



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Vicerrectoría de Posgrados e Investigación

Posgrados en Ingeniería y Negocios

Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

FLUJO MÁXIMO DE TRABAJADORES EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA

Tesina que para obtener el grado de Maestro en Logística y Dirección de la
Cadena de Suministro

Presenta

Aldo Cesar Zarate Zapata

Director

Dr. Damián Emilio Gibaja Romero



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

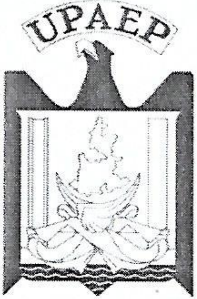
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla



Vicerrectoría de Posgrados e Investigación

Posgrados en Ingeniería y Negocios

Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Se aprueba la Tesina llamado:

**FLUJO MÁXIMO DE TRABAJADORES EN UNA EMPRESA
CONSTRUCTORA**

Comité de Revisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Damián', is written over a horizontal line.

Dr. Damián Emilio Gibaja Romero

Director

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Patricia', is written over a horizontal line.

Dra. Patricia Cano Olivos

Asesora

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diana', is written over a horizontal line.

Dra. Diana Sánchez Partida

Asesora

Puebla, México.

Febrero 2018



Puebla, Puebla a 15 de diciembre del 2017

Dr. José Luis Martínez Flores
**Director Académico de la Maestría y Doctorado en Logística y
Dirección de la Cadena de suministro
UPAEP**

Por este conducto me permito informarle que Aldo Cesar Zarate Zapata con ID 3378709 y matrícula 19100349, realizó su estancia profesional en la empresa COVITSA S.A. de C.V. en el período comprendido del 05 de junio del 2017 al 15 de diciembre del 2017, durante la cual desarrollo el proyecto denominado: FLUJO MÁXIMO DE TRABAJADORES EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA.

No hay inconveniente por parte de COVITSA S.A. de C.V. de que el estudiante o cualquiera de los profesores involucrados den a conocer el contenido del proyecto desarrollado, así como también los resultados de la investigación por medio de la biblioteca digital, presencial o algún otro medio de difusión y publicación como conferencias, congresos, revistas o cualquier otro medio académico.

Sin otro particular le mando un cordial saludo.

ATENTAMENTE



COVITSA
COOPERATIVO EN VIAS TERRESTRES S.A. DE C.V.
R.F.C. CVT100223BB0
Guadalupe Victoria 608 Col. San Baltazar Campeche
Puebla, Pue. C.P 72550
Tel. 01 22 28 87 26 91 covitsa@gmail.com

ING. GORGONIO CASTRO VELASCO
COORDINADOR DE PROYECTOS
covitsa.admon2@gmail.com
tel. 2225057308



Puebla, Puebla a 15 de diciembre del 2017

Dr. José Luis Martínez Flores
**Director Académico de la Maestría y Doctorado en Logística y
Dirección de la Cadena de suministro
UPAEP**

Por este conducto me permito informarle que Aldo Cesar Zarate Zapata con ID 3378709 y matrícula 19100349, realizó su proyecto profesional en la empresa COVITSA S.A. de C.V. en el período comprendido del 05 de junio del 2017 al 15 de diciembre del 2017, durante la cual desarrollo el proyecto denominado: FLUJO MÁXIMO DE TRABAJADORES EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA

No hay inconveniente por parte de COVITSA S.A. de C.V. de que el estudiante o cualquiera de los profesores involucrados den a conocer el contenido del proyecto desarrollado, así como también los resultados de la investigación por medio de la biblioteca digital, presencial o algún otro medio de difusión y publicación como conferencias, congresos, revistas o cualquier otro medio académico.

Sin otro particular le mando un cordial saludo.

**ING. GORGONIO CASTRO VELASCO
COORDINADOR DE PROYECTOS**

covitsa.admon2@gmail.com

tel. 2225057306



R.F.C. CVT100223BB0
C. Guadalupe Victoria 608 Col. San Baltazar Campeche
Puebla, Pue. C.P. 72550
Tel. 01 22 28 87 26 91 covitsa@gmail.com

Resumen

La industria de la construcción en México es una de las actividades económicas más importantes y representativas para el desarrollo del país, ya que han sido responsables de la planeación, diseño y desarrollo de la infraestructura de obras como son la edificación de puentes, carreteras, puertos, vías férreas, presas, escuelas y hospitales, por mencionar algunos, además de que utilizan insumos provenientes de otras industrias como el acero, cemento, madera, energía eléctrica, maquinaria y equipo, entre otros. Por lo tanto, mientras más obras se construyen, más riqueza se crea, generando mayor empleo.

Es común que las empresas constructoras participen en licitaciones de obras, tanto públicas como privadas. Una vez que las empresas adjudican alguna licitación, deberán de finalizar el proyecto en el tiempo establecido. Sin embargo, existe un gran problema respecto a la mano de obra contratada ya que los trabajadores son contratados por obra determinada lo que implica que la duración del trabajo está ligado a la duración de la construcción. Como no todos los trabajadores deben participar durante todo el período del proyecto, las empresas deben determinar el número óptimo de trabajadores que cada proyecto requiere en cada período para cumplir con el tiempo establecido en las licitaciones.

Modelamos el problema anterior como un problema de flujo máximo de trabajadores a través de una red dirigida que enlazan periodos de tiempo con proyectos. Estos enlaces indican el inicio y finalización algún proyecto en los que la empresa constructora puede trabajar en ellos. Por lo tanto, el flujo de un periodo a un proyecto representa la cantidad de trabajadores que deben trabajar en dicho proyecto. En consecuencia, este modelo nos permite analizar un problema de asignación dinámica de los trabajadores a través de una red que se puede representar con diferentes escenarios para una empresa constructora.

Este proyecto se propone a obtener el número óptimo de trabajadores, en cada período, para una empresa constructora que necesita terminar 11 proyectos a lo largo de un año dado su problema para cumplir con los tiempos de finalización de las licitaciones. Mostramos el número óptimo de trabajadores que cada proyecto requiere en cada período para hacer frente al tiempo de finalización. Además, analizamos diferentes escenarios de planificación para explicar cómo la empresa puede participar y completar los 11 proyectos en un año.

Abstract

The construction industry in Mexico is one of the most important and representative economic activities for the development of the country, they have been responsible for the planning, design and development of construction infrastructure such as the construction of bridges, roads, ports, railroads, dams, schools and hospitals, among others, moreover they use inputs from other industries such as steel, cement, wood, electric power, machinery and equipment, among others. Therefore, the more works are built, the more wealth is created, generating more employment.

