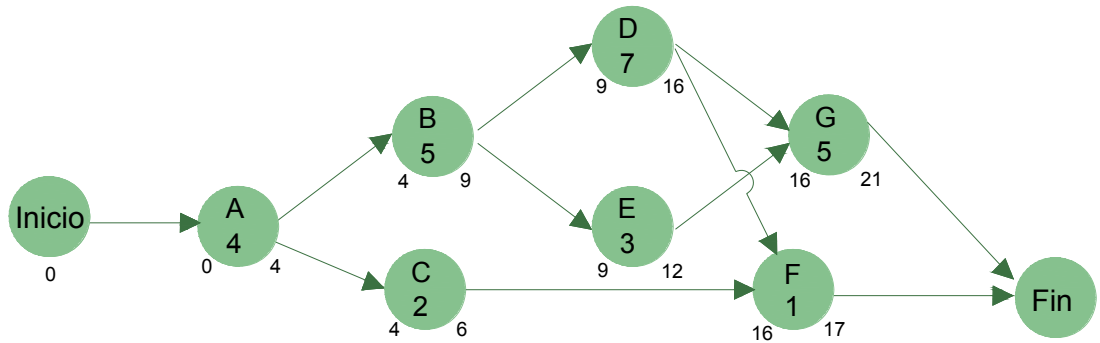
Figura 71. Red de flechas y duraciones ejercicio. 2



Fuente: Los autores

**Calculo de tiempos tempranos y tardíos por nodos:** Teniendo la red se puede empezar a calcular los tiempos tempranos y tardíos para la ejecución de cada actividad. Los tiempos tempranos se calculan empezando por la izquierda con cero en el nodo inicio y sumado la duración de las actividades hacia la derecha. En cada nodo se colocan dos tiempos, en la izquierda el tiempo temprano inicial **ES** que es igual al tiempo temprano final **EF** del nodo anterior y en la derecha la suma de **ES + T** (duración de la actividad) = **EF**

Figura 72. Red de nodos con tiempos tempranos ej. 2

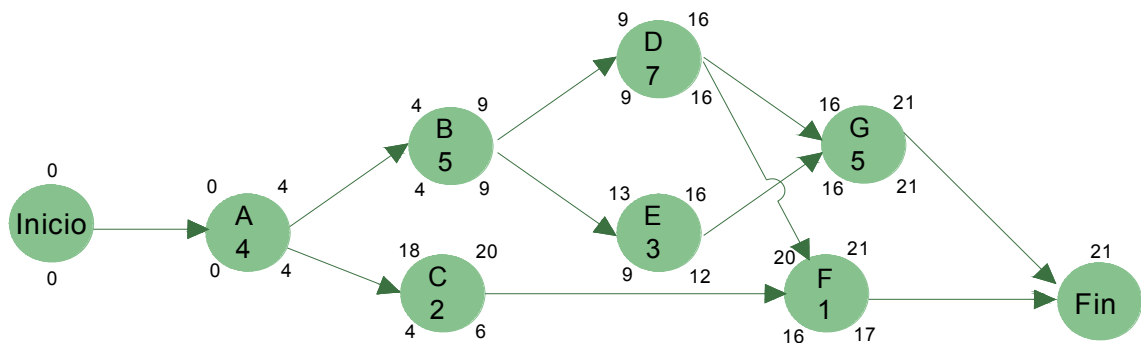


Fuente: Los autores

En el nodo al que llegue más de una actividad se coloca el mayor de los tiempos obtenidos en las actividades anteriores, como se ve en las actividades **F** y **G**.

En el nodo final (Fin) el tiempo temprano es igual al tardío y se empieza a avanzar de derecha a izquierda restando la duración de las actividades. Al igual que con los tiempos tempranos, en cada actividad se ubican dos tiempos tardíos, en la derecha el tiempo tardío inicial de la actividad anterior **LS** y en la izquierda la resta entre **LS** y  $T_{(duración\ de\ la\ actividad)}$ .

Figura 73. Red de nodos con tiempos tardíos ej. 2

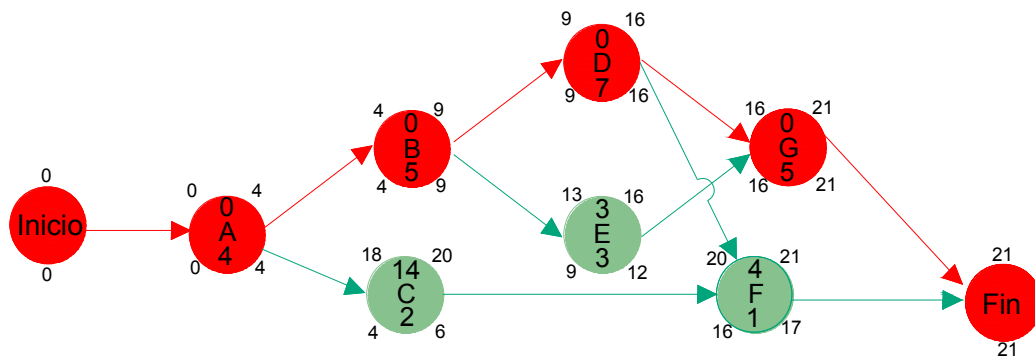


Fuente: Los autores

En aquellos nodos donde salga más de una actividad se coloca el menor de los tiempos **LS** de las actividades siguientes; como se presenta en las actividades **D, B y A**.

Las holguras totales se calculan restando tiempos tardíos y tempranos y se ubican en la red.

Figura 74. Red de nodos con holguras ej. 2



Fuente: Los autores

A continuación se expone una tabla en la que se ubican los tiempos de las actividades y sus holguras.

Tabla 26. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 2

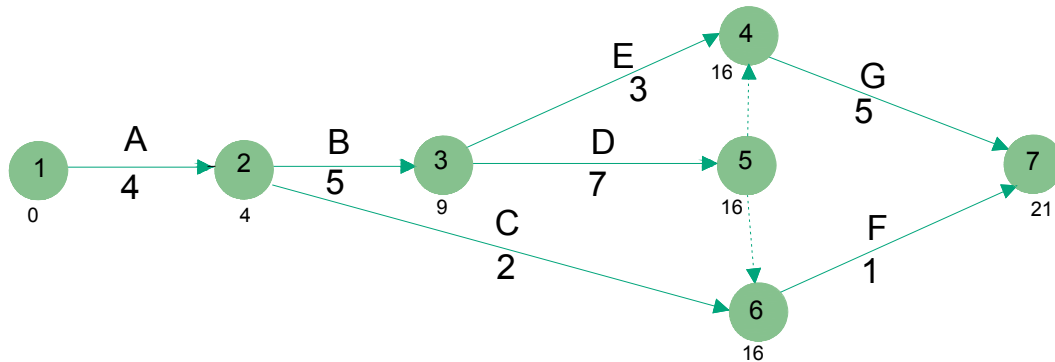
ACTIVIDAD	PREC.	DURACIÓN	ES	LS	EF	LF	Ht	HI	Hi
A	-	4	0	0	4	4	0	0	0
B	A	5	4	4	9	9	0	0	0
C	A	2	4	18	6	20	14	14	0
D	B	7	9	9	16	16	0	0	0
E	B	3	9	13	12	16	4	4	0
F	D, C	1	16	20	17	21	4	4	0
G	D, E	5	16	16	21	21	0	0	0

Fuente: Los autores

La ruta crítica de la red la componen aquellas actividades que tengan holgura total de cero. **Rc: A B D G**

**Calculo de tiempos tempranos y tardíos por flechas:** Para el cálculo de los tiempos tempranos se escribe cero en el primer nodo y se avanza hacia la derecha sumando la duración de las actividades; colocando el mayor de los valores en los eventos donde llega más de una actividad.

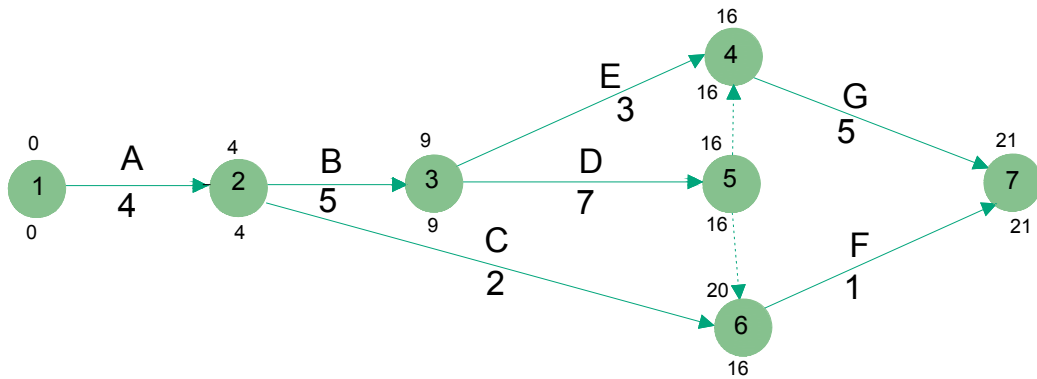
Figura 75. Red de flechas con tiempos tempranos ejercicio. 2



Fuente: Los autores

En el evento final el tiempo temprano es igual al tardío, los demás tiempos tardíos se calculan avanzando de derecha a izquierda restando la duración de la actividad.

Figura 76. Red de flechas con tiempos tardíos ejercicio. 2



Fuente: Los autores

Luego de obtenidos los tiempos de los eventos se deben calcular los tiempos de las actividades, el tiempo **ES**, se toma de la red como el tiempo temprano del evento inicial de cada actividad;  $EF = ES + T$ , el tiempo **LF** es el tiempo tardío del evento final de cada actividad y  $LS = LF - T$ .

La holgura total es la resta entre LS y ES ó LF y EF.

$$HI = LF - ES - T$$

$$Hi = Ht - HI$$

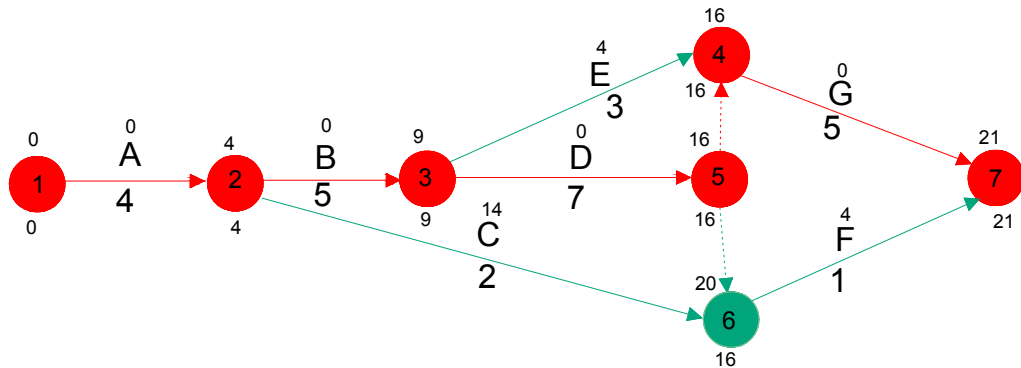
Tabla 27. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 2

ACTIVIDAD	PREC.	DURACIÓN	ES	LS	EF	LF	Ht	HI	Hi
A	-	4	0	0	4	4	0	0	0
B	A	5	4	4	9	9	0	0	0
C	A	2	4	18	6	20	14	14	0
D	B	7	9	9	16	16	0	0	0
E	B	3	9	13	12	16	4	4	0
F	D, C	1	16	20	17	21	4	4	0
G	D, E	5	16	16	21	21	0	0	0

Fuente: Los autores

Habiendo calculado la holgura total se ubica dentro de la red, sobre cada actividad, completando la forma de presentar la red de actividades programadas.

