

Optimización de recursos en los proyectos de construcción de la Comarca Lagunera de México mediante la programación lineal.

M.C.I. Víctor Bonifacio Vela Moreno¹, DR. Arnulfo Luévanos Rojas²

¹ *Maestro en Ciencias de la Ingeniería egresado de la Universidad Autónoma de Coahuila, actualmente estudiante de Doctorado en Administración y Alta Dirección en la Universidad Autónoma de Coahuila.*

² *Doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción, egresado de la Universidad Juárez de Estado de Durango actualmente Catedrático e Investigador en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila.*

Resumen

La programación lineal es un modelo matemático que sirve como herramienta para la optimización de los recursos. El desarrollo de este método puede ser apoyado mediante la utilización de software tales como Maple y Excel. El objetivo de la investigación consiste en encontrar el tiempo y costo óptimo en la ejecución de un proyecto constructivo mediante la metodología de la programación lineal. En este estudio se analiza la programación de un proyecto de la cimentación y muro de block situada en una fracción de terreno de 20 x 20 metros, construido en la Comarca Lagunera de México, como resultado de la programación efectuada se obtuvo un ahorro considerable de recursos económicos y de tiempo. Los resultados demuestran la importancia de efectuar una planeación adecuada de los proyectos, ya que la correcta programación puede representar un factor financiero de gran trascendencia en el éxito de las empresas constructoras.

Abstract

Linear programming is a mathematical model that serves as a tool for resource optimization. The development of this method can be supported through the use of software such as Maple and Excel. The objective of the research is to find the optimal time and cost in the execution of a construction project through the methodology of linear programming. This study analyzes the programming of a foundation and block wall project located in a 20 x 20-meter fraction of land, built in the Comarca Lagunera of Mexico, as a result of the programming carried out a considerable saving of resources was obtained economic and time. Results demonstrate the importance of carrying out an adequate planning of the projects, since the correct programming can represent a financial factor of great importance in the success of the construction companies.

Palabras clave:

Programación Lineal, Optimización de recursos, Costos de construcción, Acortamiento de proyectos.

Keywords:

Linear Programming, Resource Optimization, Construction Costs, Project Shortening.

Introducción

La optimización de recursos en los proyectos constructivos es un aspecto clave para lograr el éxito en las empresas constructoras, la programación lineal es un modelo matemático que permite encontrar una solución óptima en el ahorro de los recursos económicos y de tiempo en las obras de construcción. El presente trabajo muestra un ejemplo de un proyecto constructivo de la cimentación y barda de block situada en un terreno de 20 x 20 metros en el que se describen 10 actividades en tiempo normal y el tiempo posible por acortar, así como el costo normal que se utiliza en la ejecución de las actividades y el costo que puede reducirse el proyecto.

Objetivo

El objetivo principal de esta investigación consiste en encontrar la optimización en tiempo y costo de la ejecución de un proyecto constructivo en la Comarca Lagunera mediante el método de acortamiento de redes denominado programación lineal.

Antecedentes de investigación

la programación lineal es un método que en opinión de [Luévanos, López, & Medina \(2016\)](#), representa un avance científico de gran impacto que a partir de 1950 a la fecha ha permitido a muchas organizaciones el ahorro de recursos. Un beneficio importante en la aceleración de un proyecto es contrarrestar los retrasos de obra, la planificación adecuada es relevante en los proyectos constructivos, para [Bakry, Moselhi, & Zayed \(2014\)](#), la necesidad de la aceleración en la entrega de proyectos se puede traducir en los costos al beneficiarse evitando penalizaciones y recuperándose de los retrasos de obra. Estudios realizados por [Jaillon & Poon \(2008\)](#) mencionados en la investigación de [Mao et al. \(2016\)](#), concuerdan que las practicas que se realizan en países desarrollados demuestran que los gastos elevados se pudieran compensar con factores como el ahorro de fuerza laboral, tiempo, disminución en los defectos de obra y recursos.

La planificación de los proyectos es vital en las empresas, en este sentido [Mazlum & Güneri \(2015\)](#), mencionan que debido a la competitividad del mercado las organizaciones tienen que gestionar sus proyectos para terminarlos en tiempo y forma, para lograrlo se utilizan técnicas de gestión de proyectos que se utilizan en la programación de las actividades de las obras de construcción, ejemplo de estas herramientas son la Técnica de Revisión y Evaluación de Programas por sus siglas en inglés (PERT, Program Evaluation Review Technique), que los autores [Schroeder, Meyer Goldstein, & Rungtusanatham \(2011\)](#), definen como “un método de red para la programación de proyectos que se desarrolló por primera vez a mediados de la década de 1950 para el proyecto del submarino nuclear Polaris” pág. 339. Otra técnica es el Método de la Ruta Crítica por sus siglas en inglés (CPM, Critical Path Method), que los autores [Schroeder, Meyer Goldstein, & Rungtusanatham \(2011\)](#), describen que “fue desarrollado por E. I. du Pont de Nemours & Co. como una forma de programar el inicio y el cierre de las grandes plantas” pág. 342.