It is common for construction companies to participate in tenders to build as well public as private. Once the companies award a tender, they have to finish the project in the established time. However, exist a big problem with respect the hired labor that the workers hired for specific work which implies that the duration of the work is linked to the duration of the construction. Since not all workers have participated during all the project's period, companies need to determine the optimal number of workers that each project requires in each period to fulfill time established in the tender's.

We model the previous problem as a maximum flow problem of workers through a directed network that links time periods with projects. These links indicate the starting and ending periods of each project as the periods in which the company may work on them as well. So, the flow of a period-project arrow represents the number of workers that have to work on such project. Consequently, this modeling approach allows us to analyze a dynamic assignment problem of workers through a network that may represent different planning scenarios for a construction company.

The objective of this project is to get the optimal number of workers, at each period, for a construction company that needs to finish 11 public projects in one year, in order to comply with the bidding completion times. We show the optimal number of workers that each project requires in each period to face the end time. In addition, we analyze different planning scenarios for how the company can participate and complete 11 public projects in a year.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla por la oportunidad para estudiar la maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro.

Al Dr. Damián Emilio Gibaja Romero por su paciencia, conocimientos y consejos para el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Gorgonio Castro Velasco y la empresa COVITSA S.A. de C.V. por la apertura y disposición para el desarrollo de este trabajo.

A mi familia por su paciencia, apoyo y motivación en todo momento mientras desarrollaba mis estudios de maestría.

A mis compañeros, profesores y amigos por ser parte en esta etapa de mi vida.

Un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado una beca durante la maestría.

Índice General

CAPITULO I. Introducción	9
1.1. Descripción de la empresa.....	9
1.2. Planteamiento del problema	9
1.3. Objetivo general	9
1.4. Objetivo específico.....	9
1.5. Limitaciones	9
CAPTULO II. Artículo	10
1. Introducción	10
2. Problemática de la empresa constructora	11
3. Metodología	13
4. Análisis de Escenarios y Resultados.	14
4.1 Escenario 1.....	15
4.2 Escenario 2.....	17
4.3 Escenario 3.....	19
5. Conclusiones.	21
6. Referencias.....	22
7. Anexos.....	23
CAPITULO III. Conclusiones.....	25
CAPITULO IV. Trabajo futuro.....	25
CAPITULO V. Anexo	26

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos de la empresa constructora.....	12
--	----

Índice de Figuras

Figura 1. Escenario 1.....	16
Figura 2. Resultados Escenario 1.	17
Figura 3. Escenario 2.....	18
Figura 4. Resultados Escenario 2.	19
Figura 5. Escenario 3.....	20
Figura 6. Resultados Escenario 3.	21

CAPITULO I. Introducción

1.1. Descripción de la empresa

COVITSA S.A. de C.V., por sus siglas, Corporativo en Vías Terrestres S.A. de C.V., es una empresa dedicada a la construcción de obras públicas y privadas, ubicados en San Baltazar Campeche, Puebla, México. Cuenta con un equipo de trabajo integrado por 24 trabajadores de los cuales 10 son eventuales. Sus principales clientes son: la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), Empresa de Ingenieros Civiles Asociados (ICA), Promotora y Operadora de Infraestructura S.A. de C.V (PINFRA), Grupo CARSO (GCARSO), entre otros, las dependencias del Gobierno Mexicano.

1.2. Planteamiento del problema

COVISTA S.A de C.V. realiza aproximadamente 11 proyectos en un año utilizando su máxima capacidad de trabajadores, sin embargo, por la volatilidad de las licitaciones no es posible determinar cuántos trabajadores se necesita para realizar un proyecto ya que hay proyectos en los que solo se necesitan a 14 trabajadores dejando así a 10 trabajadores que están a la espera de realizar un proyecto, además dicha volatilidad de las licitaciones no es posible determinar cuándo iniciaran un nuevo proyecto.

1.3. Objetivo general

Analizar y determinar el número de trabajadores que debe de haber en cada proyecto mediante el modelo de flujo máximo.

1.4. Objetivo específico

1. Plantear el modelo de red de flujo máximo como modelo de solución.
2. Proponer distintos escenarios donde la empresa constructora puede adjudicar los proyectos en un año.
3. Diseñar el modelo de red de flujo máximo para su mayor entendimiento.
4. Definir soluciones óptimas para cada situación propuesta.

1.5. Limitaciones

La empresa constructora prefiere no utilizar su nombre comercial en el artículo de investigación por políticas de la empresa entonces de ahora en adelante se denominará a la empresa COVITSA S.A. de C.V. como empresa constructora. Los proyectos adjudicados por la empresa son una estimación aproximada de lo que realizan en un año al igual que el tiempo de entrega de cada proyecto.

CAPTULO II. Artículo enviado al 7th International Conference on Optimization Problems and Their Applications OPTA-2018

FLUJO MÁXIMO DE TRABAJADORES EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA

**Aldo Zarate, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla,
aldoesar.zarate@upaep.edu.mx**

**Damián Gibaja, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla,
damianemilio.gibaja@upaep.mx**

RESUMEN

Los problemas de flujo máximo tienen una amplia gama de aplicaciones dentro de la investigación de operaciones, ya que muestra en una red la capacidad máxima que se quiere optimizar de algún recurso ya sea materia prima, recurso humano o capital. Este trabajo tiene por objetivo maximizar el número de trabajadores por proyecto en una empresa constructora cumpliendo con los tiempos de entrega requeridos mediante el método de flujo máximo y utilizando un software comercial de optimización.

PALABRAS CLAVE: Flujo máximo, programación lineal, red.

1. Introducción

La industria de la construcción es una de las actividades económicas más importantes en México ya que mejora la tasa de crecimiento económico a largo plazo, fortalece la industria nacional en los procesos de producción, distribución y comercialización, volviéndolas más productivas y competitivas (Cruz, 2016).

La mayor parte de los ingresos de la industria de la construcción son mediante proyectos de ampliación, modernización y construcción de obras que pueden ser para el gobierno o privados. Las ejecuciones de los proyectos de obra involucran un gran número de operaciones para transformar recursos mediante el trabajo conjunto de varias organizaciones, de ahí que tales proyectos sean complejos de administrar. Las características que dificultan la administración de los proyectos de obra son: la naturaleza única de los proyectos, fragmentación al invertir gran cantidad de personas y organizaciones, adjudicaciones altamente competitivas, licitaciones a base de apadrinamientos, aumento constante de normas y restricciones, presupuestos con poco margen de utilidad, costos inestables con el tiempo, escasez de mano de obra calificada, entre otras (Cruz, 2016).