Figura 77. Red de flechas con holguras ejercicio. 2



Fuente: Los autores

La ruta crítica de la red la componen aquellas actividades que tengan holgura total cero

**Ruta crítica: A B D G**

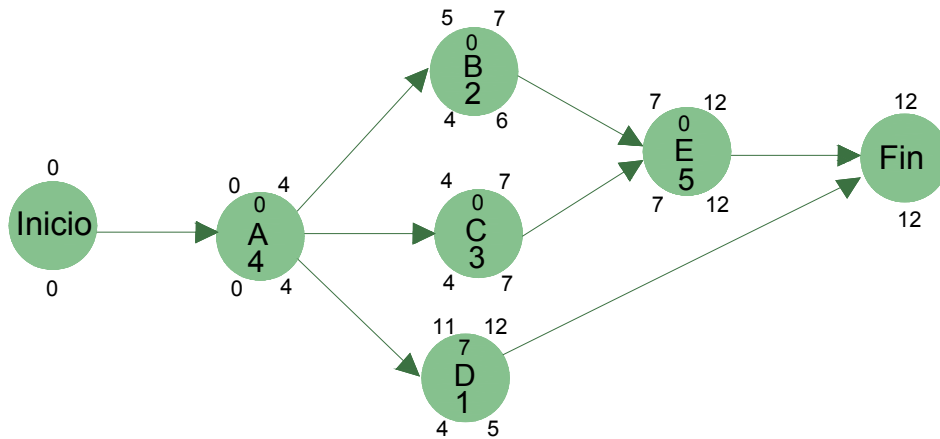
**Ejercicio 3.**

Tabla 28. Matriz de precedencias y tiempos ejercicio. 3

ACTIVIDAD	PRECEDENCIA	DURACIÓN
A	-	4
B	A	2
C	A	3
D	A	1
E	B, C	5

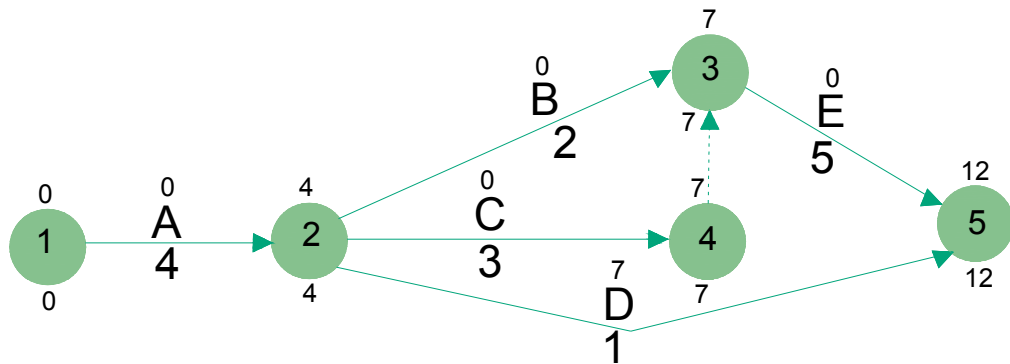
Fuente: Los autores

Figura 78. Diagrama de nodos ejercicio. 3



Fuente: Los autores

Figura 79. Diagrama de flechas ejercicio. 3



Ruta Crítica: A B E y A C E

Tabla 29. Matriz de tiempos y holguras ejercicio. 3

ACTIVIDAD	DURACIÓN	ES	LS	EF	LF	Ht	HI	Hi
A	4	0	0	4	4	0	0	0
B	2	4	5	6	7	0	0	0
C	3	4	4	7	7	0	0	0
D	1	4	11	5	12	7	7	0
E	5	7	7	12	12	0	0	0

Fuente: Los autores

**Ejercicio 4.**

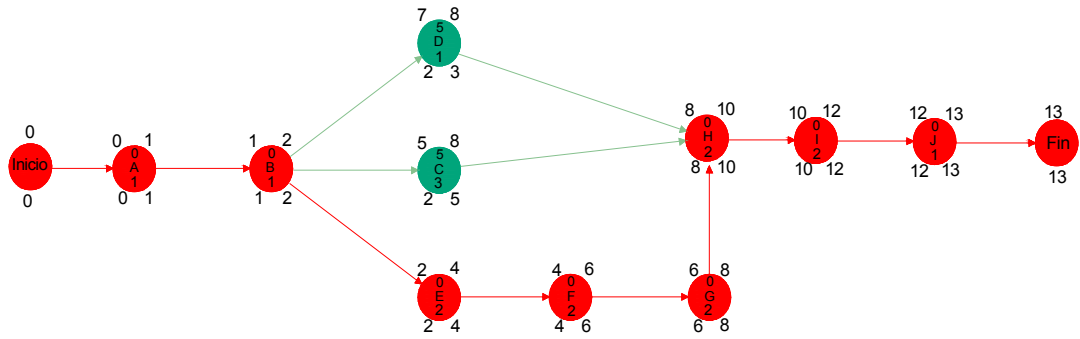
Para la construcción de una placa aligerada se han planeado las siguientes actividades, con su precedencia y duración; elaborar sus diagramas de nodos.

*Tabla 30. Matriz de precedencias y duraciones ejercicio. 4*

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>REPRESENTACIÓN</b>	<b>PRECEDENCIA</b>	<b>DURACIÓN (horas)</b>
Encofrado	A	--	1
Replanteo	B	A	1
Colocación de refuerzo vigas y viguetas	C	B	3
Formaleteado de borde	D	B	1
Colocación de malla de refuerzo inferior	E	B, C	2
Vaciado de torta inferior	F	E	2
Colocación de casetones	G	F	2
Fundición de la placa	H	C, D, G	2
Curado	I	H	2
Desformaleteado	J	I	1

*Fuente: Los autores*

Figura 80. Diagrama de nodos ejercicio. 4



Fuente: Los autores

Ruta crítica: ABEFGHIJ

Tabla 31. Matriz de tiempos y holuras ejercicio. 4

Act.	T	ES	EF	LS	LF	Ht	HI	Hi
A	1	0	1	0	1	0	0	0
B	1	1	2	1	2	0	0	0
C	3	2	5	5	8	5	3	2
D	1	2	3	7	8	5	5	0
E	2	2	4	2	4	0	0	0
F	2	4	6	4	6	0	0	0
G	2	6	8	6	8	0	0	0
H	2	8	10	8	10	0	0	0
I	2	10	12	10	12	0	0	0
J	1	12	13	12	13	0	0	0

Fuente: Los autores

**Ejercicio 5.**

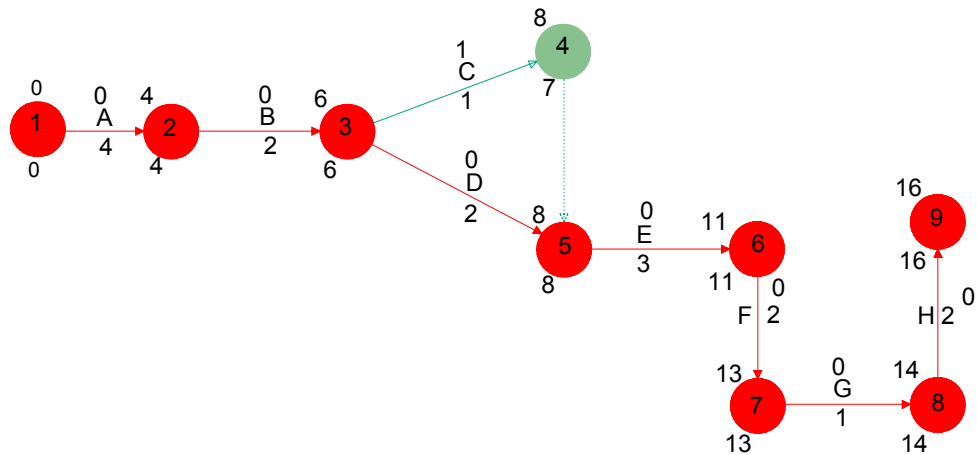
Realizar la red de programación de actividades para la construcción de una Zapata.

Tabla 32. Matriz de precedencias y duraciones ejercicio. 5

ACTIVIDAD	REPRESENTACIÓN	PRECEDENCIA	DURACIÓN (horas)
Excavación manual	A	--	4
Vaciado del solado	B	A	2
Acero de refuerzo	C	B	1
Formaleteado	D	B	2
Vaciado de concreto	E	C, D	3
Curado	F	E	2
Desformaleteado	G	F	1
Relleno manual	H	F, H	2

Fuente: Los autores

Figura 81. Diagrama de flechas ejercicio. 5



Fuente: Los autores

**Ruta crítica: ABDEFGH**

Tabla 33. Matriz de tiempos y holuras ej. 5

Act.	T	ES	EF	LS	LF	Ht	HI	Hi
A	4	0	4	0	4	0	0	0
B	2	4	6	4	6	0	0	0
C	1	6	7	7	8	1	0	1
D	2	6	8	6	8	0	0	0
E	3	8	11	8	11	0	0	0
F	2	11	13	11	13	0	0	0
G	1	13	14	13	14	0	0	0
H	2	14	16	14	16	0	0	0

Fuente: Los autores

**Ejercicio 6.**

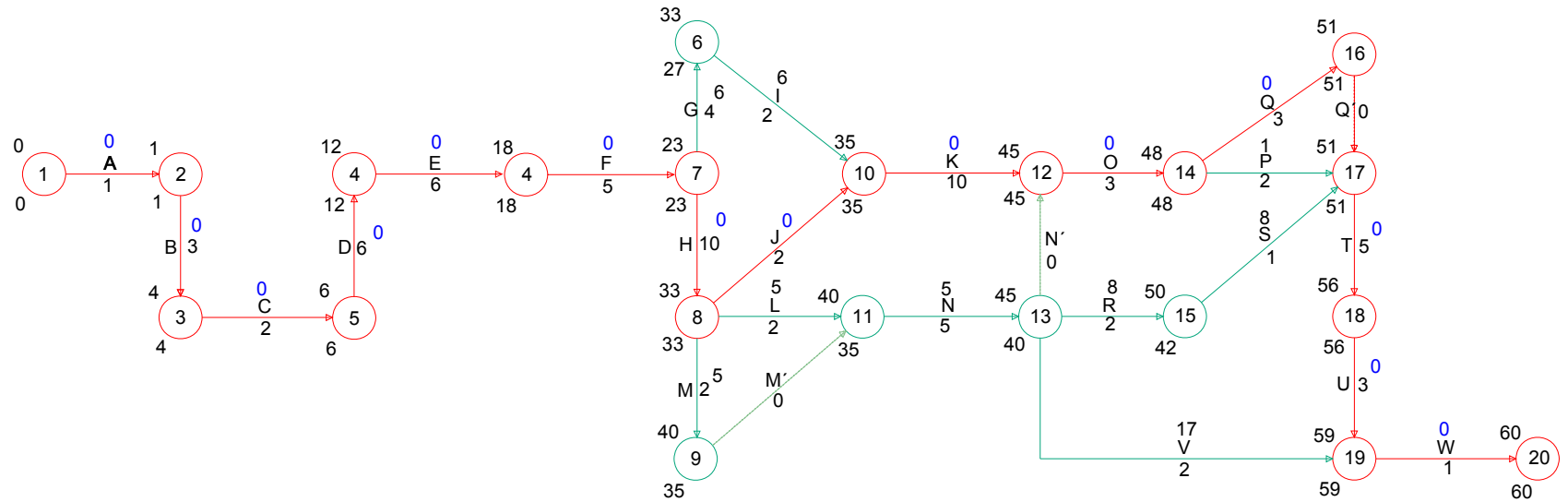
En el capítulo de planeación se presentó la WBS, (división en procesos y actividades), para el proyecto de construcción de una vivienda de un nivel. En este ejercicio se elabora la red de los procesos planeados.

Tabla 34. Matriz de precedencias y duraciones ej. 6

PROCESO	DESCRIPCIÓN	PRECEDENCIA	DURACION (Días)
A	Localización	-	1
B	Nivelación del terreno	A	3
C	Replanteo	B	2
D	Excavación	C	6
E	Cimentación	D	6
F	Columnas	E	5
G	Vigas	E	4
H	Muros	F	10
I	Cubierta	G	2
J	Instalación de tubería sanitaria	H	2
K	Nivelación del piso	I, J	10
L	Instalación hidráulica	H	2
M	Instalación eléctrica	H	2
N	Acabado de muros (friso)	L, M	5
O	Fundición de piso	N, K	3
P	Instalación de accesorios de cocina	O, P, R	2
Q	Instalación de accesorios sanitarios	O, P, R	3
R	Instalación de puertas	N, K	2
S	Instalación de ventanas	R	1
T	Acabado de pisos	P, Q, S	5
U	Pintura	T, U	3
V	Instalación de tuberías aguas lluvias	N, K	2
W	Aseo general	U, V	1

