



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

OPTIMIZACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE PERSONAL EN UN SISTEMA DE
TRANSPORTE DE PASAJEROS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MARTÍNEZ HERNÁNDEZ GUSTAVO FARID

TUTOR:
FLORES DE LA MOTA IDALIA
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. DE MÉX, AGOSTO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de imágenes, 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 donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Balderas Cañas Patricia
Secretario: M. I. Soler Anguiano Francisca Irene
Vocal: Dra. Flores De La Mota Idalia
1^{er}. Suplente: Dra. Segura Pérez Esther
2^{d o}. Suplente: Dra. Huerta Barrientos Aida

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

TUTOR DE TESIS:

Dra. Flores De la Mota Idalia

FIRMA

Índice

<u>Introducción.....</u>	<u>7</u>
Antecedentes.....	8
Problemática.....	8
Justificación.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos particulares.....	9
Hipótesis.....	10
<u>Capítulo 1. El sistema.....</u>	<u>11</u>
Descripción del sistema.....	11
Prestación del servicio.....	13
Perfiles de personal.....	14
Actividades para la prestación del servicio.....	15
Costos por el servicio.....	17
La empresa.....	19
Proyecto del tren.....	20
<u>Capítulo 2. Marco teórico.....</u>	<u>22</u>
Concepto de sistema.....	22
Organización.....	23
Estructura organizacional.....	24
Organización en una empresa de transporte.....	25
Programación de personal.....	26
Asignación de los trabajadores a las jornadas de trabajo.....	27
Programación lineal.....	28
Problema de asignación.....	29
Modelo de problema de asignación.....	30
<u>Capítulo 3. Desarrollo del modelo.....</u>	<u>33</u>
Actual proceso de asignación.....	33
Rol de actividades.....	34
Matriz de rendimientos.....	35
Ponderación de valores.....	38
Modelo matemático.....	39
Solución de modelo.....	43
<u>Capítulo 4. Análisis de resultados.....</u>	<u>47</u>

Primeros resultados del modelo en la operación.....	47
Resultados en el tercer turno.....	51
Utilidad del personal de apoyo.....	55
Asignación de los mejores elementos.....	56
Costo de la asignación.....	59
Validación del modelo.....	60
<u>Conclusiones.....</u>	<u>62</u>
Recomendaciones futuras.....	64
<u>Referencias.....</u>	<u>66</u>
<u>Anexos.....</u>	<u>68</u>

Índice de figuras y tablas

Figura 1.1 trayecto del tren.....	12
Figura 2.1 Representación de red del problema de asignación.....	32

Índice de tablas

Tabla 1.1 Datos técnicos del sistema de transporte.....	12
Tabla 1.2 Personal mínimo requerido por turno.....	13
Tabla 1.3 Perfiles de personal.....	15
Tabla 1.4 Costos por falta de personal mínimo requerido.....	18
Tabla 3.1 Rol de actividades.....	35
Tabla 3.2 Matriz de rendimientos.....	37
Tabla 3.3 Personal requerido.....	40
Tabla 3.4 Índices para turnos de trabajo.....	40
Tabla 3.5 Índices para cada día.....	41
Tabla 3.6 Restricciones primer turno.....	43
Tabla 3.7 Restricciones del tercer turno.....	44
Tabla 3.8 Total de trabajadores del primer turno.....	44
Tabla 3.9 Cumplimiento de restricciones del primer turno.....	45
Tabla 3.10 Total de trabajadores del tercer turno.....	45
Tabla 3.11 Cumplimiento de restricciones del tercer turno.....	46
Tabla 4.1 Actividades primordiales de operación.....	48
Tabla 4.2 Nuevas restricciones del primer turno.....	49
Tabla 4.3 Trabajadores necesarios con la restricción de 4 elementos por día.....	49
Tabla 4.4 Cumplimiento de nuevas restricciones para primer y segundo turno.....	50
Tabla 4.5 Cumplimiento de actividades primordiales de operación.....	50
Tabla 4.6 Nuevas restricciones del tercer turno.....	52

Tabla 4.7 Nueva distribución de elementos para el tercer turno.....	52
Tabla 4.8 Cumplimiento de las nuevas restricciones para el tercer turno.....	53
Tabla 4.9 Perfiles del tercer turno.....	53
Tabla 4.10 Distribución del personal.....	54
Tabla 4.11 Personal por día en tercer turno.....	54
Tabla 4.12 Calificaciones de encargados de turno.....	57
Tabla 4.13 Calificaciones de los técnicos contractuales.....	57
Tabla 4.14 Calificaciones del personal de apoyo.....	58
Tabla 4.15 Plantilla del tercer turno.....	58
Tabla 4.16. Costo de la plantilla contractual por día.....	59

Nota: Las tablas contenidas sin fuente en este trabajo de investigación fueron elaboradas por el autor.

Introducción

En las organizaciones se presentan diferentes problemas en diversas áreas. Estos problemas pueden ser de carácter operativo o administrativo. Sin duda la carencia de gestión en los procesos que se llevan a cabo dentro de estas organizaciones impacta en su rentabilidad, en el aumento de costos y gastos, y propicia un ambiente laboral desagradable.