Los proyectos de obra son finitos y esto crea la necesidad de mano de obra intensa, pero por periodos cortos, es decir, el personal obrero no es permanente. Por la eventualidad de los trabajadores, las empresas constructoras contratan personal por obra determinada, y no siempre se tiene una continuidad en la contratación de nuevas obras, ponen en segundo término o dan poca importancia al personal eventual, pensando que, al término de la obra, éste personal dejara de trabajar en su empresa (Cervantes, 2005).

Por lo anterior, las empresas constructoras buscan reducir el tiempo de ociosidad de los trabajadores para concretar un proyecto e iniciar con uno nuevo. Existen numerosos estudios de optimización de recurso humano y modelos de asignación de trabajadores con el fin de mantener el objetivo de una organización. En este orden de ideas se puede citar a Ford y Fulkerson (1956) que desarrollaron el problema de flujo máximo el cual consiste en transportar la cantidad máxima de algún recurso desde un nodo de origen a un nodo de destino satisfaciendo las restricciones de capacidad, años después Gorham (1960) implementó éste problema para asignar el personal de entrenamiento en la Fuerza Aérea de los E.U.A a un menor costo. En años recientes este tipo de aplicaciones ha tenido gran importancia en la industria textil (Araujo, 2011), automotriz (Ottemöller, 2003), aeronáutica (Richards y How, 2002), manufacturera (Mourtzis, 2016), entre otras.

En este trabajo nuestra principal aportación es utilizar el método de flujo máximo tomando como caso de estudio a una empresa constructora ubicada en México para determinar la asignación de trabajadores para realizar los proyectos de obra de la empresa constructora a lo largo de un año, cumpliendo con los tiempos de entrega en las fechas estipuladas, así mismo, se simulan tres posibles escenarios donde la empresa constructora puede adjudicar los proyectos en diferentes periodos del año y así tener en cuenta cuando realizaran un nuevo proyecto, esto con el fin de que la empresa constructora tenga una planeación en la asignación de trabajadores que deberá de utilizar en cada proyecto.

El presente trabajo está comprendido en siete secciones: 1) Introducción, 2) Problemática de la empresa constructora, 3) Metodología, 4) Análisis de Escenarios y Resultados, 5) Conclusiones, 6) Referencias y 7) Anexos del modelo matemático utilizado.

2. Problemática de la empresa constructora

El presente trabajo toma como caso de estudio a una empresa constructora de infraestructura en vías terrestres en México, el cual cuenta con un equipo de trabajo integrado por 24 trabajadores de los cuales 10 son eventuales. Sus principales clientes son: la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), Empresa de Ingenieros Civiles Asociados (ICA), Promotora y Operadora de Infraestructura S.A.

de C.V (PINFRA), Grupo CARSO (GCARSO), entre otros, las dependencias del Gobierno Mexicano.

La empresa constructora genera sus ingresos a través de licitaciones de proyectos de obra de sus principales clientes. De acuerdo con datos históricos de la empresa, se sabe que realizan aproximadamente once proyectos cada año, y cada proyecto debe concluirse en cuarenta y cinco días. Cabe mencionar que la empresa constructora asigna a catorce trabajadores de planta para realizar un proyecto. Debido a la experiencia de sus trabajadores avanzan gran parte del proyecto en quince días, dejando así treinta días para realizar cambios imprevistos en los proyectos y así entregar dichos proyectos en las fechas estipuladas de las licitaciones, esto provoca que la empresa tenga trabajadores ociosos en lo que esperan un nuevo proyecto. Para una mejor referencia vea la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de la empresa constructora.

Trabajadores	Proyectos	Entrega de Proyectos (días)	Duración de cada periodo laboral (días)	Año laboral (días)
24	11	45	15	360

Tabla 1. Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa constructora.

A pesar del esfuerzo de la empresa constructora, carecen de una planeación en la realización de sus proyectos debido al dinamismo y volatilidad de las licitaciones adjudicadas, es decir, no existe una correcta asignación de los trabajadores para realizar un proyecto derivado de la incertidumbre de cuando iniciaran un nuevo proyecto, esto provoca un aumento en los costos y gastos totales afectando directamente las utilidades de la empresa constructora.

Por lo anterior, se simulan tres posibles escenarios donde la empresa constructora puede realizar los once proyectos que generalmente realiza en un año. El primer posible escenario la empresa constructora puede realizar los once proyectos en cualquier periodo del año. El segundo posible escenario la empresa constructora puede iniciar un nuevo proyecto cada que esté a mitad de concluir un proyecto. El tercer posible escenario la empresa constructora puede realizar un nuevo proyecto cada que finaliza un proyecto.¹

¹ Los datos utilizados para desarrollar el modelo fueron proporcionados por la empresa constructora.

3. Metodología

Notemos que la empresa constructora requiere hacer una asignación de trabajadores a lo largo de un año. Dicha asignación debe cuidar que en cada proyecto trabaje un número suficiente de trabajadores para terminarlo dentro de los cuarenta y cinco días estipulados por las licitaciones de sus clientes. Por lo anterior, se emplea un modelo de flujo máximo para resolver el problema anterior. A continuación, se describen los elementos del modelo.

En primera instancia, un problema de flujo se lleva a cabo sobre un grafo o también llamado red. Así, consideramos un conjunto de puntos denominados nodos representados por el conjunto $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ y curvas denominadas arcos representada por el conjunto $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ que conectan ciertos pares de nodos (X, A) por lo cual pueden moverse o fluir toda clase de recursos. Para abordar la problemática de la empresa constructora definimos tres tipos de nodos, los nodos artificiales $\{s, t\}$, los nodos periodos de tiempo $\{i\}$ y los nodos proyecto $\{j\}$. Representados por el conjunto $X = \{s, i, j, t\}$ donde:

s = nodo inicial.

i = nodos periodo de tiempo.

j = nodos proyectos.

t = nodo final.

Existen tres tipos de arcos, los que van del nodo inicial a cualquier periodo de tiempo $\{s, i\}$, los nodos periodo de tiempo a proyectos $\{i, j\}$ y por último, de nodo proyecto al nodo final $\{j, t\}$. Representados por el conjunto $A = \{s, i\}, \{i, j\}, \{j, t\}$ donde:

$\{s, i\}$ = Indican la disponibilidad de los veinticuatro trabajadores de la empresa constructora que están disponibles en cada periodo de tiempo.

$\{i, j\}$ = Indican la asignación de catorce trabajadores que debe de haber como mínimo para los once proyectos.

