

Optimization of work crews for the installation of electrical works using goal programming

Wilmer Atoche, Magister¹, Víctor Farro, Magister¹, Yamileth Román, Magister¹, Hernán Barriga, Magister¹

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

watoche@pucp.edu.pe, vdfarro@pucp.edu.pe, yamileth.roman@pucp.edu.pe, barriga.hm@pucp.edu.pe

Abstract– This article shows the determination of the optimal number of people that should belong to the work team (crews) for the execution of low or medium voltage electrical works. For this, aspects such as the effective duration of the works, costs of the personnel belonging to the work crew, districts where the electrical works are carried out, and the sequence of activities for each low and medium voltage electrical work were evaluated. In this sense, the model is based on the optimization of the execution time of electrical works carried out (first goal) in different districts, without neglecting the objective of reducing the cost of the composition of the crew (second goal). Finally, the results of the linear programming optimization model by goals conclude that for low and medium voltage underground works, crews of seven people (3 operators and 4 assistants) are required, the same as for medium voltage aerial works; and for low voltage aerial works, five people are required (2 operators and 3 assistants). It should be noted that all these results provide reduced costs.

Keywords: electrical works, work team, multiple objectives.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.526>
ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Optimización de cuadrillas de trabajo para instalación de obras eléctricas usando programación por metas

Wilmer Atoche, Magister¹, Víctor Farro, Magister¹, Yamileth Román, Magister¹, Hernán Barriga, Magister¹

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

watoche@pucp.edu.pe, vdfarro@pucp.edu.pe, yamileth.roman@pucp.edu.pe, barriga.hm@pucp.edu.pe

Abstract— This article shows the determination of the optimal number of people that should belong to the work team (crews) for the execution of low or medium voltage electrical works. For this, aspects such as the effective duration of the works, costs of the personnel belonging to the work crew, districts where the electrical works are carried out, and the sequence of activities for each low and medium voltage electrical work were evaluated. In this sense, the model is based on the optimization of the execution time of electrical works carried out (first goal) in different districts, without neglecting the objective of reducing the cost of the composition of the crew (second goal). Finally, the results of the linear programming optimization model by goals conclude that for low and medium voltage underground works, crews of seven people (3 operators and 4 assistants) are required, the same as for medium voltage aerial works; and for low voltage aerial works, five people are required (2 operators and 3 assistants). It should be noted that all these results provide reduced costs.

Keywords: electrical works, work team, multiple objectives.

Resumen— El presente artículo muestra la determinación de la cantidad óptima de personas que deben pertenecer al equipo de trabajo (cuadrillas) para la ejecución de obras eléctricas de baja o media tensión. Para ello, se evaluaron aspectos como las duraciones efectivas de las obras, costos del personal pertenecientes a la cuadrilla de trabajo, distritos donde se realizan las obras eléctricas, y la secuencia de actividades para cada obra eléctrica de baja y media tensión. En ese sentido, el modelo se basa en la optimización del tiempo de ejecución de obras eléctricas efectuadas (primera meta) en diferentes distritos, sin descuidar el objetivo de reducir el costo de la composición de la cuadrilla (segunda meta). Finalmente, los resultados del modelo de optimización de programación lineal por metas concluyen que para las obras subterráneas de baja y media tensión se requieren cuadrillas de siete personas (3 operarios y 4 ayudantes), al igual que para las obras aéreas de media tensión; y para las obras aéreas de baja tensión se requieren cinco personas (2 operarios y 3 ayudantes). Cabe precisar que, todos estos resultados brindan costos reducidos.

Palabras claves: obras eléctricas, equipos de trabajo, programación por metas.

I. INTRODUCCIÓN

La programación lineal es la herramienta más importante dentro de la investigación operativa, la cual tiene como objetivo representar una situación (problema) en un modelo matemático que permita optimizar (maximizar o minimizar) teniendo en consideración ciertas restricciones (ecuaciones o inecuaciones lineales) [1] [2].