Dentro de los problemas de las empresas, existen los relacionados con la asignación de personal. No elegir al personal apropiado para las diversas tareas dentro de la organización genera todo tipo de pérdidas.

Esta deficiente asignación de recursos humanos se puede resolver si aplicamos una visión sistémica en la organización, analizamos los procesos que se realizan y utilizamos herramientas matemáticas que nos ayuden a modelar el problema.

La planeación de los recursos humanos para cualquier empresa representa una de las tareas más importantes y difíciles. Esta cubre una amplia gama que va desde la contratación, la formación y la programación de los recursos humanos; refiriendo la programación de los recursos humanos como el plan de trabajo real que incluye los días laborales y no laborales, los tiempos, los cambios, las vacaciones y las áreas donde realizarán su trabajo.

El objetivo principal de la programación del personal es derivar un ciclo para cada empleado (normalmente semanal) de tal manera que los costos totales de los recursos humanos se reduzcan al mínimo y la eficiencia se maximice, aun estando sujeta a los requisitos y reglamentos existentes.

Este proyecto tiene como objetivo usar un modelo matemático de asignación de personal para seleccionar los trabajadores necesarios para un plan de trabajo real en un servicio de transporte de pasajeros, de tal manera que los costos totales sean mínimos y la eficiencia máxima. La programación de personal debe contemplar los requisitos y reglamentos existentes, actitudes, experiencia y habilidades del personal, bajo una visión de la ingeniería industrial.

Debido a que algunos datos relacionados con el tema en cuestión han sido registrados de manera confidencial, parte de esta investigación se sustenta en mi experiencia como empleado de la empresa encargada de la concesión del servicio y de los testimonios de algunos colaboradores de trabajo.

Antecedentes

Los problemas de asignación son un tipo especial de la programación lineal en la que se asignan recursos para la elaboración de tareas. Sin embargo, los recursos asignados no necesariamente pueden ser personas, también pueden ser máquinas, vehículos, plantas e incluso periodos a los que se asignan tareas. Aunque en la actualidad existen diversos trabajos de investigación sobre el tema aún se encuentran organizaciones que carecen de estos modelos de optimización para la gestión de sus recursos.

Se estudia el caso de un sistema de transporte de pasajeros, concesionado a una empresa no gubernamental que no cuenta con una asignación eficiente de su personal operativo, administrativo y de mantenimiento para las diversas tareas que realiza en la prestación del servicio, teniendo como consecuencia pérdidas económicas para la organización.

Problemática

Actualmente la empresa encargada de prestar el servicio de transporte no cuenta con una asignación eficiente de personal operativo, administrativo y de mantenimiento; dicha asignación es llevada a cabo por medio de la experiencia de los encargados de turno y con base en los requisitos contractuales para la prestación del servicio.

Esta situación genera un aumento en los costos por deductivas contractuales (multas económicas por incumplimiento en las cláusulas del contrato) al no presentar la plantilla mínima de personal estipulado y por actividades no realizadas

en tiempo y forma, así como conflictos internos con el personal provocando una rotación de recursos humanos que de igual manera origina costos para la empresa.

Justificación

Durante el tiempo en el cual el sistema de transporte de pasajeros ha estado en servicio, se han presentado problemas para poder realizar las actividades de inspección, operación y mantenimiento provocando una pérdida monetaria para la empresa. Estos problemas son: la falta de personal mínimo requerido, las actividades no realizadas, conflictos internos que provocan una rotación del personal, entre otros.

Por lo anterior, el presente trabajo de investigación tiene la finalidad de reducir los incidentes antes mencionados mediante un modelo matemático de asignación generando menores costos y mayor eficiencia.

Objetivo General

Optimizar la asignación de personal en un plan de trabajo real de un sistema de transporte de pasajeros para minimizar los costos asociados.

Objetivos Particulares

- Establecer las bases teóricas para la formulación de un modelo matemático de asignación de personal.
- Diseñar un modelo matemático de asignación de personal bajo una visión de ingeniería industrial.
- Realizar la asignación de personal contemplando habilidades, actitudes y experiencia de los trabajadores, así como los requisitos y reglamentos existentes
- Evaluar el modelo matemático diseñado.

- Validar el modelo diseñado.

Hipótesis

Se espera optimizar el sistema a través de la reducción de costos por penalización (personal mínimo necesario) e improductividad, minimizar tiempos en la realización de trabajos, ayudar a la planificación de actividades, y evitar la rotación continua de personal en la empresa. Asimismo, se estima que una mejor gestión en la selección de personal reduce problemas internos por motivos disciplinarios.

Capítulo 1. El sistema

En este capítulo se describirá el sistema de un tren para el transporte de pasajeros, las actividades que se realizan para la prestación del servicio y a la empresa encargada de la concesión del servicio. Asimismo, el capítulo contendrá algunos costos estipulados por el servicio y las características de los trabajadores, requeridas por la empresa, para la realización de las diversas actividades que se desempeñan dentro del sistema.