Fuente: Los autores

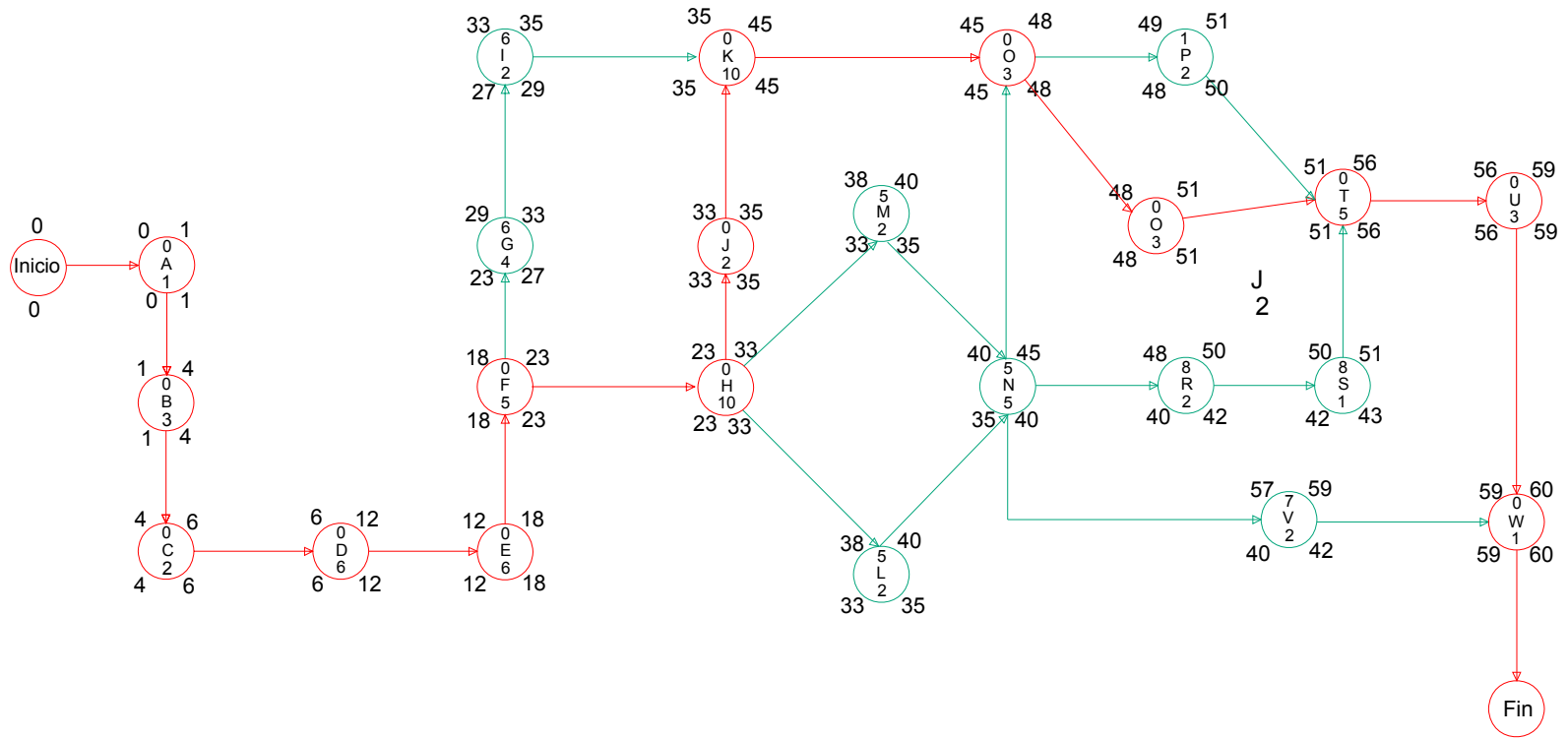
Figura 82 Diagrama de flechas ej. 6



Ruta crítica: ABCDEFD HJKOQTUW

Fuente: Los autores

Figura 83 Diagrama de nodos ej. 6



Ruta crítica: ABCDEFDHHJKOQTUW

Fuente: Los autores

Tabla 35. Matriz de tiempos y holguras ej. 6

PROC.	DESCRIPCIÓN	PREC.	DURACION (Días)	ES	EF	LS	LF	HOLGURA total	HOLGURA libre	HOLGURA interferente
A	Localización	-	1	0	1	0	1	0	0	0
B	Nivelación del terreno	A	3	1	4	1	4	0	0	0
C	Replanteo	B	2	4	6	4	6	0	0	0
D	Excavación	C	6	6	12	6	12	0	0	0
E	Cimentación	D	6	12	18	12	18	0	0	0
F	Columnas	E	5	18	23	18	23	0	0	0
G	Vigas	E	4	23	27	29	33	6	6	0
H	Muros	F	10	23	33	23	33	0	0	0
I	Cubierta	G	2	27	29	33	35	6	6	0
J	Instalación de tubería sanitaria	H	2	33	35	33	35	0	0	0
K	Nivelación del piso	I, J	10	35	45	35	45	0	0	0
L	Instalación hidráulica	H	2	33	35	38	40	5	5	0
M	Instalación eléctrica	H	2	33	35	38	40	5	5	0
N	Acabado de muros (friso)	L, M	5	35	40	40	45	5	5	0
O	Fundición de piso	N, K	3	45	48	45	48	0	0	0
P	Instalación de accesorios de cocina	O, P, R	2	48	50	49	51	1	1	0
Q	Instalación de accesorios sanitarios	O, P, R	3	48	51	48	51	0	0	0
R	Instalación de puertas	N, K	2	40	42	48	50	8	8	0
S	Instalación de ventanas	R	1	42	43	50	51	8	8	0
T	Acabado de pisos	P, Q, S	5	51	56	51	56	0	0	0
U	Pintura	T, U	3	56	59	56	59	0	0	0
V	Instalación de tuberías aguas lluvias	N, K	2	40	42	57	59	17	17	0
W	Aseo general	U, V	1	59	60	59	60	0	0	0

Fuente: Los autores

#### 4.10.2. EJERCICIOS PROPUESTOS

##### EJERCICIO 7:

Par la siguiente matriz de precedencias elaborar el diagrama de red por nodos y por flechas.

Tabla 36. Matriz de precedencias ejercicio 7

ACTIVIDAD	PRECEDENCIA	DURACIÓN
A	--	2
B	--	3
C	--	2.5
D	B	4
E	B	1.5
F	A, D, E	5
G	A	6
H	F, C	3.5
I	A, D, E	4

Fuente: Los autores

##### EJERCICIO 8:

Para el ejercicio seis desagregar los procesos en tareas y/o actividades determinar su secuencia y duración, para elaborar la red de tiempos.

##### EJERCICIO 9:

Si para un proceso se ha estimado una duración de 45 horas cual es la probabilidad de terminarlo en 37 días?

## 5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PROCESOS

La estimación de costos en un proyecto se realiza de manera preliminar, cuando sólo se tiene información general del proyecto y a medida que la planeación de este se va desarrollando es posible hacer estimaciones más precisas como las detalladas, en las cuales los costos son evaluados según programaciones de tiempos y diseños plasmados en planos. Es necesario desarrollar una aproximación de los costos requeridos para realizar cada actividad programada dentro de los procesos del proyecto, teniendo en cuenta los riesgos que en ella se puedan presentar y cada una de las alternativas de costos disponibles.

Los costos se deben estimar principalmente, para la mano de obra, materiales, equipos, herramientas, administración, servicios e instalaciones así como también se deben tener en cuenta aquellos costos que se presenten por los planes de contingencia, en caso de que deban desarrollarse, porque se haya presentado imprevistos que impiden la ejecución normal del proceso. Estos se representan de una manera cuantitativa, según los recursos requeridos por cada actividad.

Las estimaciones de costos pueden ser comparadas con las predicciones del tiempo, predecir la exacta cantidad y costo de los materiales instalados por los trabajadores es una tarea compleja. La cantidad de los materiales instalados en la obra, puede diferir de las cantidades estimadas en virtud de variaciones en el diseño, reinstalaciones y pérdidas. Las estimaciones del costo unitario de materiales, puede variar debido a fluctuaciones en los precios de las materias primas, condiciones de oferta, demanda e inflación. Así mismo, las estimaciones sobre la mano de obra pueden diferir de las efectivas, debido a que los trabajadores pueden estar realizando labores en las cuales no tienen suficiente experiencia, están sujetos a condiciones físicas y mentales exigentes, el tiempo no es siempre el más adecuado y se encuentran numerosos obstáculos en el sitio de la obra, los valores de administración son los menos variables durante la ejecución de la obra. Hay que tener en cuenta siempre que dos proyectos no pueden ser exactamente iguales.

La estimación de costos por actividades permite dar un valor a cada proceso en la obra, la suma de las estimaciones de los procesos permite obtener el presupuesto de costos del proyecto, con lo que se obtiene una línea base del costo total usada para controlar la variación de costos en obra y evitar que se salgan del margen presupuestado. Cuanto más detallado y realista sea el cálculo del costo de los procesos menos probable será tener sorpresas a medida que el proyecto se va acercando a su ejecución.

### 5.1. OBEJETIVOS DE LA ESTIMACIÓN DE COSTOS.

- ✓ Hacer un análisis de los recursos necesarios para un proceso, conocer el tipo de recurso que se demanda, su calidad, cantidad y la fecha de adquisición.
- ✓ Obtener una estimación del costo directo de los procesos de obra anticipadamente mediante el análisis de precios unitarios para los recursos.
- ✓ Lograr hacer una asignación de recursos teniendo en cuenta la programación de tiempos, las restricciones y rendimientos de los materiales.
- ✓ Tomar los datos de costos obtenidos como una base para el control de la ejecución de un proyecto.

### 5.2. MANERAS DE ESTIMAR COSTOS.

- ✓ Por **analogía**: es menos costosa pero más inexacta porque está basada en la experiencia de aquellas organizaciones que han realizado obras similares.
- ✓ La técnica **paramétrica**: se basa en datos estadísticos para establecer un precio por metro cuadrado de obra, se debe multiplicar el precio del metro cuadrado por cuantos metros cuadrados tenga la obra a realizar.

- ✓ Uso de **software** que permiten calcular los costos.
- ✓ Mediante **licitaciones** se compite con varias organizaciones que comparan los costos de cada proyecto con lo que se estipula debería costar el mismo.
- ✓ **Análisis de reserva** para los planes de contingencia que son supuestos y algunas veces exagerados, ya que se esta preparado para que ocurran imprevistos pero en caso de no ocurrir estos costos o este presupuesto no se utilizará, pero si elevará los costos inicialmente propuestos. A medida que las actividades avanzan estos costos se pueden ir ajustando de acuerdo a si han sido utilizados estos planes de contingencia o no.
- ✓ Determinar las tarifas y costos a través de los **precios unitarios**, como mano de obra por hora y material por metro lineal o por peso según se compre en el mercado. Se debe cotizar en diferentes lugares para conseguir una tarifa estándar.

El cálculo del costo es esencial a lo largo del proceso de planificación. Si se hace bien, puede relacionar las expectativas de los patrocinadores del proyecto con los presupuestos reales. Estimar permite ver hacia el futuro y predecir costos, requerimientos y recursos necesarios para el proyecto. Antes de empezar el diseño, se debe desarrollar un presupuesto que contenga costos indirectos (pagos de diseños, permisos, pagos de abogado, etc.) y los costos directos (adquisición del sitio, la construcción de la obra...) que ponen los recursos de todos los que van a pagar por el proyecto dentro de un cuadro donde el diseñador del proyecto y todos los otros participantes deben estar de acuerdo.

Es necesario seguir un procedimiento o pasos que permitan preparar una estimación con el fin de reducir al mínimo los errores y obtener resultados confiables. Los tipos de estimaciones que se vayan a realizar dependen del nivel de detalle que se quiera lograr.

Antes de iniciar el diseño se usa una unidad de medida que abarque todo el proyecto y con el cual se caracteriza lo que se va a construir; ejemplo casa de área 100 m<sup>2</sup>, para la cual debe existir el valor unitario del m<sup>2</sup> de edificación, que al multiplicarse por el área total nos arroja el valor total, esta técnica es útil para cuando no se tienen los detalles del diseño, dando resultados con un margen de error de +/- 10% del costo real.

Para especificar más detalle del diseño, las estimaciones constan de dos partes:

- ✓ El diseño preliminar que permite hacer una revisión antes de diseñar al detalle, revisión que se puede llevar a cabo cuando se tenga aproximadamente el diseño del 40% total del proyecto.
- ✓ Luego de aprobarse la etapa preliminar se realiza el diseño final que termina con la entrega de los planos permitiendo realizar una cotización.

Cuanto más cerca esté la ejecución del proyecto, más seguro se vuelve el presupuesto, debido a que una considerable cantidad de tiempo puede pasar entre el momento que se proponga el proyecto y el tiempo en que sea construido.

Es necesaria la realización de una estimación de costos para hacérsela conocer al dueño del proyecto y asegurarle que éste se encuentre dentro del presupuesto que tiene para realizarlo; además le permite tener un punto de comparación con respecto a las cotizaciones que le hayan presentado y escoger la que más se ajuste a su presupuesto. Dentro de la cotización se debe colocar el valor de la estimación realizada, calculado como la cuarta parte del 1% del valor total de la cotización, ya que no es seguro que el contratante acepte la cotización.

Los costos típicos incluidos en la faceta del cálculo del gasto preliminar incluyen.

**Costos de Producción:** son los que se generan en el proceso de transformar la materia prima en productos terminados: materia prima (costo de los materiales integrados al producto), mano de obra (que interviene directamente en la transformación del producto) y gastos de fabricación indirectos (intervienen en la transformación del producto, con excepción de la materia prima y la mano de obra directa).

**Costos Directos:** se pueden relacionar o imputar, independientemente del volumen de actividad, a un producto o departamento determinado. Los que física y económicamente pueden identificarse con algún trabajo o centro de costos.