Una de las desventajas de la programación lineal, es que sólo se enfoca en optimizar un objetivo. Es por ello que, en los años 60 se desarrolla una programación lineal con un enfoque multiobjetivo, el cual permitía satisfacer distintas metas [3] [4]. Posteriormente, las aplicaciones han sido muy diversas en la planificación de la producción como en las cadenas de suministros de distintas empresas [5] [6].

En ese sentido, el presente artículo desarrolla una aplicación de una programación lineal por metas en una empresa dedicada a la generación y distribución de energía eléctrica; teniendo como alcance, las obras eléctricas aéreas y subterráneas de baja y media tensión. Para lo cual, se analizan distintos aspectos relacionados como son: la cantidad de personas en los equipos de trabajo (cuadrillas), las duraciones efectivas de los distintos tipos de obras, los distritos donde se realizan las obras, el costo asociado al personal perteneciente a la cuadrilla y la secuencia de actividades para cada tipo de obra eléctrica. Cabe mencionar, que una de las complejidades de la problemática, es que las obras de electrificación tienen diferentes tipos de actividades en su ejecución, algunas de estas actividades se realizan en paralelo, siempre que se tenga el suficiente personal en la cuadrilla de trabajo.

El objetivo principal de la investigación es la determinación del número adecuado de operarios y ayudantes por cuadrilla para cada tipo de obra de electrificación, considerando los objetivos de optimizar el tiempo óptimo de ejecución y reducir los costos debido al personal. En ese sentido, el modelo de optimización usado es el de programación por metas, donde los dos objetivos principales son: el tiempo de ejecución y el costo de la cuadrilla; los cuales serán analizados en distinto orden y con diferentes prioridades.

Después de la ejecución de los distintos escenarios del modelo, se analizan todos los resultados óptimos, sabiendo que todos estos resultados brindan costos reducidos.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.526>
ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

II. ESTUDIO DEL ARTE

A. Problema de programación lineal

La técnica de investigación operativa más usada e importante es la programación lineal. El diseño de una programación lineal consiste básicamente en una función objetivo y una serie de restricciones (ecuaciones o inecuaciones lineales), aunque en la actualidad ya existan algunos modelos definidos para cada situación. Existen muchas posibles aplicaciones en el ámbito industrial para la programación lineal, y lo que se busca siempre es transformar el problema existente en un modelo matemático, el cual tendrá algunos supuestos para poder ser interpretado de una forma correcta [1][2].

B. Problema de programación lineal por metas

Muchos de los problemas de decisión en el ámbito de ingeniería pueden ser abordados por la programación matemática. Siendo el objetivo encontrar soluciones factibles que satisfagan las restricciones de la situación problemática. Aunque en situaciones reales, se requiere buscar objetivos de manera simultánea, para lo cual el enfoque multiobjetivo resulta una alternativa idónea [7][3].

La programación por metas se introdujo por Charnes y Cooper en 1961, y seguidamente por Ijiri en 1965, quienes desarrollaron problemas con múltiples objetivos como extensión de una programación lineal, y haciendo mención de la diferencia de la programación lineal, que busca alcanzar una solución óptima, y la programación por metas, que busca satisfacer los diferentes objetivos existentes [3][4].

C. Modelo de programación lineal por metas

Los supuestos básicos de la programación lineal son los mismos para la programación por meta. Aunque, la función objetivo en lugar de maximizar o minimizar como en la programación lineal, ahora sólo busca minimizar las desviaciones entre las metas planteadas, teniendo en cuenta las prioridades (P_i) asignadas a cada meta. Las desviaciones son solamente las holguras (U_i) o sobrantes (V_i) de las restricciones comunes [8][9].