Descripción de sistema

Este sistema de transporte consta de un tren totalmente automatizado y sin conductor que es utilizado para trasladar pasajeros entre las terminales 1 y 2 del Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” de la Ciudad de México (AICM). El tren está diseñado para funcionar como un Sistema de Transporte Automático de Personas (APM).

El tren es guiado sobre una viga de acero soportada por 118 columnas e impulsado por un cable de tracción, el cual es movido mediante las unidades de accionamiento y retorno. La unidad de accionamiento es la parte del sistema en donde se encuentra la maquinaria principal, ubicada en la terminal 2, la cual consta de dos motores colocados en serie que actúan sobre una caja de cambios y proporcionan la aceleración, desaceleración y frenado del tren, dos poleas que sirven para la dirección del cable de tracción y un motor de recuperación para casos de emergencia. Asimismo, incluye un equipo de Control del Tren Automático (ATC) encargado de realizar todo lo relacionado con el funcionamiento del tren. La unidad de retorno contiene dos poleas que se encargan de devolver el cable de tracción hacia la dirección contraria; esta unidad se ubica en la terminal 1.

Los datos técnicos del sistema son los siguientes:

Tabla 1.1 Datos técnicos del sistema de transporte¹

Datos técnicos	Valor de medida	Valor
Longitud de la vía	Km	3.025
Velocidad de funcionamiento	m/s	12
Tiempo de recorrido (ciclo de T2-T1-T2)	Minutos	10:53
Tiempo de permanecía en la estación	Segundos	40
Días de funcionamiento al año	Días	365
Estaciones (arribo y descenso)	Unidad	2
Trenes	Unidad	1
Longitud aproximada del tren	m	23.9
Vagones	Unidad	4
Capacidad por tren	Pasajeros	100
Capacidad por vagón	Pasajeros	25
Potencia de transmisión por cable: Demanda de potencia promedio/potencia de arranque	kW	824 / 1635
Horario		
Periodo de Operación	Hora	05:01 – 23:00
Periodo de Mantenimiento preventivo	Hora	23:01 – 05:00
Tiempos / Estadísticas		
Horas de funcionamiento / día	Horas	18
Horas de mantenimiento preventivo / día	Horas	6
Viajes / día	Número	99
Kilómetros recorridos / día	Km	601

Tabla obtenida del manual del manual de operación y mantenimiento del tren

La siguiente imagen muestra el trayecto que cubre el tren cuando se desplaza entre las terminales 1 y 2.



Figura 1.1 Trayecto del tren²

¹ Ver: Manual de operación y mantenimiento del sistema.

² Fuente: Licitación para el servicio del tren.

Prestación del servicio

El servicio de operación y mantenimiento del tren se efectúa durante las 24 horas del día, de lunes a domingo durante todo el año; siendo una empresa privada la encargada de la concesión de estas actividades por un periodo de tres años. Se considera para la Operación un horario de las 05:01 a las 23:00 horas y para el Mantenimiento un horario de las 23:01 a las 05:00 horas. La empresa encargada de la prestación del servicio deberá atender cualquier eventualidad teniendo un tiempo de respuesta inmediata al reporte, considerando la importancia de la actividad para mantener en condiciones aceptables de operación del tren.

Existen tres turnos para realizar las actividades de operación y mantenimiento del sistema. El personal mínimo requerido por turno, estipulado en el contrato de prestación del servicio, debe ser:

Tabla 1.2 Personal mínimo requerido por turno³

Turno	Horario	Personal	Tipo de servicio
Primer	De 06:00 a 14:00 horas de lunes a domingo.	<ul style="list-style-type: none">• Un encargado de turno.• Dos técnicos mecánicos o eléctricos.	Operación
Segundo	De 14:00 a 22:00 horas de lunes a domingo	<ul style="list-style-type: none">• Un encargado de turno.• Dos técnicos mecánicos o eléctricos.	Operación
Tercer	De 22:00 a 06:00 horas de lunes a domingo	<ul style="list-style-type: none">• Un encargado de turno.• Tres técnicos mecánicos o eléctricos.• Un técnico eléctrico en sistemas de aire acondicionado.• Un técnico en sistemas electrónicos.	Mantenimiento

Tabla de elaboración propia con base en el contrato de prestación de servicio

³ Información obtenida del contrato de prestación del servicio. Documento confidencial.

También es necesario un técnico topógrafo que labore de lunes a viernes de 09:00 a 17:00 horas, y un técnico en administración que se encuentre en servicio de lunes a viernes en el horario anteriormente mencionado. El puesto de encargado de turno deberá ser cubierto por un ingeniero mecánico, eléctrico, electrónico o electromecánico. En caso de que la plantilla mínima no sea cubierta, la empresa se hará acreedora a una multa por no cumplir con el personal que se requiere en el contrato.

Adicionalmente a la plantilla que se establece en el contrato, la empresa cuenta con seis elementos como personal de apoyo. Se le denomina personal de apoyo a los trabajadores que no cumplen con los requisitos solicitados por el cliente, pero poseen un gran conocimiento del sistema. El personal de apoyo realiza las mismas actividades que los técnicos y están repartidos en todos los turnos con la finalidad de aprovechar su experiencia.