- ✓ Costos de construcción de la obra

- ✓ Adquisición de terrenos
- ✓ Servicios, incluyen sanitarios y alcantarillado pluvial, líneas del agua, de gas y eléctrico
- ✓ Nivelación del sitio
- ✓ Control de erosión y sedimentación
- ✓ Pavimento de las calles, bordillos, cuneta y acera
- ✓ Paisaje

Los costos directos tienen una relación directa, precisa o claramente medible con el producto del que hacen parte, estos costos se consideran variables por la dependencia que tienen con el volumen de producción. La técnica del costeo directo puede aplicarse a los sistemas de costos conocidos (históricos, predeterminados, simples o estándar).

**Costos indirectos:** Son aquellos costos comprometidos, programados o planeados que se incurren para proveer y mantener la capacidad de producción. Todos los costos fijos se llevan directamente a los resultados del ejercicio en que se originan porque están en función del tiempo.

- ✓ Técnicos y administrativos
- ✓ Traslado de personal de obra
- ✓ Comunicaciones y fletes
- ✓ Construcciones provisionales
- ✓ Consumos varios
- ✓ Pagos de gerenciamiento del proyecto
- ✓ Requerimientos de permisos y bonos
- ✓ Pagos de diseño e inspección
- ✓ Costos de publicidad / mercadeo

### **5.3. FACTORES A TENER EN CUENTA DURANTE LA ESTIMACIÓN DE COSTOS.**

- ✓ Qué empresas distribuyen los productos, servicios y resultados que hay en el mercado. Cuáles son las condiciones de distribución de los mismos, las formas de pago y entrega del producto.
- ✓ Revisar bases de datos comerciales, que permitan ver los precios actuales y la variación de los mismos en el mercado para materiales y equipos necesarios.
- ✓ Estimar los costos dentro de los límites que la empresa halla establecido para la obra.
- ✓ Tener como guía las plantillas o formularios diseñados para llevar el control de costos.
- ✓ Revisar los promedios de costos de procesos anteriores similares al que se va a desarrollar para determinar más o menos el rango en el que debe quedar.
- ✓ Tener en cuenta el alcance del proceso, incluyendo los imprevistos que generan gastos adicionales hasta el cumplimiento de las fechas de entrega.
- ✓ Según la carta de procesos o diagramas de flujo que muestran cada una de las actividades y recursos que contiene el proceso, hacer una descripción del producto que se va a entregar y como se va a ejecutar, es decir; como quedará el proceso terminado y como se realizará cada actividad contenida dentro del mismo.
- ✓ Teniendo en cuenta la planificación de procesos, se debe hacer la respectiva planeación, supervisión y control de los costos estimados para el desarrollo del proceso.
- ✓ El cronograma o control de tiempo analizado en el capítulo anterior es de gran importancia para la estimación de costos, si la duración ya programada se altera por algún imprevisto sin una debida planeación, los costos se verán igualmente alterados.
- ✓ Los costos del personal también son de mucha importancia (mano de obra) para la ejecución de las obras.
- ✓ Analizar los riesgos durante la ejecución del proceso y tener en cuenta los costos que genera la respuesta a los mismos.

#### **5.4. GUÍA PARA EL CONTROL DE COSTOS**

Hacer énfasis en los factores que puedan afectar los costos inicialmente presupuestados y controlarlos de manera que se evite la variación o alteración de los mismos.

Los costos se pueden medir de diferentes maneras; Cuando se compromete a la orden de adquisición, se realiza el pedido, se entrega el elemento o se registra el costo para control de presupuesto. En los proyectos de poco alcance, la estimación de costos y preparación del presupuesto se consideran un solo proceso. El análisis de costos de un proyecto se encarga de medir los recursos necesarios para complementar las actividades que conforman cada proceso, igualmente sirve como medida para tomar decisiones como limitar algunas actividades teniendo en cuenta el valor que agrega cada una de ellas, mejorando cada vez más la calidad y el rendimiento del proceso a terminar.

#### **5.5. COSTOS DIRECTOS EN LA OBRA**

La construcción está enfocada como un sistema de costos por ordenes de producción en la que el total de costos es consumido por una orden específica y por esta razón sus estimaciones se hacen con base a parámetros de diseño ya establecidos, que permiten mostrar informes que puedan ser usados fácilmente para la evaluación del proceso y toma de decisiones en una filosofía de mejora continua. En este tipo de sistema se puede presentar aumento de costos en los recursos (materiales, mano de obra, herramienta...), que se ven reflejados en los análisis de precios unitarios.

Un análisis detallado de costos de una obra, se apoya para su estimación en la WBS (desglose de los proyectos en procesos, tareas y actividades), en el APU (análisis de precios unitarios) y en la desagregación de recursos (costos indirectos).

Para preparar una estimación detallada de los costos del proyecto se requieren los siguientes pasos:

- ✓ Desglosar el proyecto en ítems o procesos y cada uno de estos en sus respectivas tareas y estas en actividades, es decir; separar el proyecto en subcomponentes que generan gastos y estimar los costos según las características de los recursos necesarios en el proyecto.
- ✓ Definir las cantidades de obra para cada proceso, según diseños y especificaciones ya establecidas.
- ✓ Determinar los precios de las cantidades de obra que se definieron en el paso anterior; para este paso es posible basarse en el análisis de recursos.
- ✓ Armar las cuadrillas que incluyan el número de trabajadores (oficiales x ayudantes) y el equipo requerido para la realización del trabajo.
- ✓ Según las cuadrillas se debe también definir la producción por hora o rendimiento, teniendo en cuenta la tecnología y equipos utilizados.
- ✓ Estimar la eficiencia en el lugar de la obra.
- ✓ Calcular el precio unitario.
- ✓ Calcular el precio total del ítem, multiplicando la cantidad de obra por el precio unitario.

**5.5.1. Definición de Ítems.** Subdividir el proyecto en procesos (ítems), que contengan tareas y estas actividades, origina una estructura de trabajo denominada **WBS**. Un proyecto en el que no se realiza una definición del alcance en forma correcta, puede tener grandes problemas en su planeación, ejecución y control, por lo que su probabilidad de éxito se reduce considerablemente. En la administración de proyectos moderna, la WBS (**Work Breakdown Structure**) (Estructura de división de trabajo) se ha convertido en una herramienta fundamental. Se puede decir que es la base para saber qué se quiere hacer, limitándose por el tiempo, costo, calidad, riesgos, adquisiciones, comunicaciones y recursos humanos, de forma integral. Para el desarrollo de la WBS se recomienda usar la técnica de descomposición de tareas y tomar como referencia plantillas de proyectos similares anteriores, su representación se realiza de forma gráfica o por medio de tablas. Para la realización de la WBS podemos tomar como base las cartas de procesos o los diagramas de flujos realizados en el capítulo de planeación, pues de igual manera nos muestran el desglose de los procesos en tareas y actividades.

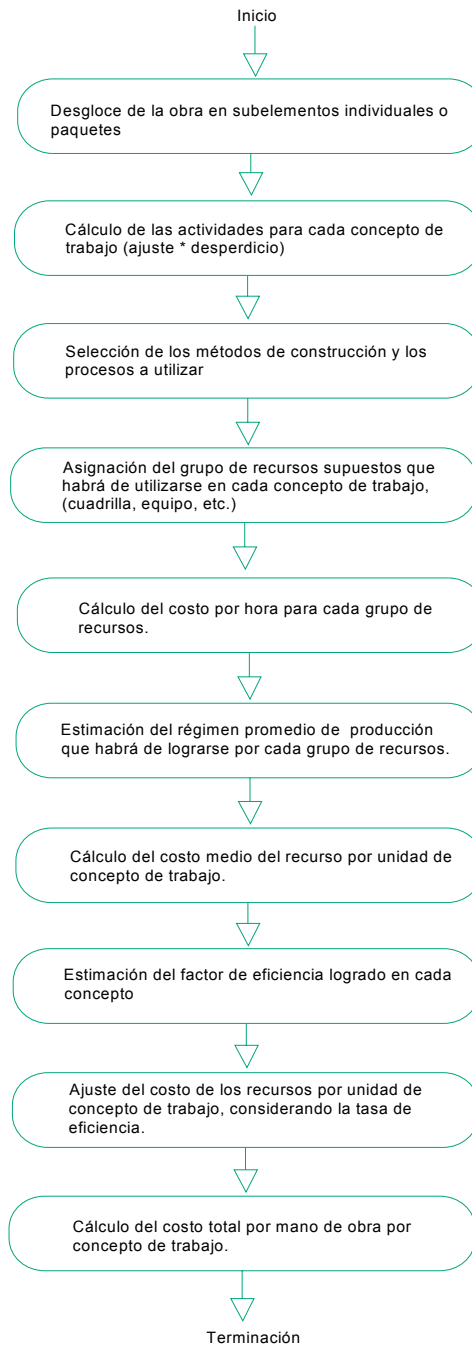
En construcción cada ítem está relacionado con cada uno de los procesos que componen el proyecto, por ejemplo: excavación, mampostería o armado de muros, fundición de la placa etc....

Los costos detallados se pueden determinar utilizando el análisis de precios unitario y/o la enumeración de recursos; se debe definir las cantidades y las unidades correspondientes a cada material o recurso, conociéndose como recurso a las horas-hombre, materiales, horas-equipos, subcontrato y capital necesario para llevar a cabo la obra.

**3.5.2. Enumeración de Recursos.** Este método de enumeración de recursos se usa para algunos proyectos que tienen diseños de estructuras únicos y requieren algunos procedimientos o procesos especiales durante su ejecución; para este caso el costo se calcula descomponiendo estos procesos en subcaracterísticas y asignándole un grupo de recursos a estas, la productividad obtenida para este grupo de recursos debe estimarse con datos históricos o con la intuición ingenieril.

Se pueden seguir unos pasos para la estimación si se utiliza enumeración de recursos como se puede ver en la figura 84:

Figura 84. Método de estimación por enumeración de recursos<sup>10</sup>



Fuente: *Conceptos financieros y de costo en la industria de la construcción. Halpin Daniel*

<sup>10</sup> HALPIN W., Daniel. *Conceptos Financieros y de costos en la industria de la Construcción*. México: Limusa 1997. p242.

Una de las ventajas de este método es que permite organizar las cuadrillas y recursos que se necesiten. La enumeración de recursos es recomendable usarla, en proyectos para los cuales no haya datos disponibles de precios unitarios, en proyectos de gran costo los cuales constituyen un gran porcentaje del costo total de la obra y cuando un análisis de costos tan preciso puede conducir a economías de costo que proporcionaran la utilidad en el tiempo de la cotización; también para proyectos muy complejos complicados y únicos para los que no sea adecuado asignar precios unitarios.

La ecuación básica para la asignación de precios unitarios está determinada de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Costos de recursos por unidad de tiempo}}{\text{Tasa de producción}} = \frac{\$ \text{ hora}}{\text{Unidad / hora}} = \$ / \text{Unidad}$$

**5.5.3. Análisis De Precios Unitarios.** Costo unitario está definido como la relación de recurso a la tasa de producción, se analiza el costo directo por mano de obra y materiales. La asignación de precios unitarios se puede realizar teniendo en cuenta datos históricos o información suministrada por los proveedores de los recursos necesarios. Estos valores deben estar basados en la cuidadosa estimación de cantidades de obra, asignación de recursos, rendimientos que se tenga en la obra y costos detallados; este método ofrece mayor precisión en el la estimación obtenida, aunque trabajar un nivel de costos tan detallado requiere de mucho tiempo para el análisis.

El análisis de precios unitarios se calcula usando la siguiente operación:

$$\$ \text{ costo} = \text{cantidad} * \text{preciounitario}$$

La cantidad es el valor arrojado mediante el análisis de cantidad de obra a ejecutar y los recursos necesarios para ello; el precio unitario es el obtenido por un estudio de mercadeo a través de los proveedores.

El siguiente es un gráfico que muestra los pasos para hacer una estimación de costos:

Figura 85. Pasos del proceso de estimación. Halpin. *ibid.*, p. 2.50



Fuente: *Conceptos financieros y de costos en la industria de la construcción. Halpin Daniel*

El proyecto se subdivide en ítems, o paquetes de trabajo. Determinar las cantidades de obra y asignarle el precio a cada una, calcular las extensiones es decir el precio unitario por la cantidad total y verificarlas, guiándose por la intuición ingenieril y los datos históricos; se aplican los factores y un margen de utilidad para llevarla a la etapa final. Desde los pasos 3 al 6, se deben aplicar las fórmulas para el cálculo de costos, que se vieron anteriormente: (cantidad  $\times$  precio unitario). Los pasos 1 y 2 sólo requieren experiencia profesional y conocer muy bien los procesos que se van a realizar dentro de la obra y cómo se deben realizar. Los pasos 7 y 8 también requieren de experiencia y juicio de ingeniería.

Para realizar un análisis de precios unitarios de un proceso de construcción es necesario cuantificar los recursos necesarios; materiales, mano de obra, Herramientas y Equipos.