El modelo general de programación lineal por metas se formula de la siguiente forma:

Variables de decisión:

$X_j, j = 1, 2, \dots, n$

Variables de desviación:

U_i : Faltante para alcanzar la meta i

V_i : Exceso de la meta i

Función objetivo: Minimizar

$Z = \sum P_i * (V_i)$

Restricciones:

Sujeta a

$Restricción i + U_i - V_i = Meta i$

Restricciones estructurales

Con $X_i, U_i, V_i \geq 0$

D. Aplicaciones de programación lineal por metas

A través de los años, diversos autores coinciden en la importancia de la aplicación de las técnicas matemáticas en los procesos de planificación para garantizar una mejor toma de decisiones [10]. Además, distintas aplicaciones en la planificación de las cadenas de suministro aseguran que los modelos matemáticos multiobjetivo permiten conseguir objetivos diversos propios de la industria, como los son: satisfacer la demanda de los clientes en el tiempo solicitado, determinar los recursos necesarios para la producción evitando mermas y sobrecostos, generar mayores rentabilidades en el negocio [5][6].

C. Estudio de tiempos

El estudio de tiempo es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución pre establecida. Asimismo, el estudio de tiempos involucra realizar un muestreo de actividades, con el cual pueda validarse las mediciones observadas y analizadas posteriormente mediante un nivel de confianza aceptable [11][12].

III. METODOLOGÍA

A. Descripción general del sector

Las empresas dedicadas a la generación y distribución de energía eléctrica realizan distintas obras de instalación eléctrica, las cuales se pueden clasificar por su tensión (baja, media y alta) y por su tipo de red (subterránea y aérea).

B. Situación actual de la empresa

El alcance del presente estudio, se enfoca en las obras más comunes que realiza la empresa: obras aéreas de baja (OAB) y media tensión (OAM), y obras subterráneas de baja (OSB) y media tensión (OSM). Estas representan más del 95% de las obras realizadas en un año.

Las actividades para cada uno de los tipos de obras definidos en el alcance del estudio se detallan en la Fig. 1 y Fig. 2. A pesar de pertenecer a distintos tipos de tensión, las actividades son muy similares en las obras, sin embargo, en la duración y medidas se distinguen en gran escala.

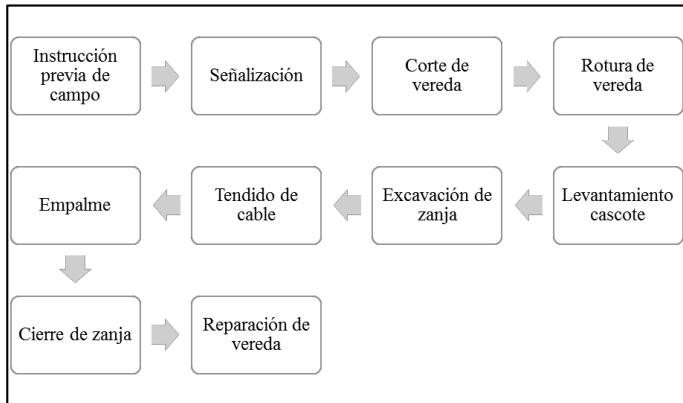


Fig. 1. Actividades para obras subterráneas (OSB y OSM)

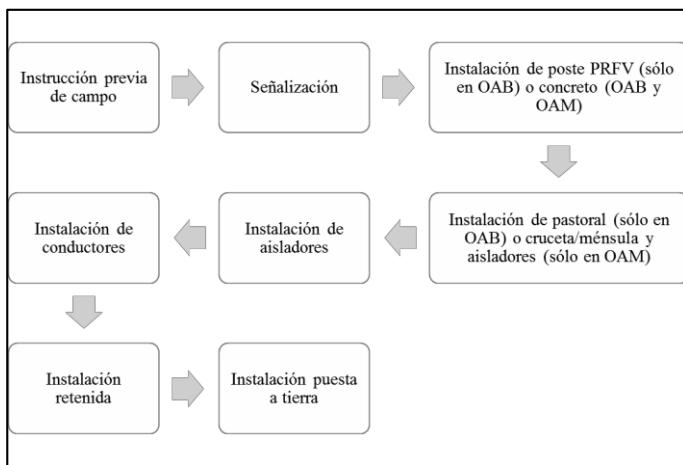


Fig. 2. Actividades para obras aéreas (OAB y OAM)

Para cada una de las obras analizadas, se ha recopilado información de la cantidad histórica de obras de instalación eléctricas en un año, la cual se muestran en la Fig. 3; donde se aprecia que el 92% de las obras analizadas pertenecen a baja tensión, y el 60% de las obras analizadas son con red subterránea.