Dentro de la literatura existen varias investigaciones que han propuesto algoritmos relacionados al acortamiento por redes [Mouhoub, Benhocine, & Belouadah \(2011\)](#), propusieron su algoritmo basado en reducción de actividades ficticias mostrando resultados superiores en algoritmos similares. Los métodos de acortamiento de proyectos como son el método acortamiento de ciclos, el método Sam y el método de programación lineal son descritos por [Grajales, Samayoa, Alonso, & Castellanos \(2017\)](#) y por [Luévanos et al. \(2016\)](#) en sus investigaciones, siendo el método de programación lineal el que se utilizó en este estudio debido a la facilidad de aplicación de su metodología con la utilización de software como son el Maple y el Excel.

Estado actual del problema

Las empresas constructoras generalmente no cuentan en la planeación de sus proyectos una metodología que les permitan programar sus obras de construcción de forma óptima, lo que origina que se presenten a menudo situaciones como una incorrecta optimización de recursos económicos y retrasos de obra que pueden afectar la situación financiera de estas organizaciones. El presente trabajo presenta el ejemplo de un proyecto en la que se muestra la forma de optimización de los recursos económicos y de tiempo.

Hipótesis

Las obras de construcción pueden ser compactadas en tiempo y costo para optimizar al máximo los recursos, utilizando la programación lineal como método para conseguir la minimización de los recursos que permitan el beneficio de las empresas constructoras.

Metodología

El modelo matemático para la solución óptima del costo y tiempo mínimo de un proyecto se representa en la figura 1.1 que muestra el esquema donde se obtiene la ecuación general del costo directo por actividad en función del tiempo (Luévanos et al., 2016).

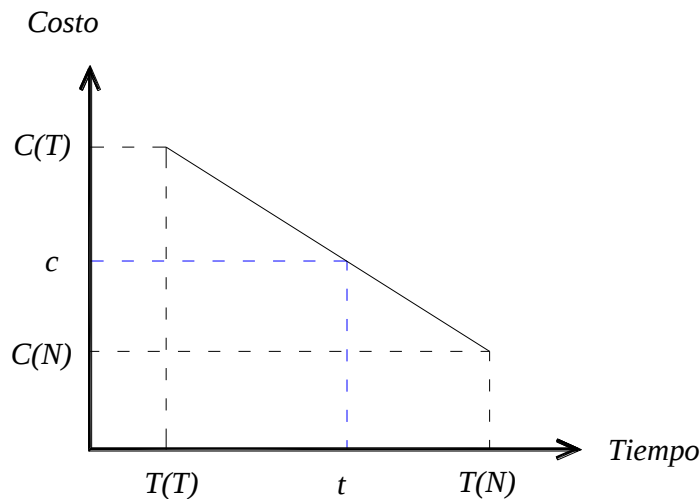


Figura 1.1 descripción de costo tiempo adaptado de Luévanos et al., (2016).

Utilizando los principios de la geometría analítica se obtienen las siguientes ecuaciones descritas por (Luévanos et al., 2016).

$$C - C(T) = \left[\frac{C(T) - C(N)}{T(T) - T(N)} \right] [t - T(T)] \quad (1)$$

El valor del costo “C” se despeja de la ecuación (1) y se obtiene:

$$C = -C(T) \left[\frac{C(T) - C(N)}{T(T) - T(N)} \right] [t - T(T)] \quad (2)$$

El costo marginal se define como:

$$CM = \frac{C(T) - C(N)}{T(T) - T(N)} \quad (3)$$

Sustituyendo el costo marginal, desarrollando el producto, y agrupando las partes constantes de la ecuación (2), se obtiene:

$$C = [C(T) + CM * T(T)] - CM * t \quad (4)$$

Sustituyendo la constante $a = C(T) + CM * T(T)$ en la ecuación (4) se muestra como sigue:

$$C = a - CM * t \quad (5)$$

La ecuación (5) muestra el costo directo por cada actividad, por lo tanto, el costo directo total para el proyecto es:

$$\sum_i \sum_j C(i, j) = \sum_i \sum_j [a(i, j) - t(i, j) * CM(i, j)] \quad (6)$$

Si se define X_n = duración del proyecto total y CIN = costo indirecto por unidad de tiempo.