**Materiales:** Para la estimación de los materiales necesarios en un proceso se hace el cálculo de cantidades de obra, utilizando planos y especificaciones de diseño que permitan identificarlos por ítem y determinar las cantidades necesarias, en este paso se debe tener en cuenta para cada material un factor de desperdicio que se genera en obra por transporte, corte, desperfectos etc., cosa que se refleja en la necesidad de adquirir un poco más de material del que se ve en la construcción. El grado de éxito en un proceso se ve afectado por la calidad de los materiales empleados en su ejecución.

“Es recomendable que el valor de desperdicio de materiales 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”.<sup>11</sup>

En el momento de la determinación de los materiales, se debe usar las unidades apropiadas que permitan estimar fácilmente su costo; hay que tener en cuenta que existe una serie de errores que se pueden tratar de minimizar o evitar; como son los errores de tipo aritmético: suma, resta y multiplicación. Otros se pueden presentar al equivocarse copiando cifras, dimensiones o cantidades; Tener fuentes de datos erradas, como por ejemplo obtener factores erróneos de desperdicios etc. La asignación de materiales debe hacerse con especial cuidado ya que ellos representan un alto porcentaje en el costo total de los procesos. En la construcción se pueden identificar varios tipos de materiales como son: materia prima (madera, acero, cemento, arena...); Componentes (tornillos, cables...); material en proceso (prefabricados de elementos de hormigón, moldajes...); productos terminados (tuberías, perfiles de acero...) e insumos.

El costo de material que aparece en el APU debe corresponder al material entregado en obra o simplemente el valor de compra, pero teniendo cuidado de incluir un costo adicional en el análisis

---

<sup>11</sup> 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.

correspondiente a transporte cargue y descargue de materiales, además del pago de impuestos. Es necesario realizar dibujos que muestren las especificaciones y detalles de las cantidades de obra calculadas, pues son de mucha ayuda y guía para las personas que realizan el trabajo de campo, además permiten hacer una verificación de los materiales según los cálculos.

### Ejemplo 3.1

Muestra de las cantidades de obra para un muro en mampostería.

Figura 86. Cantidades de obra para mampostería



Fuente: Los autores

Además se puede hacer una hoja de recapitulaciones que tenga un listado, según el tipo de material para cada ítem, que contenga las cantidades totales del material requerido, subcantidades y cálculo del material de desperdicio. El siguiente formato es una guía para llevar el control de esto.

Tabla 37 Formato para el cálculo de cantidades de obra.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	DESPERDICIO	CANTIDAD TOTAL

Fuente: Halpin Daniel

**Mano de obra:** Este recurso esta presente en cada análisis unitario, como ya se mencionó se maneja por cuadrillas de trabajo, denotadas como (Oficial X Ayudante), su valor se da según el tiempo dedicado a la elaboración del proceso, para estas estimaciones existen estudios previos, en los cuales para una lista de procesos esta expuesto el tamaño de la cuadrilla base, número de oficiales y numero de ayudantes y el rendimiento que tienen en la labor, es decir cantidad de trabajo por unidad de tiempo. Con esto y la programación de tiempos para el proceso se obtiene la cantidad de personal necesaria para su ejecución. El análisis se complementa con el valor de salario pago, que dependerá de los acuerdos internos con administración y según la especialidad del trabajador; para obtener el valor total de horas hombre en el proceso. En la asignación de la mano de obra a las diferentes actividades es necesario tener presente la capacidad del personal y su importancia en la obra; El factor humano en la construcción es el elemento más importante ya que sólo con su participación es posible realizar la ejecución de los trabajos

**Herramientas y equipo:** La asignación de este recurso se hace con previo conocimiento del método de trabajo que se va a utilizar y la cantidad de obra asignada, esto para garantizar que cada obrero tenga su herramienta de trabajo y así evitar retrasos. El rendimiento de la herramienta se da según su vida útil o según la cantidad usada en un conjunto de procesos, se maneja como unidad (Global). En algunos casos el valor de la herramienta en un proceso no se detalla si no que se asigna como valor el 5% del valor parcial calculado para la mano de obra, esta estimación suele ser bastante acertada.

Los equipos utilizados en un proceso pueden ser arrendados, de propiedad del constructor o por **leasing**; el arrendamiento de equipos es la solución más acertada cuando se trabaja en proyectos pequeños ya que no se incurre en un gran costo y se tiene la posibilidad de usar equipos en excelente estado. Si el equipo es arrendado, el valor que aparece en el análisis será el de renta, en el que está incluido el mantenimiento, operario, combustible, tarifa del proveedor y demás factores según el acuerdo hecho entre arrendatario y arrendador; si el equipo se compra se tendrá un costo muy alto en el proceso, pero se debe tener en cuenta que estará disponible para una próxima operación. La adquisición de equipos por **leasing** significa que se paga un valor de arrendamiento y al final del proyecto le es cedido el equipo a la obra.

Luego de todas estas estimaciones se debe llenar un formato en el que se muestre; El nombre de la actividad analizada, su valor de medida y los costos de cada tipo de material presente.

Tabla 38. Formato para la presentación de APU

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROPONENTE:				FECHA	
PROYECTO:					
CAPITULO:				UNIDAD	
ITEM:					
RECURSO:					
No. ART.	DESCRIPCION	UNID.	REND.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
	SUBTOTAL RECURSO				
	<b>VALOR REDONDEADO SUBTOTAL DE RECURSO</b>				

Fuente: Los autores

### Ejemplo 3.2:

Análisis de precios unitarios para el proceso de mampostería: Como ya se mencionó la construcción depende de órdenes y diseños, por lo tanto para la estimación de costos es fácil estimar los recursos necesarios. El análisis de precios unitarios se hace para una medida básica, por ejemplo para el análisis de la construcción de un muro de mampostería se tomará como medida el m<sup>2</sup>, es decir que el consumo de recursos se debe presentar por m<sup>2</sup> de muro.

El primer paso es tener la lista de actividades y tareas productivas que son necesarias para completar el proceso, resultado de una adecuada planeación según lo visto en el capítulo 3 de este trabajo.

*Tabla 39. Planeación del proceso de mampostería*

<b>MAMPOSTERÍA (1m2)</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>
<b>REPLANTEO DEL MURO</b>
Medición de límites y ángulos rectos sobre la corona
Marcaación de límites y espesor del muro
<b>PREPARACIÓN DEL MORTERO</b>
Acarreo interno de los materiales.
Dosificación de materiales.
Preparación de mezcla 1:2:3.
<b>ARMADO DEL MURO</b>
Picar la superficie de apoyo para mejor adherencia
Colocación de ladrillos
Distribución del mortero.
Verificación de nivelación.
<b>LIMPIEZA DEL MURO</b>
Brechado del muro
Limpieza de residuos del mortero de pega sobre el muro.

*Fuente: Los autores*

Para cada tarea se hace necesario elaborar un Análisis de Precios Unitarios APU, con los recursos que sean necesarios. A continuación se hace la asignación de cada tipo de recursos, materiales, mano de obra y Herramientas.

**Recurso: Materiales.**

Es la materia prima que se va a transformar, se debe estimar que cantidad se necesita por unidad de APU. La asignación de materiales se hace según el requerimiento del diseño y luego de hacer un análisis del mercado para tener productos a buen precio y de buena calidad.

En la tabla # 40 se enumeran los materiales necesarios para realizar cada actividad, los espacios en blanco corresponden a aquellas actividades que requieren de herramientas y equipos pero no de materiales.

*Tabla 40 Planeación de materiales para mampostería*

<b>MAMPOSTERÍA (1m<sup>2</sup>)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE MATERIALES</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>REPLANTEO DEL MURO</b>		
Medición de límites y ángulos rectos sobre la corona		
Marcación de límites y espesor del muro		
<b>PREPARACIÓN DEL MORTERO</b>		
Acarreo interno de los materiales.		
Dosificación de materiales.		
Preparación de mezcla 1:2:3.	Agua Cemento Arena	m <sup>3</sup> Kg. m <sup>3</sup>
<b>ARMADO DEL MURO</b>		
Picar la superficie de apoyo para mejor adherencia		
Colocación de ladrillos	Ladrillos	UN
Distribución del mortero.	Motero de pega.	m <sup>3</sup>
Verificación de nivelación.		

LIMPIEZA DEL MURO		
Brechado del muro	Agua	m <sup>3</sup>
Limpieza de residuos del mortero de pega sobre el muro.		

*Fuente: Los autores*

### **Recuso: Herramientas y Equipos:**

La asignación de herramientas para cada actividad se hace conociendo el método de trabajo que se va a desarrollar. Las herramientas tienen una vida útil considerable lo que significa que puede ser usada en más de un proceso por lo tanto es necesario saber cual es su duración, para qué cantidad del proceso analizado es útil la herramienta, con este valor se halla un rendimiento global de la herramienta analizada. Se debe tener presente la cantidad de personas que estarán trabajando y las precedencias de trabajo para asignarles las herramientas necesarias

*Tabla 41. Planeación de Herramientas y equipos para mampostería*

MAMPOSTERÍA (1m <sup>2</sup> )		
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO	UNIDAD
REPLANTEO DEL MURO		
Medición de límites y ángulos rectos sobre la corona	Cinta métrica Escuadra	Global
Marcación de límites y espesor del muro	Cimbra Pita	Global

PREPARACIÓN DEL MORTERO		
Acarreo interno de los materiales.	Carretilla Pala Balde	Global
Dosificación de materiales.	Balde Pala	Global
Preparación de mezcla 1:4	Pala Manguera	Global
ARMADO DEL MURO		
Picar la superficie de apoyo para mejor adherencia	Cinzel Martillo	Global
Colocación de ladrillos	Palustre Andamios	Global
Distribución del mortero.	Palustre	Global
Verificación de nivelación.	Nivel Plomada	Global
LIMPIEZA DEL MURO		
Brechado del muro	Paleta de brechado	Global
Limpieza de residuos del mortero de pega sobre el muro.		

*Fuente: Los autores*

#### **Recurso Mano de Obra:**

La mano de obra se asigna por cuadrillas (oficial x ayudante), para las cuadrillas se debe saber un rendimiento, es decir cuanto tiempo gastan en ejecutar determinada cantidad de obra, horas hombre (H - h), estos valores pueden tomarse de obras anteriores, experiencia,..etc. Existen unas tabulaciones realizadas por personas que trabajan en la construcción, en las que aparece una cuadrilla base para cada proceso y su rendimiento,

Tala 42. Planeación de mano de obra para mampostería

<b>MAMPOSTERÍA (1m<sup>2</sup>)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>	<b>DESCRIPCION DE MANO DE OBRA</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>REPLANTEO DEL MURO</b>		
Medición de límites y ángulos rectos sobre la corona	1X1	H - h
Marcación de límites y espesor del muro	0X1	H - h
<b>PREPARACIÓN DEL MORTERO</b>		
Acarreo interno de los materiales.	0X1	H - h
Dosificación de materiales.	1X1	H - h
Preparación de mezcla 1:2:3.	0X1	H - h
<b>ARMADO DEL MURO</b>		
Picar la superficie de apoyo para mejor adherencia	0X1	H - h
Colocación de ladrillos	1X0	H - h
Distribución del mortero.	1X0	H - h
Verificación de nivelación.	0X1	H - h
<b>LIMPIEZA DEL MURO</b>		
Brechado del muro	0X1	H - h
Limpieza de residuos del mortero de pega sobre el muro.	0X1	H - h

Fuente: Los autores

La cuadrilla de trabajo para mampostería es de (1X1), un oficial y un ayudante, para ellos hay un rendimiento asignado, con el cual es posible saber que tiempo demorarán en realizar el proceso y según eso y comparado con el tiempo asignado en la programación se podrá estimar la cantidad

de cuadrillas de trabajo necesarias. Es importante tener en cuenta que las cuadrillas de trabajo se deben aumentar en un factor constante, es decir si la cuadrilla es de (1X1) y se desea aumentar a 5 ayudantes la nueva cuadrilla será de (5 X 5), si se aumenta sólo los ayudantes y no el oficial el rendimiento de la cuadrilla se verá afectado.

El cálculo del costo de la mano de obra, será el de salario vigente para el año en curso. El salario mínimo legal vigente es \$484500 incluido auxilio de transporte, se calcula el valor correspondiente a una hora de trabajo, teniendo en cuenta que un día de trabajo corresponde a ocho horas.

$$484500 * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}} = 2018.75/\text{hora}$$

Valor unitario del ayudante: Se obtiene multiplicando el valor de salario- hora por un factor salarial de 2.2.

**Valor unitario del ayudante**  $2018.2 * 2.2 = 4440.04\$/\text{hora}$

Valor unitario del oficial: Es el valor pagado al ayudante incrementado en un 40%.