Perfiles del personal

El personal debe contar con competencias específicas para operar y dar mantenimiento al sistema. El AICM es el encargado de crear los perfiles adecuados con base en los requerimientos técnicos, tecnológicos, psicológicos y contractuales del sistema. Debido a la confidencialidad de esta información no es posible consultar en su totalidad los perfiles del personal. Sin embargo, la empresa encargada de la prestación del servicio maneja los siguientes perfiles de contratación para este sistema:

Tabla 1.3 Perfiles de personal

Puesto	Requisitos
Ingeniero mecánico, eléctrico, electrónico, electromecánico o topógrafo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sexo: Masculino ○ Edad: 25 a 40 años ○ Título y cédula profesional ○ Experiencia mínima de 1 año ○ Manejo del idioma Inglés
Técnico electrónico, mecánico, eléctrico o en aire acondicionado	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sexo: Masculino ○ Edad: 25 a 40 años ○ Cédula profesional ○ Experiencia mínima de 1 año ○ Honesto, hábil, activo y responsable
Asistente administrativa	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sexo: Femenino ○ Edad: 24 a 30 años ○ Licenciada en administración de empresas titulada ○ Experiencia mínima de 6 meses a 1 año

Tabla de elaboración propia con base en los perfiles de contratación que maneja la empresa encargada del servicio en su bolsa de trabajo en internet

Actividades para la prestación del servicio

Las actividades para la prestación del servicio de transporte de pasajeros se clasifican en dos grupos: actividades de operación y actividades de mantenimiento. Estas actividades se desarrollan a lo largo del día durante todo el año según lo marca el Programa de Mantenimiento y Operación del tren. Cabe mencionar que todas las actividades que marca este programa deben ser realizadas en la fecha que lo indica, en caso contrario, la empresa encargada del servicio será multada por actividades no realizadas.

El Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” de la Ciudad de México, quien otorga la concesión del servicio a una empresa privada, estipula en el contrato, que todas las actividades deben ser realizadas con estricto apego en los manuales de operación y mantenimiento del tren que fueron realizados por los diseñadores y constructores

del sistema, siendo el personal del aeropuerto el encargado de supervisar que se cumpla lo descrito en dicho contrato.

Durante el servicio de operación del tren se deben realizar las siguientes actividades:

- **Dos Inspecciones diarias de vía, vehículo, unidad de accionamiento y unidad de retorno.** - Para realizar la inspección de la vía del tren, se necesita dividir su totalidad en tres zonas: Terminal 1, Zona operativa y Terminal 2. La inspección de vehículo se refiere a la revisión de los cuatro vagones del tren verificando que sus condiciones a lo largo del día sean operativas.
- **Operación del tren desde el cuarto de control.** - Durante el horario de operación del servicio, en todo momento debe ser monitoreado el tren y, en algunos casos, operado manualmente por un técnico o encargado de turno. La operación del tren consta de funciones como: apertura y cierre de puertas manual, modificación de velocidad y dirección del tren, eliminación y corrección de alarmas de seguridad que evitan el correcto funcionamiento del tren, ejecución de los diferentes tipos de operación del tren dependiendo las contingencias y el constante monitoreo del recorrido, estaciones y vagones del tren.
- **Supervisión de la estación terminal 1.**- Mientras el tren este en horario de operación, un técnico deberá estar supervisando constantemente la estación de terminal 1 con el objetivo de responder de inmediato ante una falla del sistema en este lugar y realizar un constante monitoreo de la unidad de retorno.

Existen actividades durante el periodo de operación que no están estipuladas en el contrato de prestación de servicio, pero son requeridas por la empresa que se encarga de dicha prestación. Estas actividades son:

- Elaboración de reportes de mantenimiento y operación que se entregarán al personal del aeropuerto encargado de la supervisión del servicio.

- Llenado del tanque de combustible de la camioneta de la empresa. El llenado se realiza dos días a la semana de las 10:00 a las 12:00 horas.
- Llenado de los garrafones de agua utilizados en el comedor de la empresa.
- Limpieza de la camioneta de la empresa.
- Actividades eventuales como la compra de materiales y refacciones.

Las actividades antes mencionadas se pueden llevar a cabo siempre y cuando no se afecte el cumplimiento de la prestación del servicio.

Para el mantenimiento se deben realizar las actividades marcadas en el Manual de Mantenimiento del tren. Este manual menciona la periodicidad de cada actividad de mantenimiento, la forma en la que deben de hacer y el tipo de técnico responsable de su ejecución.