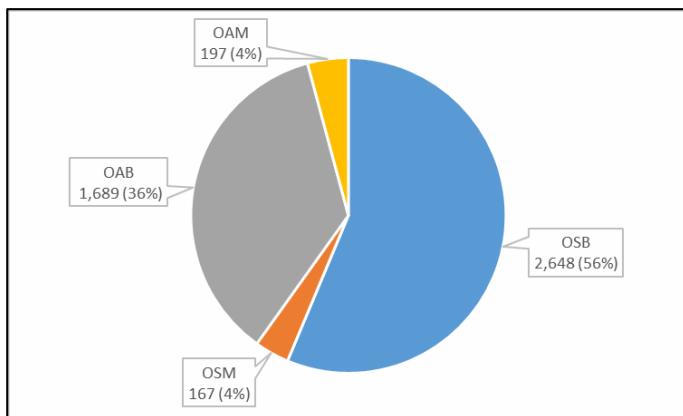


Fig. 3. Obras de instalación eléctricas anuales

C. Descripción de la problemática

En la actualidad, la empresa cuenta con una cantidad finita de bases que atienden la demanda de las obras eléctricas mediante distintos equipos de personas llamadas cuadrillas. Asimismo, cada base cuenta con una capacidad distinta de atención de obras eléctricas, y con una cantidad distinta y finita de personal. Cabe mencionar que una cuadrilla está conformada por los tres tipos de personal (ayudantes, operarios y capataces), y que, en la actualidad, su cantidad es variable por cada tipo de obra eléctrica asignada. La elección de la cantidad que labora en una obra se define por experiencia de los capataces según las condiciones de la obra y de su ubicación.

Al analizar la situación actual de la empresa, se han detectado distintos métodos de trabajo para las obras y por ende distintas duraciones de las actividades; esto ha conllevado a definir las siguientes oportunidades de mejora:

- Determinar el personal óptimo de cuadrilla para cada tipo de trabajo, teniendo en consideración: tipo de red (aérea o subterránea) y el tipo de tensión (baja o media).
- Determinar las duraciones óptimas estandarizadas para métodos distintos de ejecución de actividades de las obras eléctricas (maquinarias o manuales).

En ese sentido, se define que, para abordar la oportunidad de mejora encontrada, se debe desarrollar una programación lineal, cuyo objetivo será encontrar la cantidad óptima de personal para cada cuadrilla durante la ejecución de una determinada obra eléctrica, estandarizando la cantidad de personal para evitar sobrecarga laboral, obras paralizadas, incumplimiento de atención de obras, entre otros.

D. Información para el modelo de programación lineal

Es importante mencionar que, los tiempos estándares de las actividades han sido calculados en base a un tamaño de muestra de obras eléctricas, que cuenta con un nivel de confianza del 95% y un error muestral del 5%.

TABLA 1.
DURACIONES ESTÁNDARDES DE OBRAS

Obra	Tiempo estándar (min)
OAB (para 1 poste)	262.93
OAM (para 1 poste)	497.70
OSB (para 1 metro)	125.03
OSM (para 1 metro)	160.56

En base al estudio de tiempos realizado, se obtiene que el tiempo efectivo para desarrollar las obras eléctricas es de sólo 6.4 horas (sólo el 67% de la jornada diaria). Este tiempo efectivo, se consigue restando los tiempos de desplazamientos y otros tiempos (charlas de seguridad, cargas y descargas de materiales y equipos) a la jornada diaria; véase Tabla 2. Cabe mencionar que, las mediciones de tiempo de las actividades de las obras eléctricas son realizadas bajo distintas condiciones propias de la geografía de la ciudad.