**Valor unitario del oficial**  $1.4 * 45440.04 = 6216.056\$/\text{hora}$

Para una cuadrilla de trabajo de (1X1) se toma un valor ponderado.

$$\frac{\# \text{Ayudante} * Vr_{\text{ayud.}} + \# \text{Oficial} * Vr_{\text{ofic}}}{\# \text{ayudante} + \# \text{Oficial}}$$

$$\frac{4440.04 + 6216.056}{2} = 5328.05$$

**Elaboración de APU de cada Tarea:**

**1. Replanteo del muro**

Para esta tarea los recursos necesarios son herramientas y mano de obra, el análisis se hará por m<sup>2</sup> de muro.

Tabla 43. APU Replanteo del muro

Recurso	Unidad	Rendimiento/ m <sup>2</sup>	Vr. Unitario\$	Vr. Parcial\$
Cinta métrica	Global	1	17498.6	17498.6
Escuadra	Global	1	3811.76	3811.76
Cimbra	Global	1	5000	5000
Pita	Global	1	3520	3520
M.O (1X1)	H - h	0.5	5328.05	2664.02
			<b>Total:</b>	<b>32494.3</b>

Fuente: Los autores

## 2. Preparación del mortero:

Se presenta el APU, para preparar 1 m<sup>3</sup>, de mortero 1:4

Tabla 44. APU Preparación del mortero

Recurso	Und.	Cantidad	Rendimiento /m <sup>2</sup>	Vr. Unitario\$	Vr. Parcial\$
Cemento	Kg	364	1.05	273.85	99681.4
Arena	m <sup>3</sup>	1.16	1.1	25520	29603.2
Agua	Lt.	180	1	12	2160
Carretilla	Und.	1	1	23700	23700
Pala	Und.	1	1	9704.56	9704.56
Balde	Und.	1	1	2534.6	2534.6
Manguera	Und.	1	1	10000	10000
M.O (1X1)	H - h	1	8	5328.05	42624.4
				Total:	<b>220008.2</b>

Fuente: Los autores

### 3. Armado del muro

Los recursos de este APU se asignaran para 1 m<sup>2</sup> de muro de 6 cm. de espesor.

Tabla 45. APU Armado del muro

Recurso	Unidad	Cantidad	Rendimiento /m <sup>2</sup>	Vr. Unitario\$	Vr. Parcial\$
Ladrillo	Und.	34	1	540	18360
Mortero de Pega 1:4	m <sup>3</sup>	0.007	1	220008.2	1540
Cinzel	Global	1	1	6050	6050
Palustre	Global	1	1	3139.92	3139.92
Martillo	Global	1	1	10044.44	10044.44
Andamio	Global	1	1	2000	2000
Plomada	Global	1	1	11600	11600
Nivel	Global	1	1	4571.56	4571.56
M.O (1X1)	H - h	1	1.6	5328.05	8524.88
				<b>Total:</b>	<b>65830.8</b>

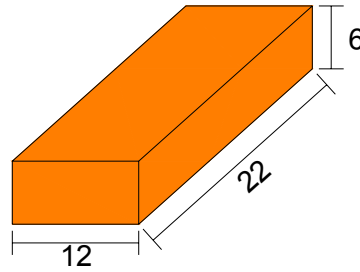
Fuente: Los autores

El cálculo de las cantidades se explica a continuación:

**Ladrillo:** Inicialmente se escoge el tipo de ladrillo a utilizar, esto dependerá del diseño y de las facilidades de consecución y su costo; luego se debe ver según el ancho del muro la forma en que debe ponerse el ladrillo.

Ejemplo: si se escoge el ladrillo común de medidas 22 x 12 x 6 cm., hay tres posibilidades de colocarlo, sogá, papelillo o tizón.

Figura 87. Ladrillo H12



Fuente: Los autores

Al colocar el ladrillo como soga se tendría un espesor de muro de 12 cm, en papelillo el espesor del muro sería de 6 cm y en tizón de 22cm, para este ejemplo se hace el análisis para un muro de 6 cm de espesor (papelillo).

Para un metro cuadrado de muro se necesitaría:

El área expuesta de cada ladrillo es:  $0.22 \times 0.12 = 0.0264 \text{ m}^2$ , por cada dimensión se anexa 1cm correspondiente al mortero de pega, área:  $0.23 \times 0.13 = 0.029 \text{ m}^2$

Para un metro de área expuesta de muro se necesita:  $\frac{1}{0.029} = 33.34 \cong 34$  ladrillos

**Mortero:** El mortero de pega es 1:4

Volumen del muro:  $1 \times 1 \times 0.06 = 0.06 \text{ m}^3$ .

Volumen de ladrillos:  $33.44 \times (0.22 \times 0.12 \times 0.06) = 0.053 \text{ m}^3$

El volumen de mortero será la diferencia entre el volumen total del muro y el de los ladrillos:  $0.06 - 0.053 = 0.007 \text{ m}^3$ . Con el valor de  $1 \text{ m}^3$  de mortero calculado en la tarea anterior se podrá saber su valor total.

Para  $1 \text{ m}^3$  de mortero se necesita

Cemento: 364 Kg.

Arena:  $1.16 \text{ m}^3$

Agua: 180 Litros.

4. Limpieza del muro:

Tabla 46. APU Limpieza del muro

Recurso	Und.	Cantidad	Rendimiento /m <sup>2</sup>	Vr. Unitario\$	Vr. Parcial\$
Paleta de brechado	Und.	1	1	6500	6500
Agua	Lt	50	1	12	600
M.O (0X1)	H - h	1	1	4440.04	4440.04
				<b>Total:</b>	<b>11540.04</b>

Fuente: Los autores

El valor total del proceso será la suma de de los APU de las tareas.

Tabla 47. Costo total Proceso de mampostería

TAREA	VALOR
Replanteo del muro	220008.2
Armado del muro	65830.8
Limpieza del muro	11540.04
<b>Total:</b>	<b>297380</b>

Fuente: Los autores

El costo directo para hacer u muro de 1m<sup>2</sup>, es de \$297380, hay que tener en cuenta que este valor es alto debido a que la herramienta menor se compro en su totalidad, para un sólo proceso, se

puede reducir el costo si se asigna la herramienta como el 5% de el costo de la mano de obra o si se coloca su rendimiento, teniendo en cuenta que el muro hace parte de una obra completa.

## **5.6. RECURSOS EN EL TIEMPO**

Una buena asignación de uso de recursos en un proceso se logra teniendo en cuenta los tiempos de holgura existentes en las actividades, para determinar la fecha de inicio, entre el tiempo temprano y el tardío; conocer esta fecha permite establecer el momento de adquisición y uso de los materiales que se han programado , cada tiempo de elección de inicio de una actividad conducirá a una fecha diferente de asignación de recursos, esta decisión depende de las restricciones que se puedan presentar, ya sea por la disponibilidad de materiales o por la inflexibilidad en el tiempo programado para las actividades.

Cuando un recurso es usado por varias actividades dentro de un proceso, la asignación se hace según la importancia de la actividad, siendo primordiales las críticas. Se deben identificar aquellas actividades que pueden hacerse en varios periodos, es decir que puede iniciarse, ejecutarse un porcentaje y suspenderla para darle paso al inicio de una actividad mas importante.

Una manera de manejar los recursos es hacer su asignación para las actividades de un proceso día a día tratando de dar un buen uso a los recursos, como equipos y materiales y tratando de usar un número estándar de mano de obra durante todo el proceso.

Algunos aspectos a tener en cuenta en la asignación de recursos entre dos actividades son: si tienen igual requerimiento de recursos tiene prioridad aquélla con menor holgura; asignar recursos a la actividad que ya esta en proceso; a aquélla actividad que requiera más recursos por día; o la actividad que esté primero en la red. Este procedimiento ayuda a hacer una buena asignación de cada tipo de recurso usado y a conocer todas las fechas de adquisición y uso.

Otra forma de hacer la asignación es teniendo las fechas y cantidades de recursos disponibles en el tiempo, es decir tener como guía los recursos limitados y las actividades críticas, hacer la

programación de las actividades críticas y asignar fechas a las actividades no críticas según los recursos que queden disponibles y teniendo cuidado de que el uso de la mano de obra este en un mismo nivel y que el uso de materiales equipos y herramientas sea el más eficiente, usando los equipos en el menor de los tiempos para disminuir los costos de alquiler.

La asignación inicial de recursos se debe hacer teniendo en cuenta que durante la ejecución se pueden presentar cambios en el tiempo asignado para una actividad y la disponibilidad de los recursos. Si se disminuye el tiempo de una actividad se va a necesitar comprar los materiales más rápido y aumentar la mano de obra.

## 5.7. EJERCICIOS

### 5.7.1. EJERCICIOS RESUELTOS:

#### Ejercicio 1:

**Actividad:** Preparación de concreto de 3000 psi en obra con máquina

Dosificación en volumen de concreto. Los siguientes datos según laboratorio:

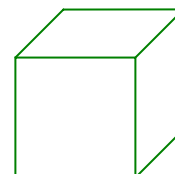
Tabla 48. Tipos de mezcla

MEZCLA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	AGUA	RESIST.
1:2:2	420 Kg.	0.67 m <sup>3</sup>	0.67 m <sup>3</sup>	180 – 200 Lt	3555 psi.
1:2:3	350 Kg.	0.56 m <sup>3</sup>	0.84 m <sup>3</sup>	160 – 180 Lt	3130 psi.
1:2:4	300 Kg.	0.48 m <sup>3</sup>	0.95 m <sup>3</sup>	145 – 170 Lt	2850 psi.
1:3:3	300 Kg.	0.72 m <sup>3</sup>	0.72 m <sup>3</sup>	145 – 170 Lt	2400 psi.

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

Para una dosificación 1:2:3 se requieren 350 Kg. de cemento

1 de cemento



2 de arena

3 de agua

Tarea: Preparación de concreto

Materiales: Cemento, arena, agua y grava.

Un saco de cemento ocupa un volumen correspondiente a un cubo de  $0.33 \times 0.33 \times 0.33$  m

$$V = 0.036 \text{m}^3 \text{ de cemento}$$

Según la relación que se está analizando: por 1 de cemento 2 de arena y 3 de triturado. Los volúmenes de arena y triturado necesarios serán:

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

$$\text{Triturado: volumen de cemento} \times 3: \quad 0.036 \text{m}^3 \times 3 = 0.108 \text{m}^3$$

$$\text{El volumen total obtenido es de:} \quad 0.072 + 0.108 + 0.036 = 0.216 \text{m}^3$$

Se asume un 20% de vacíos y el volumen real será de  $0.216 - 0.2 \times 0.216 = 0.173 \text{m}^3$ .

Según la tabla #48 para  $1 \text{m}^3$  de concreto 1:2:3, se necesitan 350 Kg. de cemento, es decir 7 sacos de 50 Kg. Si para un saco de cemento se necesitan  $0.072 \text{m}^3$  de arena, para siete sacos se necesitarán  $0.504 \text{m}^3$  de arena, de igual manera para el triturado si para 1 saco de cemento se requieren  $0.108 \text{m}^3$ , para siete sacos de cemento se requieren  $0.756 \text{m}^3$  de triturado

Cemento: 350 Kg.

Arena:  $0.504 \text{m}^3$  con 20% de vacíos:  $0.404 \text{m}^3$

Triturado:  $0.756 \text{m}^3$  con 20% de vacíos:  $0.6048 \text{m}^3$

Análisis de precios unitarios para preparar 1m<sup>3</sup> de concreto, asumiendo 10% de desperdicio.

Tabla 49. Análisis de precios unitarios para preparar 1m<sup>3</sup> de concreto

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
Cemento	Kg.	350*1.1	273.85	105432.25
Arena	m <sup>3</sup>	0.403*1.1	28000	12412.4
Grava	m <sup>3</sup>	0.608*1.1	32500	21736
Agua	Lt.	180	10	1800
Cdlla (0x4)	H - h	1	17760.16	17760.16
Herramienta	Unid.	--	17760*0.05	888
			TOTAL	<b>\$160028.81</b>

Fuente: Los autores

## Ejercicio 2

Realizar la estimación de precios unitarios para la construcción de una viga de amarre.

✓ Especificaciones:

Dimensiones: 0.4m\*0.4m\*6 m

Acero de refuerzo: Estribos de 3/8" L 1.4m cada 0.20m; refuerzo longitudinal 6 barras # 5 L 6.5 m.

✓ Identificación de actividades:

- Demarcación topográfica
- Excavación manual
- Compra de acero
- Transporte de acero
- Medición
- Corte de acero
- Compra de materiales para concreto
- Transporte de materiales
- Preparación del concreto
- Enderezado del acero
- Figurado del acero

- Amarre del acero
  - Fundición de la viga
- ✓ Identificación de Ítems, se agrupan las actividades por tareas productivas
- Excavación
  - Corte y figurado
  - Armado del refuerzo
  - Fundición
- ✓ Para cada ítem se identifican los recursos necesarios, (Mano de obra, herramienta, materiales).