$\{j, t\}$ = Indican el tiempo de cuarenta y cinco días en el que deben de terminar cada proyecto.

Quintana (2010) señala que cada arco puede considerarse como un conducto que tiene cierta capacidad de flujo. El flujo $f(i, j)$ es una función no negativa definida en los arcos. La capacidad de un arco $q(i, j)$, es un valor no negativo asociado al arco (i, j) . Entonces, el flujo enviado a través de las trayectorias representa el flujo de trabajadores que debe ser factible con respecto al número total de trabajadores en la empresa constructora, así $f(i, j) \leq q(i, j)$. Siguiendo la misma idea, los arcos de origen a periodo $q(s, i)$ tienen una capacidad de 24 que son los trabajadores disponibles de la empresa constructora, de periodo a proyectos $q(i, j)$

tienen una capacidad de 14 que son los trabajadores que asigna la empresa para realizar un proyecto y de proyectos a nodo final $q(j, t)$ indican el tiempo (en número de trabajadores) que se necesita para terminarlo.

El modelo matemático del problema de flujo máximo se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Maximizar } z = X_{ts} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j(i,j) \in A} f(i,j) - \sum_{j(j,i) \in A} f(j,i) = \begin{cases} x_{ts} & \text{si } i = s \\ 0 & \text{si } i \neq s, t \\ -x_{ts} & \text{si } i = t \end{cases} \quad \begin{matrix} (2) \\ (3) \\ (4) \end{matrix}$$

$$0 \leq f(i,j) \leq q(i,j) \quad (5)$$

La función objetivo (1) busca maximizar la cantidad de trabajadores que debe de haber por cada proyecto. La restricción (2) indica la oferta que sale del nodo inicial s , es la misma que llega al nodo final t . La restricción (3) indica la conservación de flujo en cada uno de los nodos, es decir, todo flujo que llega a un nodo, tiene que salir. La restricción (4) señala que el flujo que llega al nodo final t , es igual al flujo que sale en el nodo inicial s . El flujo de los nodos (5) debe corresponder con la capacidad con variables no negativas.

4. Análisis de Escenarios y Resultados.

En la presente sección analizamos los diferentes escenarios por medio del uso del software Lingo 11. El modelo matemático que se presentó en la sección anterior se programó de la siguiente manera:

MODEL: Nombre del modelo.

SETS: Declaración de las variables a utilizar.

NODOS /1...n/: Arcos y Nodos relacionados.

ARCOS (NODOS, NODOS): Declaración de nodo inicial a nodos intermedios y de nodos intermedios a nodo final, además se incluye un arco artificial que va del nodo final al nodo inicial. Puesto que la empresa no tiene un esquema de asignación, se analizarán diferentes redes (escenarios) que implican la declaración de diferentes arcos. Esto lo hacemos en las siguientes subsecciones.

ENDSETS: Finalización de las variables declaradas.

MAX: El flujo del arco artificial que se quiere maximizar.

@FOR(ARCOS(I,J):FLUJO(I,J)<=CAPACIDAD(I,J)): Restricción de capacidad.

@FOR(NODOS(I):@SUM(ARCOS(J,I):FLUJO(J,I))
 =@SUM(ARCOS(I,J):FLUJO(I,J))) : Balance del flujo, todo lo que entra tiene que salir.
 DATA: Declaración de datos.
 CAPACIDAD: Capacidad relacionada a cada ARCOS (NODOS, NODOS) declarado anteriormente.
 ENDDATA: Finalización de los datos declarados.
 END: Fin del modelo.

En las siguientes subsecciones se analizan los tres escenarios propuestos donde la empresa constructora puede adjudicar los once proyectos, cabe mencionar que los algoritmos utilizados para cada escenario se encuentran en la sección de Anexos.

4.1 Escenario 1.

Para el primer escenario suponemos que la empresa constructora adjudico los once proyectos y que puede realizar los proyectos en cualquier periodo del año, entonces los arcos que debe tener la red es que para cada periodo i , un arco que vaya a cada proyecto j . Sea arco (i, j) en la red para todo $i \in$ nodos periodos y $j \in$ nodos proyectos:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} (i, j), (i, j + 1), (i, j + 2), \dots (i, j + 10) \\ (i + 1, j), (i + 1, j + 1), (i + 1, j + 2), \dots (i + 1, j + 10) \\ \vdots \\ (i + 24, j), (i + 24, j + 1), (i + 24, j + 2), \dots (i + 24, j + 10) \end{array} \right\}$$

Este escenario se aprecia mejor en una red el cual se puede observar en la figura 1, que representa aquella situación en la que la empresa puede asignar trabajadores a proyectos en cualquier periodo de tiempo. Es decir, se tiene una red con todas las flechas posibles entre el nodo inicial, nodos periodo de tiempo, nodos proyecto y nodo final.