TABLA 2.
DESCOMPOSICIÓN DE LA JORNADA LABORAL

Descripción	Tiempo (min)
Tiempo de la jornada diaria	576.00
Tiempo de desplazamiento	106.51
Otros tiempos	83.33
Tiempo efectivo de la jornada	386.15

Este tiempo efectivo de la jornada laboral y los tiempos estándares (incluye tiempos suplementarios) resultantes del estudio de tiempos, permiten calcular el rendimiento para cada tipo de obra (Rendimiento = Tiempo efectivo de la jornada / Duración). Posteriormente, este rendimiento es utilizado para calcular la duración re-estimada (Duración re-estimada = Jornada diaria / Rendimiento), la cual ya es castigada por el tiempo de desplazamiento y los otros tiempos. Con ello, se estima la cantidad de horas-hombre (Horas-hombre = Duración re-estimada * Cantidad de personas) requeridas en total para cada obra. El valor de duración re-estimada es importante porque se usa en la restricción del tiempo de ejecución de la programación lineal por metas.

Adicionalmente, del estudio de tiempo se concluyó que el porcentaje de ocupación del capataz es del 5% (sólo supervisión), del operario es del 20% y del ayudante es del 75%. Esto se debe a que el personal es requerido para ciertas actividades según la pericia que demanda su cargo. Por otro lado, se obtuvo que el sueldo promedio de los ayudantes es de S/. 1,500, de los operarios es de S/. 2,500, y de los capataces es de S/. 4,000.

E. Supuestos del modelo

En base a lo anterior, se han propuesto 10 tipos de cuadrillas que serán usadas para poder elegir la mejor opción en cada tipo de obra eléctrica. Cabe indicar que, sólo se ha considerado Operarios y Ayudantes, dado que el Capataz sólo cumple una función de supervisión.

Con las propuestas de conformación de cuadrillas, los factores de trabajo, los sueldos promedios y el estudio de tiempos realizado en un trabajo de campo con un nivel de confianza del 95% y error del 5%, se obtiene la siguiente información referente a la cantidad de minutos y sueldo por cuadrilla para ejecutar cada tipo de obra, véase Tabla 3.

TABLA 3.
DURACIONES Y COSTOS POR CADA TIPO DE CUADRILLA

Tipos	Costo (S.)	Duraciones (min)			
		OAB	OAM	OSB	OSM
Cuad. 1	4,000	276.77	523.89	131.14	167.62
Cuad. 2	6,500	154.67	292.76	77.26	105.33
Cuad. 3	8,000	138.39	261.95	70.08	97.03
Cuad. 4	10,500	99.22	187.81	52.8	77.05
Cuad. 5	12,000	92.26	174.63	49.73	73.5
Cuad. 6	14,500	73.04	138.25	41.25	63.7
Cuad. 7	16,000	69.19	130.97	39.55	61.74
Cuad. 8	18,500	57.79	109.38	34.52	55.92
Cuad. 9	20,000	55.35	104.78	33.45	54.68
Cuad. 10	22,500	47.81	90.49	30.12	50.83

E. Modelo de programación lineal por metas

Para encontrar la cantidad óptima de personas en una cuadrilla en cada tipo de trabajo, se ha optado por realizar distintas programaciones lineales por metas, que permita optimizar dos objetivos distintos en una sola programación.

Por ende, de forma genérica para las obras, se formula la siguiente programación lineal por metas:

Variables de decisión

X_i : Decisión de usar la cuadrilla i (siendo: $i=1,2,3,\dots,10$)

Variables de desviación

U_i : Faltante para alcanzar la meta i (siendo: $i=1,2,3,\dots,10$)

V_i : Exceso de la meta i (siendo: $i=1,2,3,\dots,10$)

Función objetivo

Minimizar $Z = P1*(V1) + P2*(V2)$

Restricciones:

Sujeta a

Tiempo de ejecución:

$\Sigma [(Tiempo\ de\ ejecución\ por\ tipo\ de\ obra\ con\ Cuadrilla\ i) * (X_i)] + U_1 - V_1 = Tiempo\ meta$

Costo total:

$\Sigma [(Costo\ de\ Cuadrilla\ i) * (X_i)] + U_2 - V_2 = Costo\ meta$

Decisión de uso de cuadrilla:

$\Sigma [X_i] = 1$

Con $X_i, U_j, V_j \geq 0$ (siendo: $i=1,2,3,\dots,10$; $j=1,2$)

El modelo de programación lineal desarrollado tiene como objetivo minimizar el excedente del tiempo de ejecución (V_1) con una prioridad $P1$ y reducir el excedente del costo de la cuadrilla (V_2) con una prioridad $P2$. Asimismo, los tiempos

de ejecución y el costo de cuadrilla necesarios para las restricciones se obtienen de la Tabla 3.