*Tabla 50. Recursos para la excavación*

ITEM	RECURSO	
EXCAVACION (6horas)	Herramienta	cal
		Hilo
		Nivel
		Madera
		Puntillas
		Pica
		Pala
		Carretilla
		Barretón
	Mano de obra	Cdlla (0x2)

*Fuente: Los autores*

Tabla 51. Recursos para corte y figurado

ITEM	RECURSO	
CORTE Y FIGURADO (2horas)	Herramienta	Zizalla
		Flexómetro
		Dobladora
		Martillo
		Segueta
	Mano de obra	Cdlla (1x1)
	Materiales	Acero 3/8" y 5/8"

Fuente: Los autores

Tabla 52. Recursos para armado del refuerzo

ITEM	RECURSO	
ARMADO DEL REFUERZO (1,5 horas)	Herramienta	Flexómetro
		Ganchos para amarrar
		Martillo
	Materiales	Alambre #18
	Mano de obra	Cdlla(1x2)

Fuente: Los autores

Tabla 53. Recursos para la fundición

ITEM	RECURSO	
FUNDICIÓN (1 hora )	Herramienta	Carretilla
		Vibrador
		Mezcladora
		Baldes
		Palustres
		Caneca de 55 Gal.
		Pala
		Martillo
		Formaleta
	Materiales	Cemento
		Arena
		Agua
		Agregado
	Mano de obra	Cdlla(1x3)

Fuente: Los autores

✓ Cálculo de cantidades de obra para cada ítem:

**Excavación:** Se debe excavar una zanja de  $0.4 \times 0.4 \times 0.6$ , la cantidad de terreno excavada será:  
 $0.4 \times 0.4 \times 6 = 0.96\text{m}^3$

**Corte y figurado:** Se utiliza acero de  $3/8''$  para la fabricación e los estribos cada estribo utiliza 1.4 metros de barra y están ubicados cada 0.2m, es decir son 30 estribos en total. Lo que da una longitud total de acero de  $30 \times 1.4 = 42\text{m}$ , si la densidad de una barra de  $3/8''$  es de 0.559Kg/ml el peso de 42 metros es 23.48 Kg.

Para el refuerzo longitudinal se usa acero 5/8", seis barras de 6.5 metros cada una, para un total de  $6 * 6.5 = 32.5\text{m}$ , para una densidad de 1.553 Kg/ml, el peso del refuerzo longitudinal es 50.47 Kg.

**Armado:** Para el armado el material utilizado es el alambre #18 si se destinan 0.15 m por cada amarre y por cada estribo se hacen cuatro amarres se obtiene  $30 * 4 * 0.15 = 18\text{m}$ .

**Fundición:** La cantidad de mezcla necesaria será igual a la cantidad de material excavado  $0.96\text{m}^3$ .

- Rendimientos:

El cálculo de rendimientos de la mano de obra se hace teniendo conocimiento del tiempo y la manos de obra consumida en cada ítem.

$$\text{Excavación: } \frac{6\text{horas} * 2\text{hombres}}{0.96\text{m}^3} = 12.5 \frac{\text{h}-\text{H}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Corte y figurado: } \frac{2\text{horas} * 2\text{hombres}}{(23.48 + 50.47)\text{Kg}} = 0.054 \frac{\text{h}-\text{H}}{\text{Kg}}$$

$$\text{Armado: } \frac{3\text{hombres} * 1.5\text{horas}}{18\text{m}} = 2.5 \frac{\text{h}-\text{H}}{\text{m}}$$

$$\text{Fundición: } \frac{1\text{hora} * 4\text{hombres}}{0.96\text{m}^3} = 4.17 \frac{\text{h}-\text{H}}{\text{m}^3}$$

✓ APU, de cada ítem.

En cada APU se calcula el costo del material requerido con base a los valores unitarios ofrecidos por el mercado; la mano de obra teniendo en cuenta los valores ya calculados, en el ejemplo 3.1, donde \$6216.056 h/oficial y \$4440.04 h/ayudante. La herramienta se calcula como el 5% del costo de la mano de obra.

Tabla 54. APU para la excavación.

EXCAVACION				
Recurso	Unidad	Rendimiento	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Mano de obra	H-h	12.5	4440.04	55500.5
Herramienta	GL	0,05	55500.5	2775.02
			<b>Total</b>	58275.52

Fuente: Los autores

Tabla 55. APU para corte y figurado.

CORTE Y FIGURADO				
Recurso	Unidad	Rendimiento	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Mano de obra	H-h	0.054	5283.048	285.28
Material	Kg	73.95	1891.58	139882.67
Herramienta	GL	0,05	285.28	14.264
			<b>Total</b>	140182.22

Fuente: Los autores

Tabla 56. APU para armado del refuerzo.

ARMADO DEL REFUERZO				
Recurso	Unidad	Rendimiento	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Mano de obra	H-h	2.5	5002.04	12505.1
Material	ml	18	150	2700
Herramienta	GL	0,05	12505.1	625.25
			<b>Total</b>	15830.35

Fuente: Los autores

Tabla 57. APU para la fundición.

FUNDICIÓN /m <sup>3</sup>				
Recurso	Unidad	Rendimiento	Vr. Unitario	Vr. Parcial
Mano de obra	H-h	4.17	4861.554	20272.68
Material	m <sup>3</sup>	0.96	160028.81	153627.65
Herramienta	GL	0,05	20272.68	1013.63
			<b>Total</b>	174913.96

Fuente: Los autores

El valor estimado para la construcción de una viga de amarre de 0.4\*0.4\*6 es la suma de los valores parciales obtenidos en cada APU.

Tabla 58. Valor total de la construcción de la viga de amarre.

<b>ITEM</b>	<b>Vr. PARCIAL</b>
Excavación	58275.52
Corte y figurado	140182.22
Armado	15830.35
Fundición	174913.96
<b>Vr. Total</b>	<b>\$389202.05</b>

Fuente: Los autores

**Ejercicio 3:**

Análisis de precios unitarios para el proceso de descapote.

Tabla 59. Recursos para el proceso de descapote

PROCESO	DESCAPOTE	
Tareas	1. Excavación manual	
	2. Acarreo interno	
	3. Cargue en volqueta	
	4. Retiro final	
<b>1. Excavación manual</b>		
Tarea		
Recursos	Mano de obra	Cdlla (0x1)
	Herramienta	pica
		pala
		cabos de repuesto
<b>2. Acarreo interno</b>		
Tarea		
Recursos	Mano de obra	Cdlla (0x1)
	Herramienta	Carretilla
		pala
<b>3. Cargue en volqueta</b>		
Tarea		
Recursos	Mano de obra	Cdlla (0x1)
	Herramienta	pala
<b>4. Retiro final</b>		
Tarea		
Recursos	Equipo	volqueta

Fuente: Los autores

Análisis unitario para la mano de obra:

Tabla 60. APU Mano de obra para descapote

TAREA	RECURSO	UNIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNIT	VR. PARCIAL
Excavación manual	Cdlla (0x1)	H - h	0,52	5328.05	2770.586
Acarreo interno	Cdlla (0x1)	H - h	0,44	5328.05	2344.342
Cargue volqueta	Cdlla (0x1)	H - h	0,195	5328.05	1038.96
Retiro final	Cdlla (0x1)	H - h	2,73	5328.05	14545.57
				<b>Total</b>	<b>20699.47</b>

Fuente: Los autores

El valor de la herramienta se calcula como el 5% del costo de la mano de obra

Tabla 61. APU Herramienta para descapote

TAREA	RECURSO	UNIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNIT	VR. PARCIAL
Excavación manual	Herramienta	GL	0.05	2770.586	138.53
Acarreo interno	Herramienta	GL	0.05	2344.342	117.22
Cargue volqueta	Herramienta	GL	0.05	1038.96	51.49
Retiro final	Herramienta	GL	0.05	14545.57	727.27
				<b>Total</b>	<b>1034.51</b>

Fuente: Los autores

El costo directo del proceso de replanteo de la suma de los dos análisis:

Costo directo:  $10935.815 + 1034.51 = \$11970.33$

**Ejercicio 4:**

Según el análisis de precios unitarios, correspondiente al proceso de mampostería visto en este capítulo, se hace el análisis de aplicación de ley de Pareto, buscando mejorar el proceso.

**Los recursos de este APU se asignaran para 1 m<sup>2</sup> de muro, usando ladrillo tolete común.**

*Tabla 62 APU muro con ladrillo tolete común*

Recurso	Und.	Cantidad	Rendimiento/ m <sup>2</sup>	Vr. Unitario\$	Vr. Parcial\$
Ladrillo	Un.	34	1	540	18360
Mortero de Pega 1:4	m <sup>3</sup>	0.007	1	220008.2	1540
Cinzel	Global	1	1	6050	6050
Palustre	Global	1	1	3139.92	3139.92
Martillo	Global	1	1	10044.44	10044.44
Andamio	Global	1	1	2000	2000
Plomada	Global	1	1	11600	11600
Nivel	Global	1	1	4571.56	4571.56
M.O (1X1)	H - h	1	1.6	5328.05	8524.88
				<b>Total:</b>	<b>65830.8</b>

*Fuente: Los autores*

**Aplicando la ley de Pareto:** Mediante la aplicación de la ley de Pareto (80/20), como herramienta utilizada para priorizar los problemas, aclarando así que el porcentaje de las causas resuelven el 80 % del problema y el 80% de las causas sólo resuelven el 20% del problema.

Para la selección del recurso a mejorar, se tiene en cuenta el método gráfico de Pareto, que se realiza consignando en una tabla los siguientes datos:

**1. Recursos susceptibles a mejorar:**

La tabla 62 del análisis de precios unitarios vista en el enunciado, se debe ordenar descendientemente según el valor parcial, luego adicionarle una columna correspondiente al valor acumulado del valor parcial en orden descendente y otra columna que se adiciona correspondiente al porcentaje de la segunda. (Ver tabla 63).

Los recursos de este APU se asignaran para 1 m<sup>2</sup> de muro usando ladrillo tolete común, ordenados descendentemente:

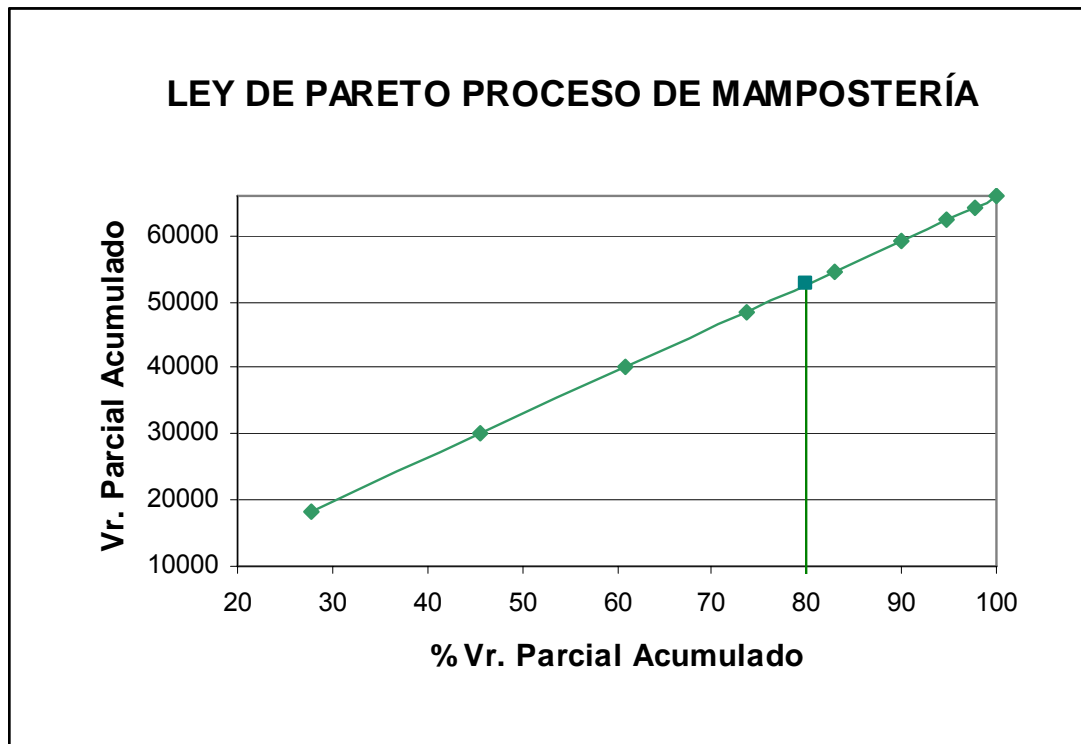
Tabla 63. APU ordenado descendentemente el Vr., parcial

Recurso	Unidad	Cantidad	Rendimiento/m <sup>2</sup>	Vr. Unitario\$	Vr. Parcial\$ en orden descendente	Acumulado Vr. Parcial\$ en orden descendente	% acumulado Vr. Parcial\$ en orden descendente
Ladrillo	Un.	34	1	540	18360	18360	27.88%
Plomada	Global	1	1	11600	11600	29960	45.51%
Martillo	Global	1	1	10044.44	10044.44	40004.44	60.76%
M.O (1X1)	H - h	1	1.6	5328.05	8524.88	48529.32	73.71%
Cinzel	Global	1	1	6050	6050	54579.32	82.90%
Nivel	Global	1	1	4571.56	4571.56	59150.88	89.85%
Palustre	Global	1	1	3139.92	3139.92	62290.8	94.62%
Andamio alquilado	Global	1	1	2000	2000	64290.8	97.66%
Mortero de Pega 1:4	m <sup>3</sup>	0.007	1	220008.2	1540	65830.8	100%

Fuente: Los autores

Se realiza una grafica de valor acumulado vs. % de valor acumulado, en las abscisas se traza una línea vertical que corresponda al 80% del valor acumulado cortándola con la gráfica, los recursos contenidos bajo la curva y el 80%, es decir, ladrillo, plomada, martillo y mano de obra; son susceptibles a modificarse, dentro de los cuales se escoge el correspondiente al ladrillo, siendo éste uno de los más influyentes sobre el presupuesto final.