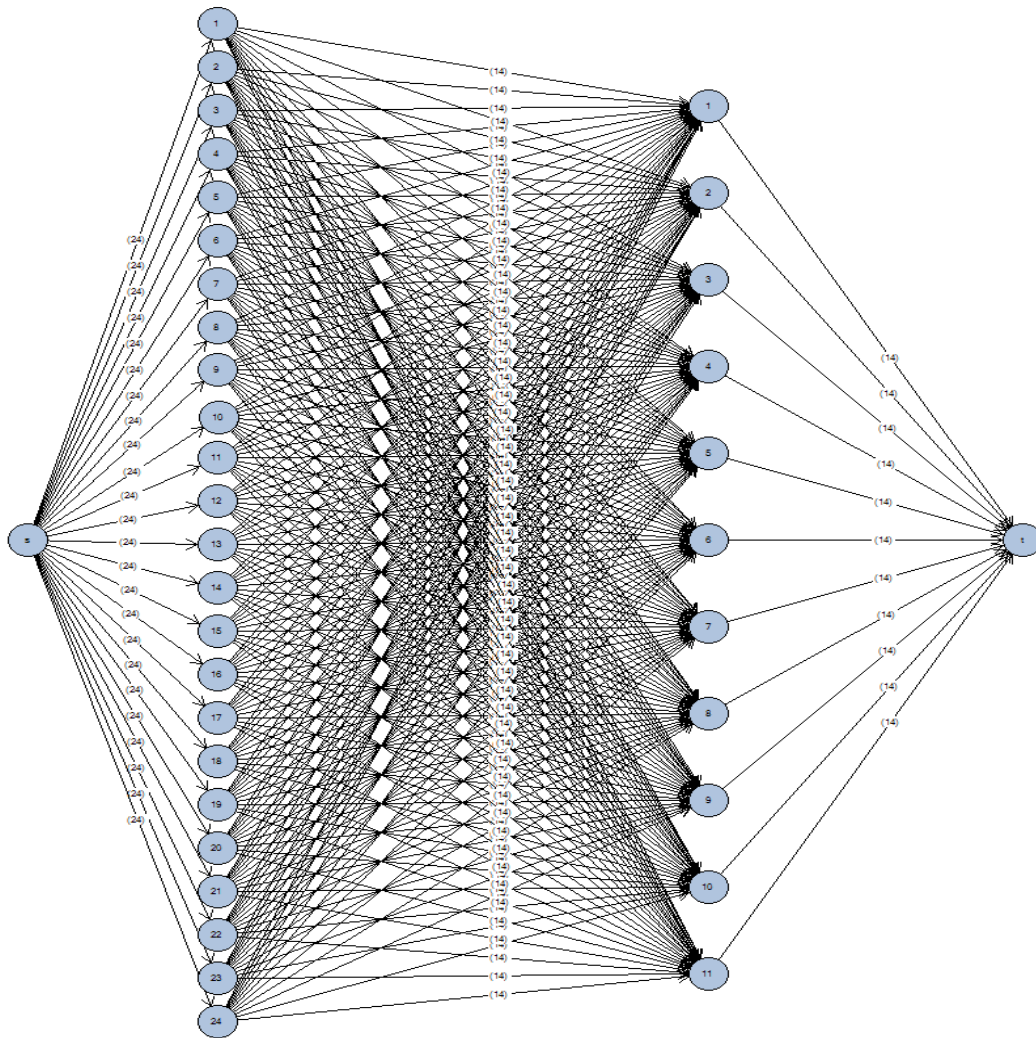


Figura 1. Escenario 1.

Aplicando el algoritmo propuesto en el software Lingo 11, se observa en la figura 2 que la empresa puede cumplir con sus obligaciones a tiempo, realizando las siguientes asignaciones:

- En el periodo 6 y 14 se asignarán 4 y 10 trabajadores para terminar el proyecto 1.
- En el periodo 2 y 15 se asignarán 10 y 4 trabajadores para terminar el proyecto 2.
- En el periodo 15 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 3.
- En el periodo 3 y 15 se asignarán 8 y 6 trabajadores para terminar el proyecto 4.
- En el periodo 13 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 5.
- En el periodo 1 y 3 se asignarán 10 y 4 trabajadores para terminar el proyecto 6.
- En el periodo 1 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 7.
- En el periodo 7 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 8.

En el periodo 2 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 9.

En el periodo 7 y 24 se asignarán 10 y 4 trabajadores para terminar el proyecto 10.

En el periodo 14 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 11.

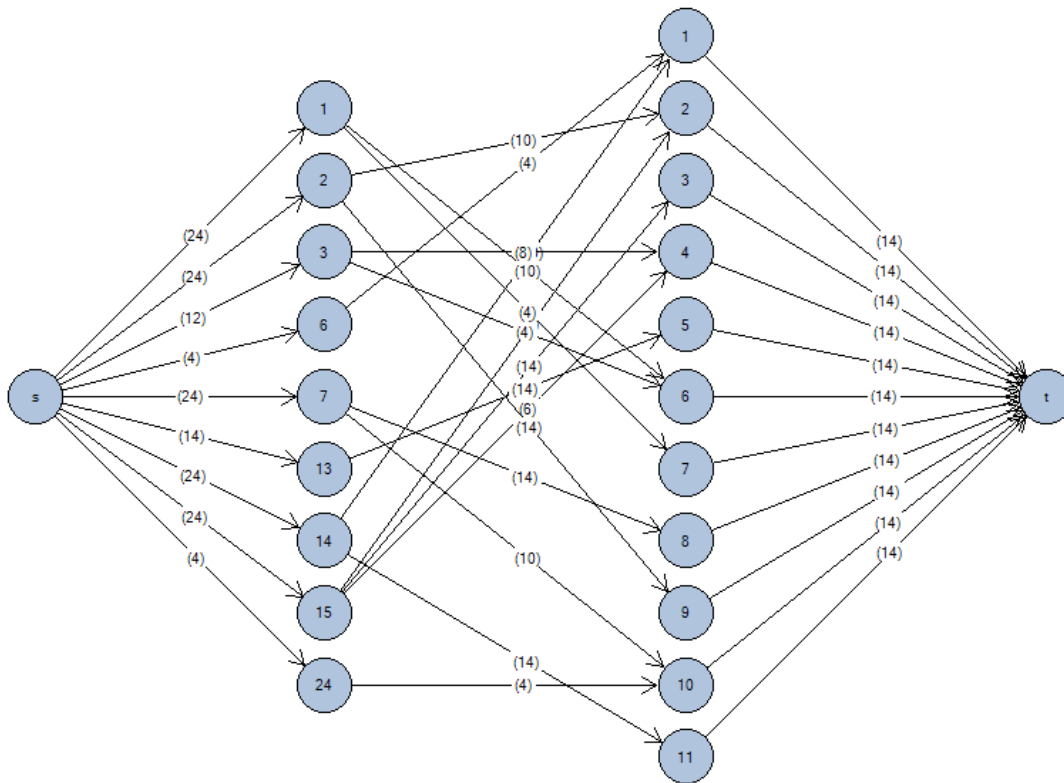


Figura 2. Resultados Escenario 1.

4.2 Escenario 2.

Para el segundo escenario suponemos que la empresa constructora realiza un proyecto y a mitad de concluir un proyecto, es decir, en el segundo periodo, empiezan un nuevo proyecto, entonces los arcos que debe tener la red es que para cada periodo i , tres arcos que vayan a cada proyecto j . A partir del proyecto $j+1$, las aristas que deben existir son:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} (i+1, j+1), (i+2, j+1), (i+3, j+1) \\ (i+2, j+2), (i+3, j+2), (i+4, j+2) \\ \vdots \\ (i+11, j+10), (i+12, j+10), (i+13, j+10) \end{array} \right\}$$

Este escenario se aprecia mejor en una red el cual se puede observar en la figura 3, que representa aquella situación en la que la empresa puede asignar trabajadores cada que reciben un

nuevo proyecto. Es decir, se tiene una red con las flechas posibles entre el nodo inicial, nodos periodo de tiempo, nodos proyecto y nodo final.