El costo indirecto total del proyecto es $CIN * X_n$.

Las relaciones de precedencia se ilustran en la figura 1.2 y se definen por:

Sea X_l = tiempo en que se alcanza el evento l .

El tiempo en que se alcanza el evento l se obtiene:

$$X_l = \text{Max}[X_i + t(i, l); X_j + t(j, l); X_k + t(k, l)] \quad (7)$$

Esto equivale a:

$$X_l \geq X_i + t(i, l) \quad (8)$$

$$X_l \geq X_j + t(j, l) \quad (9)$$

$$X_l \geq X_k + t(k, l) \quad (10)$$

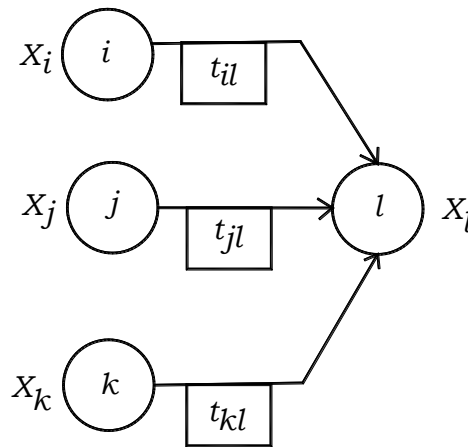


Figura 1.2 tiempo que se alcanza el evento adaptado de Luévanos et al., (2016).

El modelo lineal en forma general para la obtención del costo mínimo de un proyecto es:

$$\text{Costo Minimo} = - \sum_i \sum_j CM(i,j) * t(i,j) + CIN * X_n + \sum_i \sum_j a(i,j) \quad (11)$$

Sujeto a:

$$X_j \geq X_i + t(j,l) \quad (12)$$

$$TT(i,j) \leq t(i,j) \leq TN(i,j) \quad (13)$$

$$X_j \geq 0 \quad (14)$$

Una restricción de esta clase se deberá aplicar a las actividades del proyecto. Las actividades que se consideran para el ejemplo que se describe en los resultados se toman de un proyecto constructivo de una cimentación y barda de block de concreto de una obra para la Comarca Lagunera de México. Los factores para la minimización de los tiempos de ejecución que se tomaron en cuenta son la de aumento de personal obrero con la aplicación de dobles turnos en la que se añadió un 7% de sobrecosto por la consideración del turno mixto en las actividades del proyecto.

La figura 1.3 describe el corte de la cimentación y la planta del terreno con medidas de 20.0 x 20.0 metros, en el que se realizó una cimentación de zapata corrida de 70 cm. de ancho x 70 cm de altura armada con varillas de acero de 5/8", 1/2" y 3/8", la barda de block fue de 75 metros lineales y una altura de 2.40 metros que incluye castillos de 15 x 15 cm. con una separación de 3.0 metros y una dala de enrase de 15 x 15 cm. armada con varillas de 3/8" y alambrcn de 1/4". Se tomó como base los rendimientos descritos por [Suárez \(2006\)](#), pág. 360.