Costos por el servicio

Los costos de operación y mantenimiento del tren están estipulados en el contrato celebrado con la empresa responsable de la prestación del servicio. Estos costos son deducidos al monto mensual que es pagado a la empresa por parte del AICM. La siguiente tabla muestra los costos asociados a los recursos humanos por la falta de personal mínimo requerido:

Tabla 1.4 Costos por falta de personal mínimo requerido

Categoría	Cantidad mínima solicitada	Sueldo diario integrado por empleado	Número de días de servicio	Costo por falta
Ingeniero mecánico, eléctrico o carrera a fin. (encargado de turno)	3	\$450.00	1095	\$1,350.00
Técnicos mecánicos o eléctricos	7	\$300.00		\$900.00
Técnico en sistemas de aire acondicionado	1	\$300.00		\$900.00
Técnico en sistemas electrónicos	1	\$300.00		\$900.00
Ingeniero topógrafo	1	\$380.00		\$1,140.00
Técnico en administración	1	\$280.00		\$840.00

Tabla de elaboración propia con base en el contrato de prestación de servicio

En el contrato de prestación del servicio, se estipula que la deducción por la falta de personal mínimo requerido será equivalente al monto del sueldo diario integrado del empleado más una penalización del 200% de esa cantidad.

Existen otros costos que están asociados a las actividades de operación y mantenimiento del tren. En caso de que no llegue a realizarse una actividad, ésta tendrá un costo específico y también habrá de conllevar una penalización del 200% sobre ese mismo costo. Por ejemplo, el programa de mantenimiento, que forma parte del contrato, señala que el cambio de poleas guía del cable de tracción debe efectuarse dos veces por semana para que funcionen adecuadamente. Si las poleas

viejas o desgastadas no son remplazadas en el momento indicado, el AICM no pagará los gastos derivados de esta actividad e impondrá una sanción por incumplimiento del contrato, a partir del porcentaje anteriormente mencionado.

La empresa

Por motivos de confidencialidad no se puede revelar el nombre de la empresa encargada de la concesión del servicio de transporte, pero se pueden describir sus amplias actividades en el mercado, la misión, visión y valores que la rigen como organización.

La empresa se constituyó en marzo de 1989 por un grupo de empresarios mexicanos con la finalidad de atender las necesidades del área de transporte masivo. Esta empresa se encarga de múltiples funciones como son:

- Brindar asesoría desde la concepción de un sistema de transporte, hasta su puesta en operación, asesora a organismos rectores u operativos del transporte para la definición de ampliaciones, modificaciones o análisis y solución de fallas de sus servicios. Da consultoría desde la licitación, ejecución, modernización y planeación.
- Supervisa procesos desde su fabricación, construcción, instalación, recepción, y hasta su puesta en servicio.
- Otorga mantenimiento predictivo, sistemático y correctivo al sector público y privado en diferentes actividades de rehabilitación mecánica y electrónica.
- Brinda asesoría a servicios de mantenimiento en lo relacionado a aeropuertos y sistemas ferroviarios.

La misión de la empresa es brindar un servicio de alta calidad a los clientes, mediante una cultura de superación y desarrollo, que permita maximizar el valor agregado en forma sostenida y consistente de sus productos y servicios.

La visión que la empresa tiene es convertirse en una empresa líder en la prestación de servicios aeroportuarios y otros servicios relacionados con el transporte.

Esta empresa también se rige bajo los valores de lealtad, respeto, responsabilidad, educación, servicio, trabajo en equipo y optimización de recursos.

La estructura organizacional de la empresa está definida por una organización por proyecto. Dentro de los departamentos específicos para cada proyecto, la empresa cuenta con un sistema de organización de autoridad lineal.

Proyecto del tren

El proyecto del tren son las funciones y actividades referidas a la prestación del servicio de transporte de pasajeros entre las Terminales 1 y 2 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, concesionadas a la empresa anteriormente descrita.

Como ya se mencionó, la empresa cuenta con una estructura organizacional por proyecto, y dentro de cada proyecto tiene una organización de autoridad lineal. La estructura jerárquica del proyecto del tren es de la siguiente forma:

- **Gerente de operación y mantenimiento del proyecto.** - Es el puesto de más alto rango en el proyecto. Se ocupa de las actividades que tienen un alto grado de responsabilidad y gestiona las actividades de niveles inferiores.
- **Coordinador de administración, coordinador de operación y coordinador de mantenimiento.** - Se encargan de la supervisión y gestión de actividades correspondientes a las áreas de operación, mantenimiento y administración del proyecto. Reportan directamente al gerente del proyecto.
- **Encargados de turno.** - Giran las instrucciones para que se realicen las actividades relacionadas a la operación y mantenimiento del sistema. Son los responsables de que el sistema este operativo, de solucionar las fallas y problemas en la operación y mantenimiento, y de notificar cualquier incidente a las autoridades del aeropuerto. Asimismo, elaboran la programación de personal semanal para llevar a cabo todas las actividades laborales requeridas por el sistema y por la empresa.

- **Técnico operador.** - Su función es realizar todas las actividades para la prestación del servicio y las que requiere la empresa, que son encomendadas por el encargado de turno. El técnico operador es la fuerza de trabajo del sistema.

Capítulo 2. Marco teórico

En el presente capítulo se abordarán las bases teóricas necesarias para la formulación y diseño de un modelo matemático de asignación de personal bajo una visión de ingeniería industrial. Asimismo, se mencionarán conceptos fundamentales para el estudio y análisis del presente trabajo de investigación.