Figura 88. Ley de pareto para el proceso de mampostería



Fuente: Los autores

2. Las alternativas de ladrillos, para mejorar son las siguientes.

A<sub>1</sub>: Ladrillo tolete común utilizado inicialmente en el proceso

A<sub>2</sub>: Ladrillo H-10 \$798

A<sub>3</sub>: Ladrillo H-12

3. criterios de selección:

Costo: C<sub>1</sub>: 0.30  
 Funcionalidad: C<sub>2</sub>: 0.30  
 (Resistencia, peso, durabilidad, manejabilidad, estética).  
 Mantenimiento: C<sub>3</sub>: 0.10  
 Disponibilidad de recursos: C<sub>4</sub>: 0.30

4. Ponderación y evaluación de cada alternativa

Tabla 64. Evaluación de la alternativa a mejorar

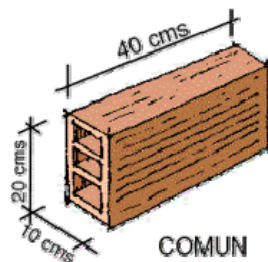
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	TOTAL
A <sub>1</sub>	0.18	0.28	0.08	0.20	0.74
A <sub>2</sub>	0.30	0.28	0.08	0.20	<b>0.86</b>
A <sub>3</sub>	0.25	0.25	0.08	0.20	0.78

Fuente: Los autores

Para evaluar en función de costos, se hizo el análisis de precios unitarios para las dos alternativas de ladrillos que se proponen.

**A<sub>2</sub> Ladrillo H-10 \$798**

Figura 89. Ladrillo H-10



Fuente: SENA virtual

Al colocarlo como papelillo, o sea el espesor corresponde al lado más angosto 10 cm.

Para un metro cuadrado de muro se necesitaría:

El área expuesta de cada ladrillo es:  $0.4 \times 0.2 = 0.08 \text{ m}^2$ , por cada dimensión se anexa 1cm correspondiente al mortero de pega, área:

$$0.41 \times 0.21 = 0.086 \text{ m}^2$$

Para un metro de área expuesta de muro se necesita:

$$1 / 0.086 = 11.61 \approx 12 \text{ ladrillos}$$

Valor unitario del ladrillo H-10: \$ 798

Valor parcial: \$ 798\*12: \$ 9576

### **Mortero:**

El mortero de pega es 1:4

Volumen del muro:  $1 \times 1 \times 0.1 = 0.1 \text{ m}^3$ .

Volumen de ladrillos:  $11.64 \times (0.4 \times 0.2 \times 0.1) = 0.093 \text{ m}^3$

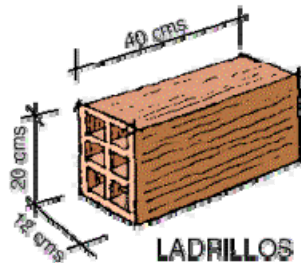
El volumen de mortero será la diferencia entre el volumen total del muro y el de los ladrillos:

$$0.1 - 0.093 = 0.007 \text{ m}^3.$$

Se necesita una menor cantidad de ladrillos si se coloca el H-10, y la cantidad de mortero de pega se mantiene con respecto al ladrillo inicialmente utilizado en el ejercicio, o sea el tolete común.

### **A<sub>3</sub> Ladrillo H-12**

*Figura 90. Ladrillo H-12*



*Fuente: SENA virtual*

Al colocarlo como papelillo, o sea el espesor corresponde al lado más angosto 12 cm.

Para un metro cuadrado de muro se necesitaría:

El área expuesta de cada ladrillo es:  $0.4 \times 0.2 = 0.08 \text{ m}^2$ , por cada dimensión se anexa 1cm correspondiente al mortero de pega, área:  $0.41 \times 0.21 = 0.086 \text{ m}^2$

Para un metro de área expuesta de muro se necesita:

$$1 / 0.086 = 11.61 \approx 12 \text{ ladrillos}$$

Valor unitario del ladrillo H-10: \$ 798

Valor parcial: \$ 798\*12: \$ 9576

**Mortero:**

El mortero de pega es 1:4

Volumen del muro:  $1 \times 1 \times 0.1 = 0.12 \text{ m}^3$ .

Volumen de ladrillos:  $11.64 \times (0.4 \times 0.2 \times 0.12) = 0.11174 \text{ m}^3$

El volumen de mortero será la diferencia entre el volumen total del muro y el de los ladrillos:

$$0.12 - 0.11174 = 0.00825 \text{ m}^3.$$

Se necesita un poco más de mortero si se coloca el ladrillo H-12, con respecto al que se necesita para las dos alternativas anteriores y la cantidad de ladrillos es igual si se usara el H-10. Por lo tanto sería un poco más costosa esta opción ya que se requiere más mortero.

5. la alternativa seleccionada es la correspondiente al mayor valor obtenido en la ponderación la cual es:  **$A_2 = 0.86$**
  
6. La opción seleccionada influye en los diseños definitivos modificando el presupuesto final, haciéndose más económico el presupuesto final, se mostrará nuevamente la tabla de APU del proceso de mampostería pero utilizando el ladrillo H-10.

Los recursos de este APU se asignaran para 1 m<sup>2</sup> de muro, usando ladrillo H-10.

Tabla 65. APU muro con ladrillo H-10

Recurso	Und.	Cantidad	Rdto./m <sup>2</sup>	Vr. Unitario \$	Vr. Parcial\$
Ladrillo	Un.	12	1	798	9576
Mortero de Pega 1:4	m <sup>3</sup>	0.007	1	220008.2	1540
Cinzel	Global	1	1	6050	6050
Palustre	Global	1	1	3139.92	3139.92
Martillo	Global	1	1	10044.44	10044.44
Andamio	Global	1	1	2000	2000
Plomada	Global	1	1	11600	11600
Nivel	Global	1	1	4571.56	4571.56
M.O (1X1)	H - h	1	1.6	5328.05	8524.88
				<b>Total:</b>	<b>57046.8</b>

Fuente: Los autores

El valor total del muro por m<sup>2</sup>, es \$ 8783.7 más económico con el ladrillo H-10, que con el ladrillo tolete común.

## 6. CONCLUSIONES

El aporte de este proyecto es brindar un texto que sirva de guía para el conocimiento de los temas básicos de la administración de obra como lo son planeación, programación de tiempos y estimación de costos,

La industria de la construcción, debe implementar los cambios que ha tenido la gerencia moderna, empleando métodos de planeación y ejecución de proyectos, enfocados a sistemas y procesos, que le permitan un mejor control y optimización en cada una de las obras que se realicen.

Planear, programar, estimar costos y modelar nuevos procesos implantando sistemas de medición que faciliten el adecuado control, con el fin de estar preparados para evitar o responder a imprevistos en cada uno de los procesos, proporcionarán proyectos más rentables.

La aplicación y uso de las técnicas y herramientas de planeación permiten un buen diseño y entendimiento del funcionamiento interno entre procesos y actividades contenidas en un proyecto para obtener como resultado una mejor manera de dirigirlos.

Con la determinación de las duraciones y precedencias de las actividades se crea una herramienta muy útil, para en el desarrollo de la obra poder hacer un buen seguimiento tanto de las actividades, como de los recursos y la mano de obra.

Para el cálculo de presupuestos de una obra se debe hacer un análisis detallado considerando todos los elementos que se construirán razón por la cual se debe tener la información necesaria, plasmada en los planos y memorias de cálculo detalladas y claras.

## BIBLIOGRAFÍA

ANTILL M, James, WOODHEAD W. Ronald. Método de la ruta crítica y sus aplicaciones a la construcción. Segunda edición en español. México. Limusa 1995. 452p.

AHUJA, Hira N, WALSH Michael. Ingeniería de costos y Administración de Proyectos. México: Alfaomega 1995, 373p.

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.

Curso ISO 9000:2000 Senavirtual.edu.co

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.

DOMINGUEZ MACHUCA, José Antonio. Dirección de Operaciones: Aspectos Estratégicos en la Producción y en los servicios. Madrid. Mc Graw Hill. 1995. 482p.

ELWOOD, S. Buffa, RAKESH K. Sarin. Administración de la producción y de las operaciones. Limusa S.A. México 1995. 939p.

GARCIA LEÓN, Oscar. Administración Financiera: Fundamentos y Aplicaciones. Tercera Edición. Colombia. Prensa Moderna. 1999. 574 p.

Grupo de Gestión de la Tecnología Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Técnicas de Programación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. [www.getec.etsit.upm.es](http://www.getec.etsit.upm.es).

HALPIN W, Daniel. Conceptos Financieros y de costos en la industria de la Construcción. México: Limusa 1997. 482.p.

MARIÑO NAVARRETE, Hernando. Gerencia de procesos. Alfaomega S.A. Bogotá, Colombia, 2001. 148.p.

MEREDITH, Jack. Administración de las Operaciones: Un énfasis conceptual. Segunda edición. México: Limusa 1999. 781p.

MUÑOZ, Jairo. Metodologías para el diagnóstico y el diseño de metas. Publicaciones Pizarrón N° 24. <http://www.sercol.org.co/pizarra24.htm>

NIETO DIAZ, Humberto. Presupuesto de Obra. Escala 1997. 147p.

NIGEL, Slack, STUART Chambers, CHRISTINE Harland, ALAN Harrison y ROBERT Johnston. Administración de Operaciones. Primera edición en español. Continental S.A. 1999. 862p.

Planeamiento, programación y control de la producción.

<http://www.southlink.com>.

SERPELL B., Alfredo. Administración de Operaciones de Construcción. Segunda Edición. México D.F: Alfaomega 2002. 290 p.

SUAREZ – SALAZAR, Carlos. Costo y tiempo en edificación. México. Limusa Wiley S.A. 1969. 326p.

TORRES ACOSTA, Jairo Humberto. PYME Planeación agregada en la PYME. Gaia edit. Bogotá 2002. 100.p

TRILLOS, Ofelia. Las pirámides de keops <http://enigmas0.iespana.es>

## Anexo1<sup>12</sup>

### Tablas 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	0,5	0,504	0,508	0,512	0,516	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5754	
0,1	0,5793	0,5832	0,5871	0,591	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141	
0,2	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,648	0,6517	
0,3	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,67	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879	
0,4	0,6915	0,695	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,719	0,7224	
0,5	0,7258	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7518	0,7549	
0,6	0,758	0,7612	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852	
0,7	0,7881	0,791	0,7939	0,7967	0,7996	0,8023	0,8051	0,8079	0,8106	0,8133	
0,8	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,834	0,8365	0,8389	
0,9	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621	
1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,877	0,879	0,881	0,883	
1,1	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,898	0,8997	0,9015	
1,2	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177	
1,3	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319	
1,4	0,9332	0,9345	0,9357	0,937	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,943	0,9441	
1,5	0,9452	0,9463	0,9474	0,9485	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545	
1,6	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633	
1,7	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,97	0,9706	
1,8	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,975	0,9756	0,9762	0,9767	
1,9	0,9773	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817	
2	0,9821	0,9826	0,983	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,985	0,9854	0,9857	
2,1	0,9861	0,9865	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,989	
2,2	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916	
2,3	0,9918	0,992	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936	
2,4	0,9938	0,994	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952	
2,5	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,996	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964	
2,6	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,997	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974	
2,7	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,998	0,998	0,9981	
2,8	0,9981	0,9982	0,9983	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	
2,9	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,999	0,999	
3	0,999	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993	
3,1	0,999	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993	

<sup>12</sup> MEREDITH, Jack. Administración de las Operaciones: Un énfasis conceptual. Segunda edición. México: Limusa 1999. 781p.

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									
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
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