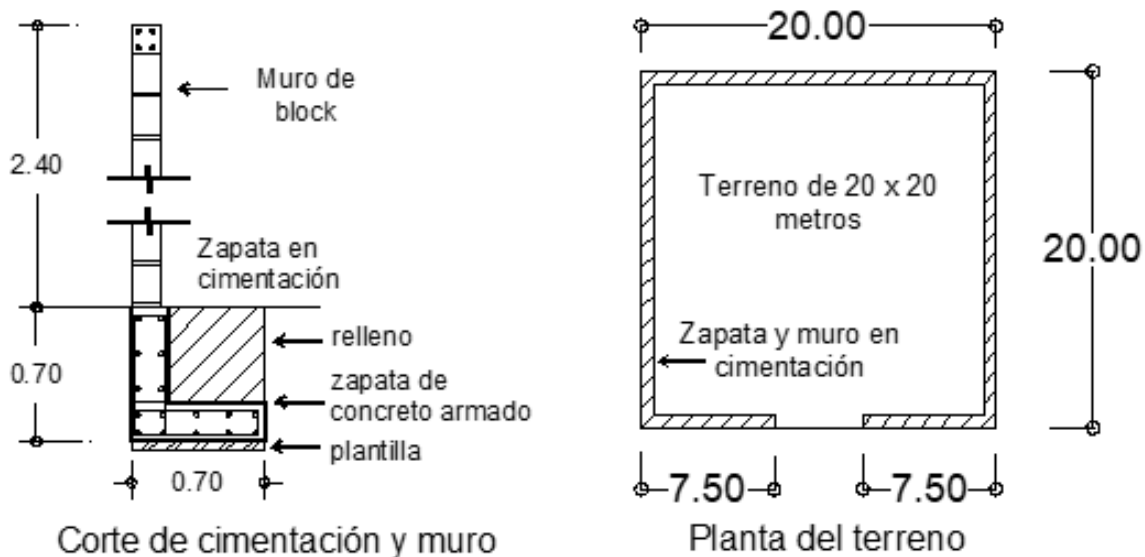


Figura 1.3 corte de cimentación y muro de block

Resultados

Los resultados encontrados en la Tabla 1.1 corresponden a las cantidades de obra, rendimientos por jornada, cuadrillas utilizadas, costo de la mano de obra, materiales y equipo de las actividades de una obra de construcción en el que se ejecutó una cimentación y barda de block de concreto.

Tabla 1.1 datos de cantidades y rendimientos de proyecto

Nombre de la actividad	Cantidades totales de obra	Unidad	Rendimiento por jornada en unidades	Cuadrillas utilizadas en tiempo normal	Costo jornada ayudante	Costo jornada oficial	Materiales y equipo
A.- Limpieza y trazo	400	m2	50	8	\$ 200.00	\$ 75.00	\$ 1,212.00
B.- Excavación por medio manual	36.75	m3	4	9	\$ 200.00	\$ 30.00	\$ 117.60
C.- Habilitado y colocación de acero	2.12	ton	0.13	16	\$ 200.00	\$ 300.00	\$ 38,160.00
D.- Plantilla de concreto	52.5	m2	14.22	4	\$ 200.00	\$ 75.00	\$ 3,885.00
E.- Habilitado de cimbra y colocación	97.5	m2	8.5	11	\$ 200.00	\$ 300.00	\$ 7,995.00
F.- Colado de concreto en cimentación	17.25	m3	1.5	12	\$ 200.00	\$ 300.00	\$ 31,050.00
G.- Compactación de cepas con relleno	19.5	m3	7	3	\$ 200.00	\$ 30.00	\$ 6,240.00
H.- Colocación de muro de block	165	m2	10	17	\$ 200.00	\$ 300.00	\$ 31,020.00
I.- Colado de castillos	55	m	10	6	\$ 200.00	\$ 300.00	\$ 5,940.00
J.- Colado de dalas de cerramiento	75	m	10	8	\$ 200.00	\$ 300.00	\$ 8,475.00

Los datos descritos en la Tabla 1.2 corresponden las actividades, precedencia, tiempo y costo normal, tiempo y costo tope, costo marginal y la constante “a” de una obra de cimentación y barda de block de concreto realizada en la Comarca Lagunera. La obra tiene un costo indirecto de \$938.33 diarios correspondientes al 30% del costo directo total dividido entre la duración de la obra. La ruta crítica marca una duración total de 56 días, por lo que los costos indirectos son \$52,546.38

Tabla 1.2 datos de actividades de proyecto

Nombre de la actividad	Actividad	Precedencia	Normal		Tope		CM	$a = C(T) + CM * T(T)$
			Tiempo normal	Costo Normal	Tiempo tope	Costo tope		
A.- Limpieza y trazo	A	-	4	\$ 3,412.00	2	\$ 3,566.00	\$ 77.00	\$ 3,720.00
B.- Excavación por medio manual	B	A	8	\$ 2,187.60	4	\$ 2,332.50	\$ 36.23	\$ 2,477.40
C.- Habilitado y colocación de acero	C	A	16	\$ 46,160.00	8	\$ 46,720.00	\$ 70.00	\$ 47,280.00
D.- Plantilla de concreto	D	A	4	\$ 4,985.00	2	\$ 5,062.00	\$ 38.50	\$ 5,139.00
E.- Habilitado de cimbra y colocación	E	A	10	\$ 13,495.00	5	\$ 13,880.00	\$ 77.00	\$ 14,265.00
F.- Colado de concreto en cimentación	F	C,E	12	\$ 37,050.00	6	\$ 37,470.00	\$ 70.00	\$ 37,890.00
G.- Compactación de cepas con relleno	G	F	4	\$ 6,930.00	2	\$ 6,978.30	\$ 24.15	\$ 7,026.60
H.- Colocación de muro de block	H	F	16	\$ 39,520.00	8	\$ 40,115.00	\$ 74.38	\$ 40,710.00
I.- Colado de castillos	I	F	6	\$ 8,940.00	3	\$ 9,150.00	\$ 70.00	\$ 9,360.00
J.- Colado de dalas de cerramiento	J	H,I	8	\$ 12,475.00	4	\$ 12,755.00	\$ 70.00	\$ 13,035.00
		Suma Costo directo		\$ 175,154.60				
		Costo Indirecto	\$ 938.33	56	días	Costo Indirecto Total	\$ 52,546.38	
						Costo total = CD+ CI		\$ 227,700.98