Concepto de sistema

Un sistema es una estructura que funciona y cuenta con componentes e interacciones entre las mismas, algunas interacciones son controlables, mientras que otras no lo son. En un sistema, el comportamiento de cualquiera de sus partes o componentes tiene efectos de forma directa o indirecta con el resto. Un elemento que convierte a una estructura en un sistema es la información, la cual dinamiza a las estructuras.⁴

En otras palabras, se puede definir a un sistema como un conjunto de elementos que interactúan entre sí mismos, que cuentan con información y control, y buscan en conjunto alcanzar un propósito. Cabe señalar que la mayoría de los sistemas cuentan con un ambiente, el cual es un conjunto de elementos que no son parte del sistema, pero una alteración en estos provoca un cambio en sus propiedades

El caso de estudio es un sistema de transporte de pasajeros que se ubica dentro de las instalaciones del Aeropuerto Internacional de México, el cual cuenta con las características, que anteriormente se describieron en el primer capítulo, para que este pueda ser considerado como tal. Dentro de este sistema existen diversos problemas de gestión que han sido reportados por los encargados de operación y mantenimiento del sistema, los cuales provocan un mal funcionamiento en alguno de sus elementos, evitando así, el cumplimiento de diversos objetivos. Este

⁴ Ver: *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*. Juan Prawda. Vol. 1. P. 20.

incumplimiento se ve reflejado en el pago que el cliente otorga por el servicio que la empresa brinda.

El problema que se busca resolver en este trabajo de investigación se deriva de una mala asignación del personal operativo y de mantenimiento para la realización de las actividades necesarias para el servicio de transporte, reportada por algunos encargados de turno del sistema y supervisores del AICM. En lo personal, se podría considerar como un problema de administración de recursos humanos.

Por lo anterior, el sistema de estudio se puede definir como un tipo de sistema de servicio con problemas administrativos. Cuando se habla de un sistema de servicio, se refiere al conjunto de elementos organizados, estructurados y sistematizados por la acción del hombre con la finalidad de obtener algún beneficio satisfaciendo alguna necesidad. Como ejemplos claros para este tipo de sistemas tenemos a las fábricas, la sociedad, e incluso un equipo de fútbol.

Organización

Actualmente la palabra “*organización*” abarca diversos conceptos. Se puede entender por organización a una empresa, a un organigrama, o a la repartición formal de responsabilidades. La organización consiste en proporcionar una estructura formal encaminada al logro de metas específicas; asimismo, puede ser definida como un sistema.

Podemos definir una organización, en términos generales, como un grupo de individuos con intereses divergentes que manifiestan y concretan de manera conjunta alguna actividad.⁵

Por lo anterior, el sistema que se estudia se puede catalogar como una organización. Asimismo, cuenta con las características necesarias para lograr su objetivo como organización, entre las que destacan las siete siguientes:

⁵ Consúltese: *Teorías de las organizaciones*. Víctor Manuel Castillo Girón. P.13.

1. **División de tareas entre los miembros.** - La división de trabajo que cada miembro debe realizar es más o menos precisa y estricta en cuanto a la cantidad y duración.
2. **Jerarquía o control social ejercido por alguno de sus miembros.** - La jerarquía otorga una idea de detención y ejercicio de la autoridad entre los participantes, estos ocupan un rango en la estructura de la organización.
3. **Reglas oficiales y de procedimientos.** - La organización debe crear sus propias reglas con la finalidad de asegurar su funcionamiento y como mínimo deben existir las reglas de ingreso que definen quien forma parte de la organización, así como las de acceso a las funciones y cargos dentro de la organización.
4. **Estabilidad de la organización.** - cuando la organización tiene cierta permanencia, será necesario adquirir materiales, realizar un programa anual, reclutar nuevos miembros, etcétera.
5. **La talla de la organización.** - Se refiere al tamaño y grado de crecimiento de una organización.
6. **Los objetivos de la organización.** - Debido a la diversidad de los objetivos, la eficiencia de una organización solo puede evaluarse tomando como referencia una determinada categoría de objetivos como los financieros, administrativos y sociales. Cabe señalar que las organizaciones tienen por lo menos dos objetivos principales, los cuales son la supervivencia y el crecimiento.
7. **Las fronteras de la organización.** - Identifican a las organizaciones. La inclusión en una organización es algo que esta otorga a sus miembros, frecuentemente mediante una asignación formal como una tarjeta de afiliación o identificación.⁶

De acuerdo a su función con la sociedad, esta organización se puede clasificar como una organización de producción o económica, porque se ocupa de la creación de capital por medio de la prestación de un servicio dirigido a la sociedad.⁷

⁶ Ibíd. Pp. 14-18.

⁷ Ibíd. Pp. 19-20.