Para realizar las programaciones por metas se ha usado la herramienta Solver del MS Excel (Método de Resolución: Simplex LP), y además se han considerado 5 escenarios con distintas prioridades, véase Tabla 4.

TABLA 4.

DURACIONES Y COSTOS POR CADA TIPO DE CUADRILLA

Variable de desviación	Prioridades de meta				
	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 5
V1 (Tiempo de ejecución)	1	100	500	1	1
V2 (Costo de cuadrilla)	1	1	1	100	500

De la tabla anterior, se puede deducir que el escenario 1 brinda la misma prioridad a las variables de desviación, los escenarios 2 y 3 brindan una mayor prioridad a la variable de desviación resultante de la restricción de tiempo de ejecución, y los escenarios 4 y 5 brindan una mayor prioridad a la variable de desviación resultante de la restricción de costos por cuadrilla.

E. Resultados del modelo

Después de ejecutar los 20 modelos (5 escenarios por cada tipo de obra), los resultados se resumen en la Tabla 5.

TABLA 5.

CUADRILLAS ÓPTIMAS PARA LOS DISTINTOS ESCENARIOS

Modelo	OAB	OAM	OSB	OSM
Esc. 1	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante
Esc. 2	Cuadrilla 4: 2 Operario 3 Ayudante	Cuadrilla 6: 3 Operario 4 Ayudante	Cuadrilla 2: 1 Operario 2 Ayudante	Cuadrilla 2: 1 Operario 2 Ayudante
Esc. 3	Cuadrilla 10: 5 Operario 6 Ayudante	Cuadrilla 10: 5 Operario 6 Ayudante	Cuadrilla 6: 3 Operario 4 Ayudante	Cuadrilla 6: 3 Operario 4 Ayudante
Esc. 4	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante
Esc. 5	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante	Cuadrilla 1: 1 Operario 1 Ayudante

De lo anterior, se puede notar que en los escenarios (4 y 5) donde la prioridad era reducir el costo excedente de la meta, dan como resultado la cuadrilla 1; esto mismo sucede cuando el escenario (1) brinda la misma prioridad en las dos metas. En cambio, en los escenarios (2 y 3) se obtienen composiciones diversas en las cuadrillas óptimas.

En ese sentido, comparando los resultados de los modelos con los tiempos de ejecución resultantes del estudio de tiempos, se recomienda usar el tipo de cuadrilla 6 para las obras subterráneas, el tipo de cuadrilla 4 para las aéreas de baja tensión, y el tipo de cuadrilla 6 para las aéreas de media tensión.

Considerando las obras áreas y subterráneas para baja y media tensión comunes en la ejecución, se obtiene la duración en minutos y en jornadas (mediante los diagramas de Gantt) teniendo en cuenta las composiciones de cuadrillas óptimas obtenidas, véase Tabla 6 y Tabla 7.

A manera de ejemplo, en la Fig. 4 se presenta un diagrama de Gantt realizado para uno de los proyectos antes mencionados.

TABLA 6.
RESUMEN PARA OBRAS ÁREAS PROMEDIO

	OAB	OAM
Nº Postes promedios	4	8
Cuadrilla		
Nº de capataces	1	1
Nº de operarios	2	3
Nº de ayudantes	3	4
Duraciones		
Duración (min)	407.6	1,106.0
Duración (jornada)	1.06	2.86

TABLA 7.
RESUMEN PARA OBRAS SUBTERRÁNEAS PROMEDIO

	OSB	OSM
Longitud de obra promedio en metros	28	180
Cuadrilla		
Nº de capataces	1	1
Nº de operarios	3	3
Nº de ayudantes	4	4
Duraciones		
Duración (min)	1,154.9	9,122.8
Duración (jornada)	2.99	23.63