La actividad A, del proyecto es la limpieza y trazo del terreno que en tiempo normal se programó con una duración de 4 días, se utilizan 2 cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante, para optimizar el tiempo de ejecución de la actividad a 2 días se utilizan 2 turnos de 2 cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad B, es la excavación por medio manual con 8 días de duración y una cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, el tiempo urgente se programa con 4 días y se utilizan 2 turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad C, es el habilitado y la colocación del acero de refuerzo en cimentación, inicialmente tiene 16 días de duración y la utilización de una cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, para optimizar el tiempo de ejecución de la actividad a 8 días se utilizan 2 turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad D, es la colocación de la plantilla de concreto en la cimentación, tiene una duración de 4 días y se realiza con la cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, para reducir el tiempo a 2 días se ejecuta con 2 turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad E, es el habilitado y la colocación de cimbra, inicialmente tiene 10 días de duración y la utilización de una cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, para optimizar el tiempo de ejecución de la actividad a 5 días se utilizan 2 turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad F, es la colocación de concreto en cimentación, tiene una duración de 12 días y se realiza con la cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, para reducir el tiempo a 6 días se ejecuta dos turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad G, es la compactación de relleno en cimentación, inicialmente tiene 4 días de duración y la utilización de una cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, para optimizar el tiempo de ejecución de la actividad a 2 días se utiliza 2 turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad H, es la colocación de muro de block de concreto, tiene una duración de 16 días y se realiza con la cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, para reducir el tiempo a 8 días se ejecuta con 2 turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad J, es el colado de castillos de concreto, tiene una duración de 6 días y se realiza con la cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, para reducir el tiempo a 3 días se ejecuta dos turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La actividad I, es el colado de dala de cerramiento, tiene una duración de 8 días y se realiza con la cuadrilla de 1 oficial + 1 ayudante, para reducir el tiempo a 4 días se ejecuta con 2 turnos de cuadrillas de 1 oficial + 1 ayudante.

La Figura 1.4 muestra el diagrama de red de las actividades con la ruta crítica de las actividades que tiene un total de 56 días de duración.

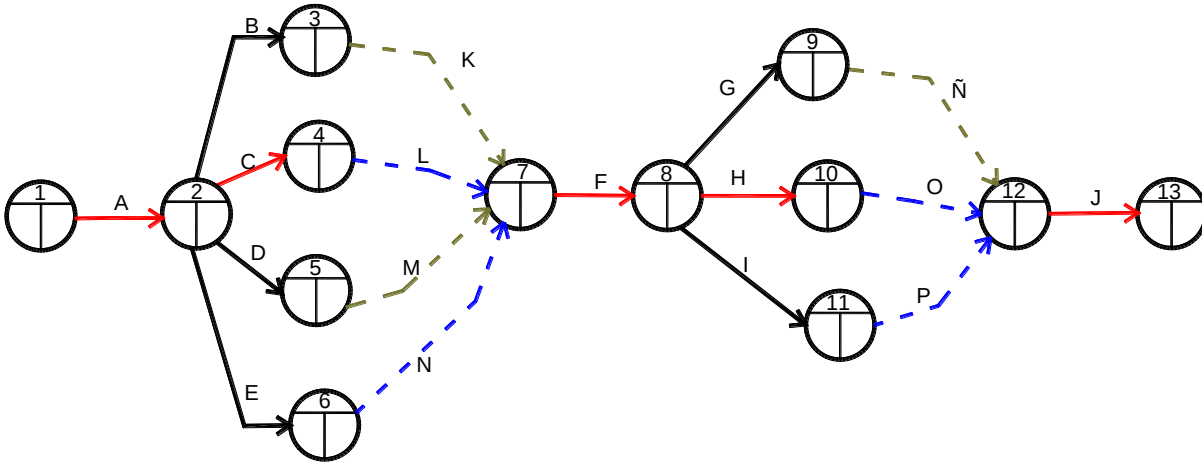


Figura 1.4 Diagrama de red de actividades

La Tabla 1.3 muestra el costo marginal de las actividades del proyecto, así como el valor de la constante “a”.