Estructura organizacional

Se puede definir la estructura organizacional como el modo en que cada cual sepa quién ha de hacer cada cosa y quién es el responsable por el resultado. Asimismo, una organización es la estructura técnica que debe existir entre las funciones, niveles y actividades de los elementos humanos y materiales de un organismo social con el fin de lograr la máxima eficiencia en la realización de sus objetivos.⁸

Como anteriormente se mencionó, la empresa que se encarga de prestar el servicio de transporte de pasajeros cuenta con una organización por proyecto, lo que significa que las funciones se agrupan en departamentos específicos para cada proyecto y se les asignan áreas funcionales específicas para uso exclusivo. También cuenta con autoridad lineal que transita en línea horizontal descendente mientras que las responsabilidades son en línea ascendente.

Una estructura organizacional inadecuada puede ser la causa primordial de que la empresa muestre malos resultados. Se identifica una oportunidad para intervenir cuando las deficiencias pueden deberse a una dirección o administración mala, fricciones internas, mala comunicación, poca o ninguna cooperación, mala distribución de trabajo, ausencia de autoridad, etc.

Organización en una empresa de transporte

Las organizaciones que deben cubrir servicios que se prolongan más allá de la jornada laboral, por ejemplo, las empresas de transporte colectivo, tienen una demanda variable en el tiempo. Los servicios de estas empresas de transporte se deben ajustar a:

- La demanda de los usuarios, tanto en el itinerario de transporte como en la frecuencia del mismo.

⁸ *Proyectos de inversión, evaluación y formulación*. José Antonio Morales Castro, Arturo Morales Castro. P. 118

- Los recursos físicos que la empresa dispone como el número de trenes, aviones, autobuses o automóviles.
- Los empleados que posee la empresa, así como al calendario y horario laboral de estos.⁹

El planteamiento y solución para esta problemática es muy distinto dependiendo las características de cada tipo de transporte. No se tiene la misma organización en una empresa de transporte aéreo con una de transporte férreo. La organización de los horarios de servicio y la administración de los recursos en una empresa de transporte colectivo son bastante complejas debido a que intervienen múltiples variables y existen diversas combinaciones posibles que pueden formar parte de la solución.¹⁰

Programación de personal

La programación de personal o “Crew Scheduling” es el proceso mediante el cual se elaboran las jornadas laborales de los trabajadores en un sistema de transporte como líneas aéreas o líneas férreas. El estudio del problema de crew scheduling es mayor en los casos de aerolíneas, sin embargo, la mayoría de la investigación es reciente para el caso de trenes. El objetivo de la programación de personal es determinar la cantidad mínima de turnos factibles de un operador en un día de trabajo.¹¹

Para el caso de algunos sistemas de trenes, se pueden considerar las siguientes restricciones:

- El tiempo máximo de conducción al día de cada operador.
- El tiempo de conducción continua.

⁹ Consúltase: Asignación de conductores a jornadas de trabajo en empresas de transporte colectivo. Eclapés Carmen. P. 5.

¹⁰ Ídem.

¹¹ Ver: Crew Scheduling y Crew Rostering en trenes subterráneos. Un método secuencial de solución. Mahn Daniel. Pp. 16, 26.

- Los almuerzos o comidas del operador distribuidos homogéneamente en los turnos.
- Las rutas del transporte.
- Los tiempos en los que se interrumpe la conducción por maniobras de los operadores.
- La permanencia del conductor en una base, ya sea en la que inicia o termina cada uno de sus turnos.
- Los puntos de descanso del operador.¹²

Debido a las características del sistema que se analiza en este trabajo de investigación, sólo algunas de estas restricciones pueden ser consideradas en el estudio del caso.

Asignación de los trabajadores a las jornadas de trabajo

La asignación de los trabajadores, en las jornadas de trabajo existentes dentro de una organización, contempla una serie de factores condicionales como son:

- **Periodos de descanso del trabajador.** Hay que tener en cuenta que descansa al menos un número mínimo de horas.
- **Los días libres del trabajador.** Cuando el servicio se lleva a cabo todos los días del año, hay que contemplar cómo se distribuyen los días de descanso para que la compañía pueda cubrir el servicio con el personal mínimo, y, por otro lado, el reparto de días libres sea el más equitativo en cuanto al número seguido de días de trabajo.
- **Los cambios de turno.** En algunas organizaciones se contemplan determinados cambios de turno que son necesarios respetar a la hora de hacer una asignación.
- **El número total de horas trabajadas.** Se refiere al número de horas que el trabajador labora. Estas pueden ser por día, semana, mes o año.

¹² *Ibíd.* P. 14.

- **Días de trabajo consecutivos.** Cada trabajador debe de laborar una cantidad determinada de días consecutivos.¹³

Los procedimientos más regulares en la formación de turnos son a través de programación entera, técnicas heurísticas, modelos de programación lineal y algunos algoritmos evolutivos.¹⁴

Programación lineal

La programación lineal utiliza un modelo matemático para describir un problema. Involucra la planeación de actividades para la obtención de un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada, de acuerdo al modelo matemático, entre todas las alternativas factibles.¹⁵

La programación lineal tiene múltiples aplicaciones, aunque frecuentemente su aplicación principal sea la asignación de recursos a las actividades. Cabe señalar que cualquier problema cuyo modelo matemático se ajuste al formato general del modelo de la programación lineal, se puede considerar como un problema de programación lineal.¹⁶

Dentro de la programación lineal se utilizan diferentes técnicas de programación, las cuales son:

- **Programación de redes.**
- **Programación por metas.**
- **Programación combinatoria.**
- **Programación de la ruta más corta.**
- **Modelos de transporte.**

¹³ Consúltese: Asignación de conductores a jornadas de trabajo en empresas de transporte colectivo. Eclapés Carmen. P. 7.