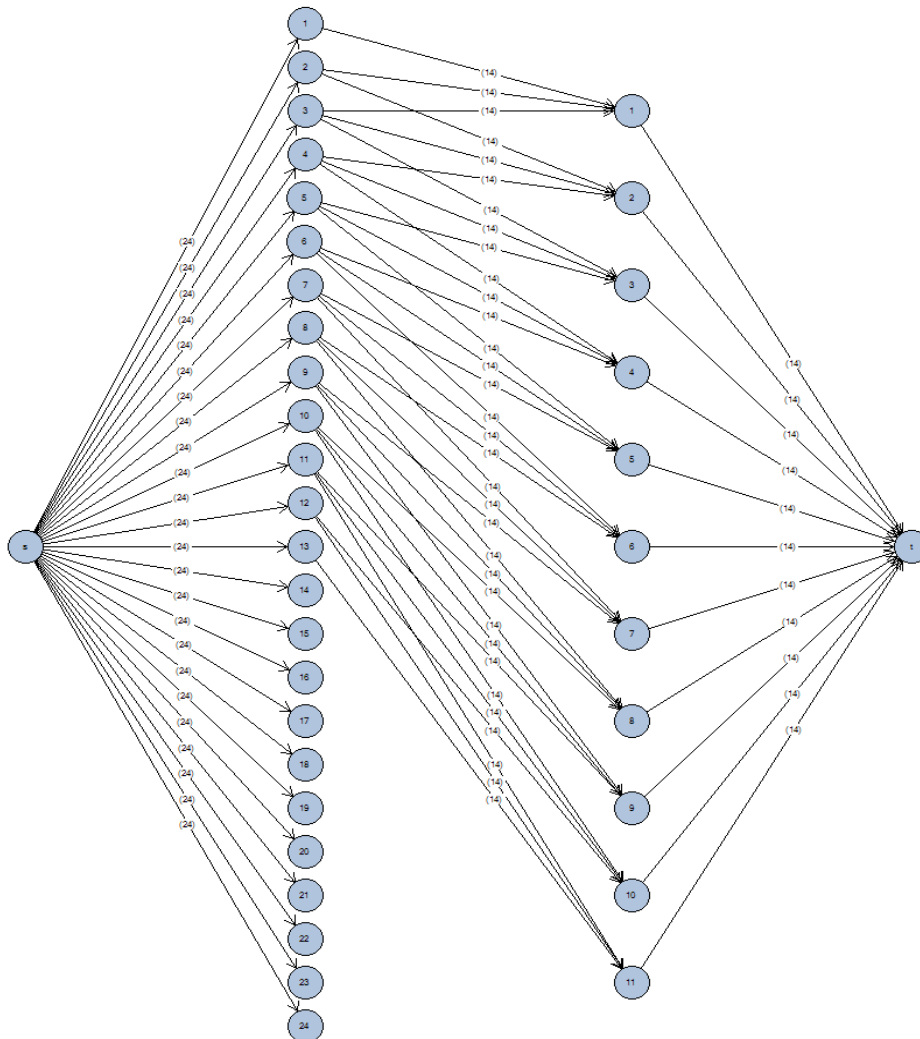


Figura 3. Escenario 2.

Aplicando el algoritmo propuesto en el software Lingo11, se observa en la figura 4 que la empresa puede cumplir con sus obligaciones a tiempo, realizando las siguientes asignaciones:

- En el periodo 1 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 1.
- En el periodo 2 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 2.
- En el periodo 4 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 3.
- En el periodo 4 y 5 se asignarán 14 y 10 trabajadores para terminar el proyecto 4.
- En el periodo 6 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 5.
- En el periodo 7 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 6.
- En el periodo 9 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 7.

En el periodo 10 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 8.

En el periodo 11 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 9.

En el periodo 10 y 11 se asignarán 4 y 10 trabajadores para terminar el proyecto 10.

En el periodo 13 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 11.

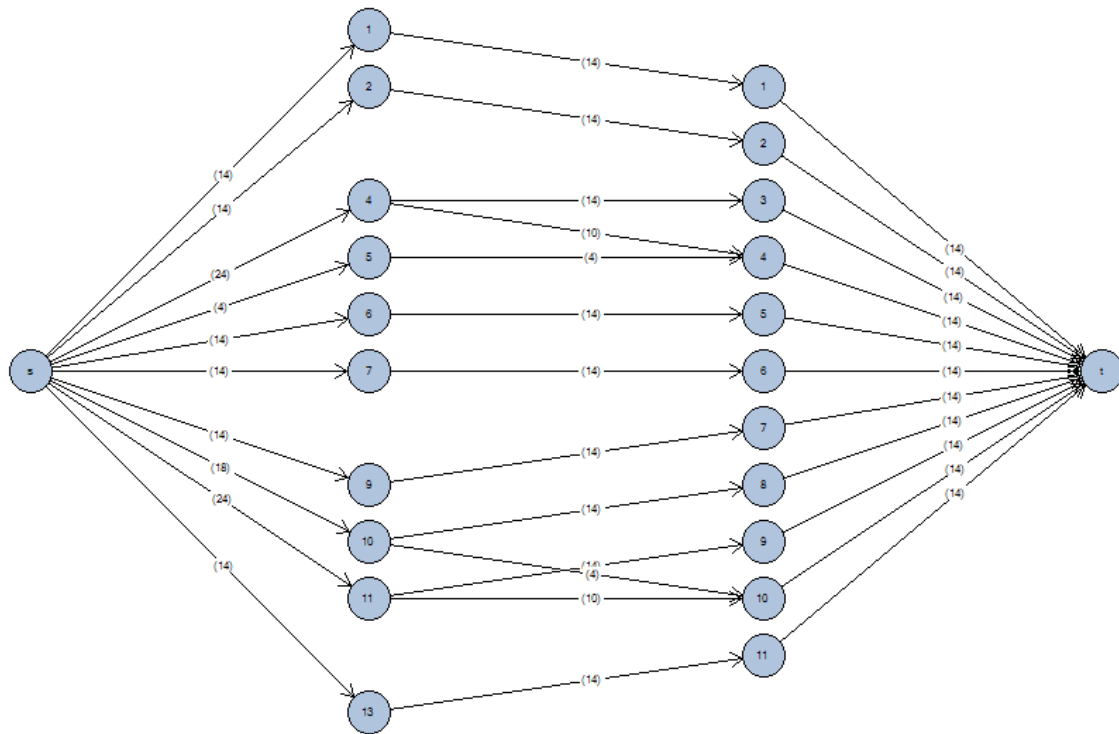


Figura 4. Resultados Escenario 2.