Tabla 1.3 costo marginal de actividades

Variable	Actividad	Costo Marginal	$a = C(T) + CM \cdot T(T)$
x14	A(1,2)	77.00	\$3,720.00
x15	B(2,3)	36.23	\$2,477.40
x16	C(2,4)	70.00	\$47,280.00
x17	D(2,5)	38.50	\$5,139.00
x18	E(2,6)	77.00	\$14,265.00
x19	F(7,8)	70.00	\$37,890.00
x20	G(8,9)	24.15	\$7,026.60
x21	H(8,10)	74.38	\$40,710.00
x22	I(8,10)	70.00	\$9,360.00
x23	J(12,13)	70.00	\$13,035.00
	K(7,3)	0.00	\$0.00
	L(7,4)	0.00	\$0.00
	M(7,5)	0.00	\$0.00
	N(7,6)	0.00	\$0.00
	Ñ(12,9)	0.00	\$0.00
	O(12,10)	0.00	\$0.00
	P(12,11)	0.00	\$0.00
$\sum_i \sum_j a(i,j)$			\$ 180,903.00

Con la sustitución de la constante “a” en la ecuación del costo mínimo se obtiene la función objetivo de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Costo Minimo} &= -(77 * x_{14}) - (36.23 * x_{15}) - (70 * x_{16}) - (38.5 * x_{17}) \\
 &\quad - (77 * x_{18}) - (70 * x_{19}) - (24.15 * x_{20}) - (74.38 * x_{21}) \\
 &\quad - (70 * x_{22}) - (70 * x_{23}) - (938.33 * x_{13}) + (180903)
 \end{aligned} \tag{15}$$

El número de variables del proyecto son 23 de $x_1, x_2 \dots x_{23}$, las restricciones son 27 y se describen en la Tabla 1.4

Tabla 1.4 restricciones del proyecto

$0 \leq x_2 - x_1 - x_{14}$	$0 \leq x_7 - x_3$	$2 \leq x_{14} \leq 4$
$0 \leq x_3 - x_2 - x_{15}$	$0 \leq x_7 - x_4$	$4 \leq x_{15} \leq 8$
$0 \leq x_4 - x_2 - x_{16}$	$0 \leq x_7 - x_5$	$8 \leq x_{16} \leq 16$
$0 \leq x_5 - x_2 - x_{17}$	$0 \leq x_7 - x_6$	$2 \leq x_{17} \leq 4$
$0 \leq x_6 - x_2 - x_{18}$	$0 \leq x_{12} - x_9$	$5 \leq x_{18} \leq 10$
$0 \leq x_8 - x_7 - x_{19}$	$0 \leq x_{12} - x_{10}$	$6 \leq x_{19} \leq 12$
$0 \leq x_9 - x_8 - x_{20}$	$0 \leq x_{12} - x_{11}$	$2 \leq x_{20} \leq 4$
$0 \leq x_{10} - x_8 - x_{21}$		$8 \leq x_{21} \leq 16$
$0 \leq x_{11} - x_8 - x_{22}$		$3 \leq x_{22} \leq 6$
$0 \leq x_{13} - x_{12} - x_{23}$		$4 \leq x_{23} \leq 8$

Los datos de la función objetivo, las variables y las restricciones se alimentan en el software Maple que arroja los siguientes resultados descritos en la figura 1.5.