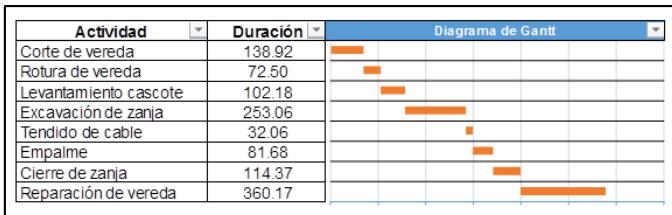


Fig. 4. Diagrama de Gantt para una obra promedio subterránea de baja tensión

De los resultados mostrados, se puede deducir que las obras subterráneas de media tensión demorarán aproximadamente un mes calendario, y una obra área de baja tensión puede ser realizada en un día de trabajo, asimismo, se podrán realizar 2 obras aéreas de media tensión o 2 obras de baja tensión en una semana de trabajo.

IV. CONCLUSIONES

De la presente aplicación, se puede comprobar que la programación lineal por metas permite atacar un problema con varios objetivos al mismo tiempo, teniendo o no prioridades entre las metas.

Adicionalmente, el estudio de tiempos realizado es una técnica de ingeniería que permite medir la situación actual del proceso; sin embargo, en esta ocasión ha permitido obtener de manera óptima la conformación de cuadrillas de trabajo para la realización de obras eléctricas.

En la aplicación realizada en este trabajo, se evidencia que cuando la prioridad es la misma o mayor para la restricción de costo de la cuadrilla, el modelo matemático da como resultado la cuadrilla 1, que contiene menos personal en su composición y por ende menor costo. Por otro lado, cuando la prioridad es mayor para la restricción tiempo de ejecución, se obtienen diferentes composiciones de las cuadrillas.

En base a ello, también se puede concluir que, para ejecutar eficientemente las demandas diarias de obras, se recomienda usar el tipo de cuadrilla 6 para las obras subterráneas, el tipo de cuadrilla 4 para las aéreas de baja tensión, y el tipo de cuadrilla 6 para las aéreas de media tensión.

Con los resultados obtenidos, se ha calculado lo que se demoraría una obra promedio, con la ayuda de los diagramas de Gantt.

Finalmente, este modelo de programación lineal por metas sirve para determinar la cuadrilla óptima para cada tipo de obra, lo cual permitirá atender eficientemente las demandas diarias de obras eléctricas.

REFERENCIAS

- [1] Taha H. (2012). Investigación de Operaciones. México: Pearson.
- [2] Winston W. (2006). Investigación de Operaciones: Operaciones y Algoritmos. México: 2006.
- [3] Charnes, A. and Cooper, W.W. (1961). Management Models and the Industrial Applications of Linear Programming. John Wiley, New York.
- [4] Ijiri, Y. (1965). Management Goals and Accounting for Control. North Control Publishing Company, Amsterdam.
- [5] Maino, M., Pittet, J., Köbrich, C. (1993). Programación Multicriterio: Un Instrumento para el Diseño de Sistemas de Producción. RIMISP, Santiago de Chile.
- [6] Garza, R. y González, C. (2004). Modelo Matemático para la Planificación de la Producción en la Cadena de Suministro. Revista Ingeniería Industrial, La Habana.
- [7] Romero, C. (1996). Análisis de las decisiones multicriterio. Isdefe, Madrid.
- [8] Villalba, D. (1974). Programación por objetivos. Revista Española de Financiación y Contabilidad, Madrid.
- [9] Chavez, Nicolas (2011). Modelos de Programación Lineal y No Lineal con Multiobjetivos. Revista Varianza del Instituto de Estadística Teórica y Aplicada, La Paz.
- [10]Cohon, J.L. (1978). Multiobjective programming and planning. Ed. Academic Press, New York.
- [11]Meyers F. (2000). Estudio de Tiempos y Movimientos para la Manufactura Ágil. Pearson Educación, México DF.
- [12]Organización Internacional del Trabajo (1996). Introducción al Estudio del Trabajo.