4.3 Escenario 3.

En el tercer escenario suponemos que la empresa constructora realiza un proyecto y una vez concluido el proyecto, es decir a los 45 días, inician con un nuevo proyecto, entonces los arcos que debe tener la red es que para cada periodo i , tres arcos que vayan a cada proyecto j . A partir del proyecto $j+1$, las aristas que deben existir son:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} (i + 1, j + 1), (i + 2, j + 1), (i + 3, j + 1) \\ (i + 3, j + 2), (i + 4, j + 2), (i + 5, j + 2) \\ \vdots \\ (i + 21, j + 10), (i + 22, j + 10), (i + 23, j + 10) \end{array} \right\}$$

Este escenario se aprecia mejor en una red el cual se puede observar en la figura 5, que representa aquella situación en la que la empresa puede asignar trabajadores cada que concluyen

un proyecto e inician inmediatamente un nuevo proyecto. Es decir, se tiene una red con las flechas posibles entre el nodo inicial, nodos periodo de tiempo, nodos proyecto y nodo final.

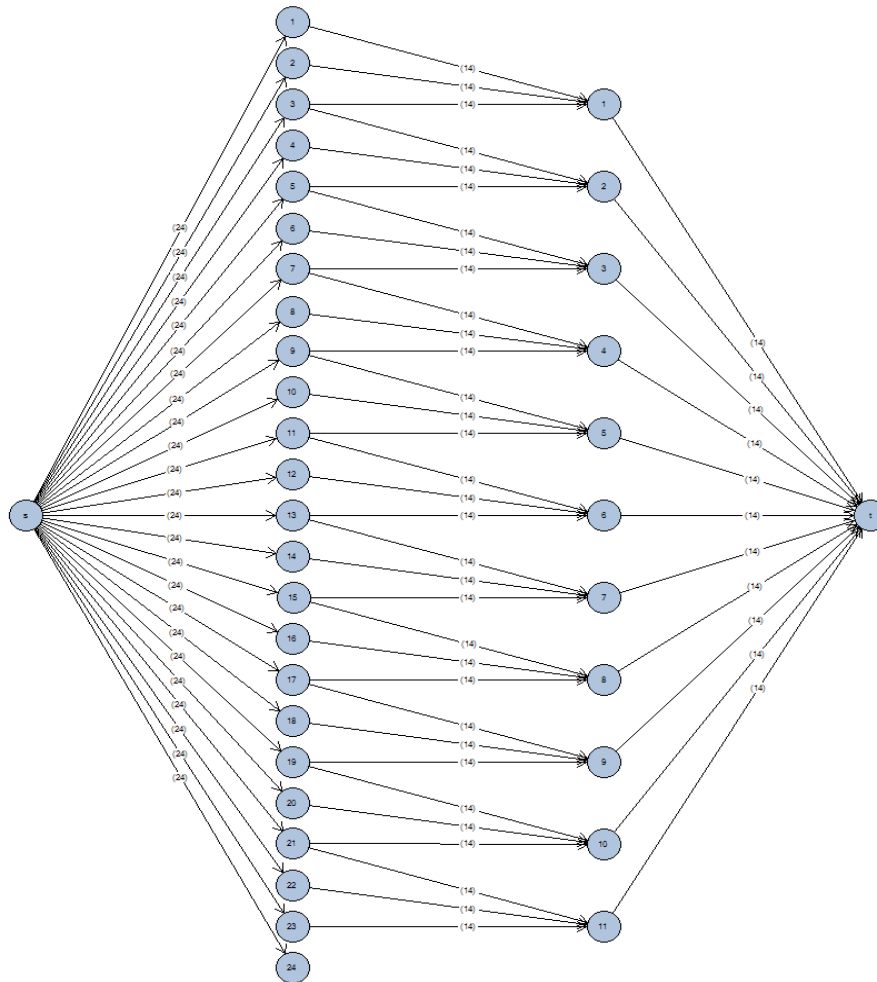


Figura 5. Escenario 3.

Aplicando el algoritmo propuesto en el software Lingo, se observa en la figura 6 que la empresa puede cumplir con sus obligaciones a tiempo, realizando las siguientes asignaciones:

- En el periodo 2 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 1.
- En el periodo 4 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 2.
- En el periodo 6 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 3.
- En el periodo 8 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 4.
- En el periodo 10 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 5.
- En el periodo 12 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 6.
- En el periodo 14 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 7.
- En el periodo 16 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 8.

En el periodo 18 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 9.

En el periodo 20 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 10.

En el periodo 23 se asignará 14 trabajadores para terminar el proyecto 11.

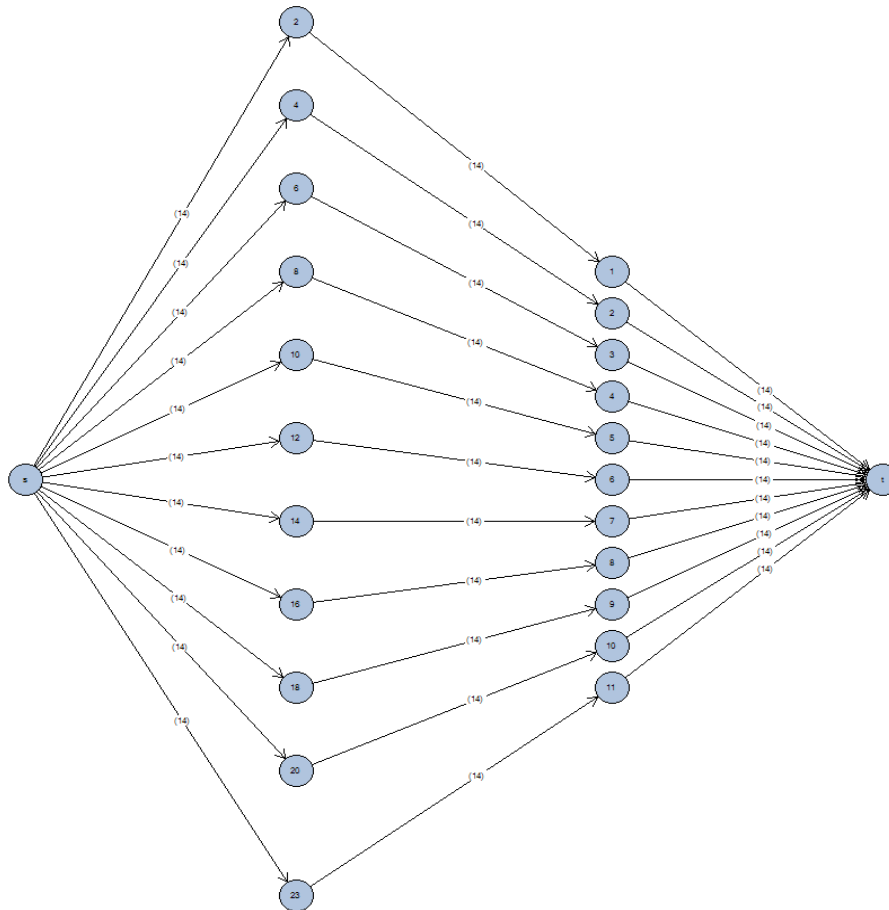


Figura 6. Resultados Escenario 3.