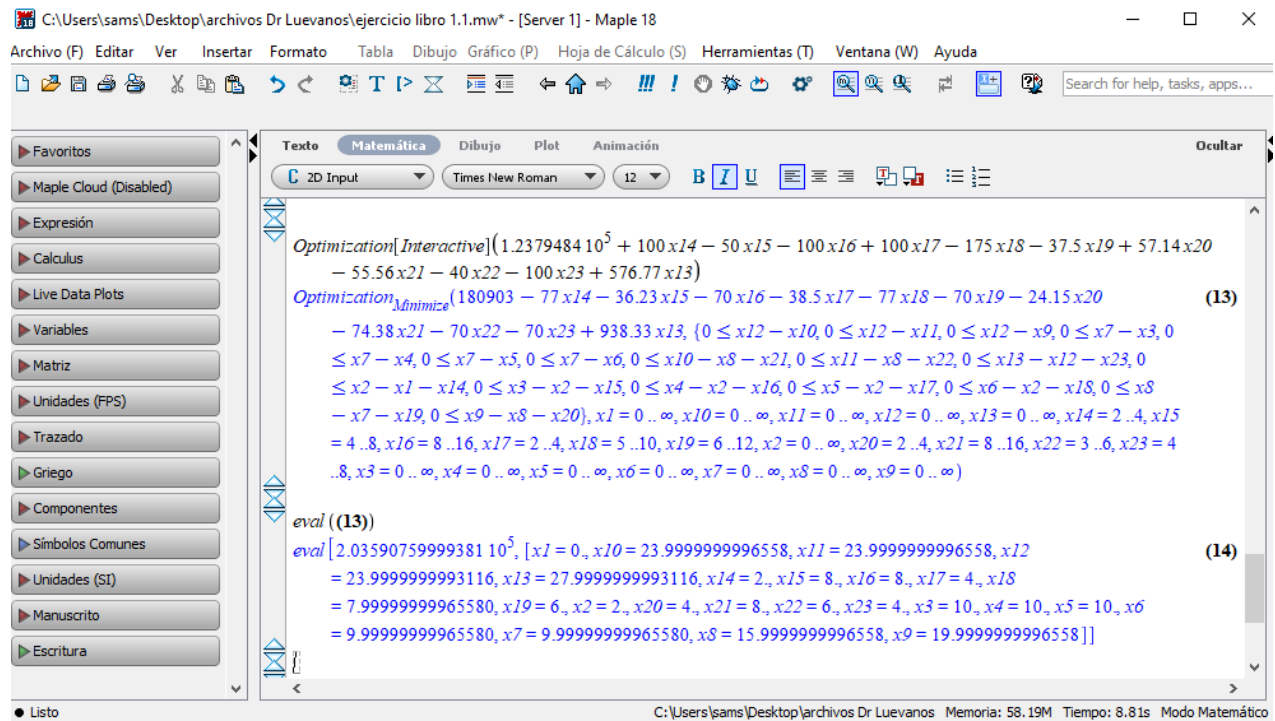


Figura 1.5 resultados de proyecto

Las interpretaciones de los resultados se describen en la Tabla 1.5 que describen las variables, resultados de los días que corresponden a las actividades del proyecto, la descripción de cada una de las variables, el costo normal, costo de acortamiento, el costo por actividad y el resultado final es el costo optimo del proyecto.

Tabla 1.5 Interpretación de resultados.

Variable	Resultado	Interpretación de resultados	Costo Normal	Costo de acortamiento	Costo por actividad
x1=	0	Evento 1 (inicio act. A)			
x2=	2	Evento 2 (termina act. A, inicio de act. B, C, D y E)			
x3=	10	Evento 3 (termina act. B, inicio de act. L)			
x4=	10	Evento 4 (termina act. C, inicio de act. J)			
x5=	6	Evento 5 (termina act. D inicia act. M)			
x6=	10	Evento 6 (termina act. E, inicio de act. K)			
x7=	10	Evento 7 (termina act. J, K, L y M, inicio de act. F)			
x8=	16	Evento 8 (termina act. F, inicio de act. G, H e I)			
x9=	20	Evento 9 (termina act. G, inicio de act. O)			
x10=	24	Evento 10 (termina act. H, inicio de act. N)			
x11=	24	Evento 11 (termina act. I, inicio de act. Ñ)			
x12=	24	Evento 12 (termina act. O, N y Ñ, inicio de act. J)			
x13=	28	Evento 13 (termina act. J)			
x14=	2	Tiempo actividad A	\$ 3,412.00	77*2	\$3,566.00
x15=	8	Tiempo actividad B	\$ 2,187.60	36.22*0	\$2,187.60
x16=	8	Tiempo actividad C	\$ 46,160.00	70*8	\$46,720.00
x17=	4	Tiempo actividad D	\$ 4,985.00	38.5*0	\$4,985.00
x18=	8	Tiempo actividad E	\$ 13,495.00	77*2	\$13,649.00
x19=	6	Tiempo actividad F	\$ 37,050.00	70*6	\$37,470.00
x20=	4	Tiempo actividad G	\$ 6,930.00	24.5*0	\$6,930.00
x21=	8	Tiempo actividad H	\$ 39,520.00	74.37*8	\$40,114.92
x22=	6	Tiempo actividad I	\$ 8,940.00	70*0	\$8,940.00
x23=	4	Tiempo actividad J	\$ 12,475.00	70*4	\$12,755.00
Costo Indirecto				938.33*28	\$ 26,273.24
Costo total optimo					\$ 203,590.76

Discusión

La comparación del ejemplo de proyecto presentado en este estudio con otros del mismo tipo como que se encuentran en la literatura, se diferencia en que en el proyecto de este estudio mostró los datos de la mano de obra utilizada y la forma en que se pueden compactar las actividades en tiempos de ejecución, lo que influye en los costos de las actividades. Se utilizó el Peso mexicano como unidad monetaria financiera para los costos, se describió en los resultados el porcentaje de los costos indirectos en relación a los costos directos.

Los resultados se obtuvieron en el software Maple y se corroboró en Excel mediante la herramienta de análisis Solver. Las ventajas que tiene la programación lineal comparada con otros métodos de reducción por redes, son: la precisión, ya que utiliza bases de la geometría analítica, otra ventaja es que se pueden generar proyectos con bastantes actividades por la simplicidad de la metodología además de que es fácil de programar la solución en un software como el Maple o el Excel.

Conclusiones.

La conclusión principal es que la utilización de la programación lineal en el proyecto de 10 actividades que se presentó en la presente investigación, sirvió para optimizar al máximo el costo de total de la obra que inicialmente presentaba una duración de 56 días y un costo de \$227,700.98. descrito en la Tabla 1.2. Se logró disminuir su costo a \$203,590.76 descrito en la Tabla 1.5 lo que permitió generar un ahorro de \$24,110.22 que equivale al 11% total del costo del proyecto y una disminución de 28 días descrito en la tabla 1.5 de interpretación de resultados en el tiempo de ejecución de las actividades a realizar, lo que demuestra que la planeación de los proyectos constructivos es un recurso importantísimo en el éxito de las empresas constructoras.

Conclusiones respecto a la hipótesis

Queda demostrado que las obras de construcción pueden ser compactadas en tiempo y costo para la optimización al máximo los recursos mediante la programación lineal que es utilizada como método para conseguir la minimización de los recursos. Esto permite el beneficio de las empresas constructoras al reducir el número de días de ejecución de los trabajos y el costo total del proyecto estudiado.

Referencias

- Bakry, I., Moselhi, O., & Zayed, T. (2014). Optimized acceleration of repetitive construction projects. *Automation in Construction*, 39, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.07.003>
- Grajales, J., Samayoa, I., Alonso, F., & Castellanos, J. (2017). *Análisis de intercambio Tiempo-costo en proyectos de construcción*. 28–30. Retrieved from https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/revistapakbal_40_pag28-30.pdf
- Jaillon, L., & Poon, C. S. (2008). Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: A Hong Kong case study. *Construction Management and Economics*, 26(9), 953–966. <https://doi.org/10.1080/01446190802259043>
- Luévanos, A., López, S., & Medina, M. (2016). *Gestión de Proyectos de Innovación*. Retrieved from <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/Documentos/Libros/2016GestionProyectosInnovacion.pdf>
- Mao, C., Xie, F., Hou, L., Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). Cost analysis for sustainable off-site construction based on a multiple-case study in China. *Habitat International*, 57, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.08.002>
- Mazlum, M., & Güneri, A. F. (2015). CPM, PERT and Project Management with Fuzzy Logic Technique and Implementation on a Business. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.378>
- Mouhoub, N. E., Benhocine, A., & Belouadah, H. (2011). A new method for constructing a minimal PERT network. *Applied Mathematical Modelling*, 35(9), 4575–4588. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.03.031>
- Schroeder, R., Meyer Goldstein, S., & Rungtusanatham, M. J. (2011). *Administración de operaciones Conceptos y casos contemporáneos*.
- Suárez, C. (2006). *Tiempo y costo en Edificación* (Tercera; Limusa, ed.).

Datos de los Autores.

Autor:

Víctor Bonifacio Vela Moreno.

Títulos:

Arquitecto por la Universidad Autónoma de la Laguna, en Torreón Coahuila.

Maestro en Ciencias de la Ingeniería por la Universidad Autónoma de Coahuila, en Torreón Coahuila.

Estudiante de doctorado en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila, en Torreón Coahuila.

Correo electrónico:

e210204v@hotmail.com

El M. C. I. Víctor Bonifacio Vela Moreno obtuvo el grado en la Universidad Autónoma de Coahuila, ha trabajado en diferentes puestos administrativos y de campo en el área de la construcción. Actualmente estudia el Doctorado en Administración y Alta Dirección en la Universidad Autónoma de Coahuila.

Autor:

Arnulfo Luévanos Rojas.

Títulos:

Doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción.

Correo electrónico:

arnulfol_2007@hotmail.com

Doctor Arnulfo Luévanos Rojas obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción en la Universidad Juárez de Estado de Durango, actualmente se desempeña como Catedrático e Investigador en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila y forma parte del Sistema Nacional de Investigadores.

La sección donde se propone que este artículo de investigación se publique es en el área de **construcción**.