5. Conclusiones.

En este trabajo al implementar el modelo de flujo máximo utilizando el algoritmo propuesto en el software Lingo 11, se logró demostrar que en cada posible escenario la empresa requiere únicamente de los catorce trabajadores de planta y que son capaces de cumplir sus obligaciones a tiempo en cada proyecto a lo mas en 30 días (2 periodos), por lo que la empresa cuenta con el personal suficiente para realizar los proyectos a lo largo de un año, sin embargo, no se descarta la idea donde se requiera la ayuda de los trabajadores eventuales para realizar cambios imprevistos de los proyectos.

En este caso de estudio el modelo se toma la jerarquía de los trabajadores de la empresa constructora de manera horizontal, es decir, los proyectistas, ingenieros topógrafos, analistas o los auxiliares, tienen la misma responsabilidad o el mismo impacto en la empresa para realizar

los proyectos sin tomar en cuenta el grado de estudio, experiencia u horarios de los trabajadores. Así mismo, por políticas de la empresa solo se obtuvo la información donde la empresa constructora realiza aproximadamente once proyectos en un año, sin saber la fecha de inicio o de entrega específicos de cada proyecto, además de que todos los proyectos tienen la misma duración para finalizar un proyecto.

6. Referencias

Araujo C. Raúl, 2011. Programación Lineal Entera en la Industria Manufacturera Textil. Investigación de Operaciones. Editorial académica española.

Cervantes Abarca, Alejandro, 2005. El factor humano y su incidencia en el proyecto de construcción. Anuario. Consultado el 12 de noviembre del 2017 en: http://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/2005/1_2005.pdf

Cruz E. Salvador, 2016. El ABC para crear una empresa constructora en la sierra norte de Puebla.

D.Mourtzis, E., Vlachou, N., Boli, L., Graviyas, & C. Giannoulis, 2016. Manufacturing Networks Design through Smart Decision Making towards Frugal Innovation. Procedia CIRP Volume 50, 2016, Pages 354-359. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.166>

Ford L. R. and Fulkerson D. R, 1956. Maximal Flows Through a Networks. Canadian Journal of Mathematics, pp. 307-310.

Gorham William, 1960. An Application of a Network Flow Model to Personnel Planning, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RM-2587, 1960. As of October 15, 2017: https://www.rand.org/pubs/research_memoranda/RM2587.html

Ottmöller O., Friedrich H, 2017. Implications for Freight Transport Demand Modelling from Interdisciplinary Research: Developing a Concept for Modelling Freight Transport Within Supply Networks of the Automotive Industry. In: Abele E., Boltze M., Pfohl HC. (eds) Dynamic and Seamless Integration of Production, Logistics and Traffic. Springer, Cham

Quintana O. Bibiana, 2010. Propiedades de Transporte en Redes Complejas: Flujo Máximo y Corriente Eléctrica. Tesis doctoral. UNAM, México D.F.

Richards A. y How P, 2002. Aircraft trajectory planning with collision avoidance using mixed integer linear programming.


```

!Proyecto 2;5,27 6,27 7,27
!Proyecto 3;8,28 9,28 10,28
!Proyecto 4;11,29 12,29 13,29
!Proyecto 5;14,30 15,30 16,30
!Proyecto 6;17,31 18,31 19,31
!Proyecto 7;20,32 21,32 22,32
!Proyecto 8;23,33 24,33 25,33
26,37 27,37 28,37 29,37 30,37 31,37 32,37 33,37 37,1/:CAPACIDAD,FLUJO; ENDSETS
MAX=FLUJO (37,1);
@FOR(ARCOS(I,J):FLUJO(I,J)<=CAPACIDAD(I,J));
@FOR(NODOS(I):
@SUM(ARCOS(J,I):FLUJO(J,I))=@SUM(ARCOS(I,J):FLUJO(I,J)));
DATA:
CAPACIDAD= 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 1000;
ENDDATA
END

```

CAPITULO III. Conclusiones

Al desarrollar este trabajo se logró optimizar el número de trabajadores por proyecto que adjudica la empresa constructora en las licitaciones. Además, se demuestra en los distintos escenarios posibles que la empresa constructora puede utilizar a los 14 trabajadores de planta manteniendo así la plantilla de trabajadores activos evitando así tiempos de ociosidad en lo que esperan un nuevo proyecto generando mayores utilidades a la empresa constructora.

Por medio de esta propuesta se logra establecer un marco de integración y organización que permita establecer una planeación para alcanzar los objetivos de la empresa y así llegar a satisfacer a sus clientes cumpliendo con los tiempos establecidos.

CAPITULO IV. Trabajo futuro

En el trabajo futuro se pretende desarrollar el modelo aplicado en la empresa constructora con distintas variables para determinar la asignación de trabajadores dependiendo de las capacidades de cada trabajador como son el grado de estudios, responsabilidad de cada proyecto, horarios de trabajo, entre otros datos.

CAPITULO V. Anexo

10/1/2018

Gmail - OPTA-2018 submission



Aldo Zarate <aldocesarzz@gmail.com>

OPTA-2018 submission

1 mensaje

EasyChair <noreply@easychair.org>

8 de enero de 2018, 18:14

Para: Aldo Cesar Zarate Zapata <aldocesarzz@gmail.com>

Dear Aldo Cesar Zarate Zapata,

Aldo Cesar Zarate Zapata <aldocesarzz@gmail.com> submitted the following paper to OPTA-2018:

Workers Flow for Public Projects Management

You are listed as one of the authors of this paper. To enter the OPTA-2018 Web pages you should visit

<https://easychair.org/conferences/?conf=opta2018>

and enter your EasyChair user name and password.

If you forgot your user name or password, please visit

<https://easychair.org/account/forgot.cgi>

and specify aldocesarzz@gmail.com as your email address.

Best regards,
EasyChair Messenger.

Please do not reply to this email. This email address is used only for sending email so you will not receive a response.