¹⁴ Ver: Crew Scheduling y Crew Rostering en trenes subterráneos. Un método secuencial de solución. Mahn Daniel. Pp. 17.

¹⁵ Consúltese: *Investigación de Operaciones*. Frederick S. Hiller, Gerarld J. Lieberman. P. 21.

¹⁶ Ídem.

- Programación entera.
- Programación de flujo.¹⁷

Problema de asignación

Los problemas de asignación son considerados como un tipo especial de la programación lineal en la que los asignados son recursos que se destinan a la realización de tareas. Sin embargo, los asignados no necesariamente pueden ser personas, también pueden ser maquinas, vehículos, plantas e incluso periodos a los que se asignan tareas. Es importante mencionar que los problemas de asignación de personal pueden ser problemas de programación entera.¹⁸

Para que se pueda considerar que existe un problema de asignación, es necesario que este tipo de problemas se formulen de tal manera que se cumpla con los siguientes supuestos:

- a) El número de asignados es igual al número de tareas. (Se denota este número como n).
- b) A cada asignado se le asigna solo una tarea.
- c) Cada tarea debe ser realizada por solo un asignado.
- d) Existe un costo C_{ij} que se encuentra asociado con el asignado i (donde $i=1, 2, \dots, n$) que realiza la tarea j (donde $j=1, 2, \dots, n$).
- e) El objetivo de este modelo es determinar cómo deben hacerse las n asignaciones para minimizar los costos totales.

Cualquier problema que satisface los supuestos anteriores puede ser resuelto de manera eficiente. Cabe señalar que debido a que los tres primeros supuestos son bastante restrictivos, muchas aplicaciones potenciales no las satisfacen por

¹⁷ Ver: Programación lineal. Juan Manuel Estrada. P.1.

¹⁸ Consúltese: *Investigación de Operaciones*. Frederick S. Hiller, Gerarld J. Lieberman. P. 309.

completo; sin embargo, se puede reformular el problema para que se ajuste mediante el uso de asignados ficticios o tareas ficticias.¹⁹

Este tipo de problemas son lineales, con una estructura de transporte, solo que la oferta en cada origen es de valor uno y la demanda en cada destino es de igual forma de valor uno. Una condición necesaria y suficiente para que este tipo de problemas tengan una solución es que estén balanceados, es decir que la oferta total sea igual a la demanda total, o bien que existan m orígenes y n destinos de tal forma que m y n sean iguales. Para los problemas de asignación desbalanceados se les puede balancear del mismo modo que a un problema de transporte.²⁰

Un problema de asignación puede ser el caso de la programación de personal en donde se debe de realizar un plan de trabajo considerando los días laborales y no laborales, los periodos de tiempo, los cambios y las localizaciones.

La programación del personal tiene como objetivo primordial el derivar un ciclo para cada empleado, que normalmente es semanal, de tal manera que los costos totales de los recursos humanos sean reducidos al mínimo y la eficiencia se maximice, aun estando sujeta a los requisitos y reglamentos existentes dentro de la organización.²¹

Modelo del problema de asignación

El modelo matemático, para manejar el problema de asignación, utiliza las siguientes variables:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se asigna } i \text{ para realizar la tarea } j, \\ 0, & \text{si no es así.} \end{cases}$$

Para los valores de $i = 1, 2, \dots, n$ y $j = 1, 2, \dots, n$.

¹⁹ *Ibíd.* Pp. 309-310.

²⁰ Véase: *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*. Juan Prawda. Vol. 1. P. 289.

²¹ Consúltese: - *Airline Operations and Scheduling*, MassoudBazargan, Embry-Riddle.

Cada X_{ij} es una variable binaria, es decir toma valores 0 o 1, las cuales representan decisiones de sí o no. En el caso del modelo de asignación, las variables van relacionadas a la decisión de que el asignado i debe realizar la tarea j .

Si Z es el costo total, la formulación del problema de asignación es la siguiente:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Sujeto

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

y

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 1 \quad i=1, 2, \dots, m \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ para toda } i \text{ y } j$$

Las variables X_{ij} solo pueden tomar el valor de 0 ó 1. Toman el valor de 1 si el origen i se hace corresponder al destino j , y 0 en caso contrario. Asimismo, el primer conjunto de restricciones funcionales especifica que cada asignado realiza solo una tarea, mientras que el segundo conjunto requiere que cada tarea sea realizada por un solo asignado.²²

El modelo de asignación puede representarse como una red de la siguiente manera:

²² Ver: *Investigación de Operaciones*. Frederick S. Hiller, Gerarld J. Lieberman. Pp. 311-312.

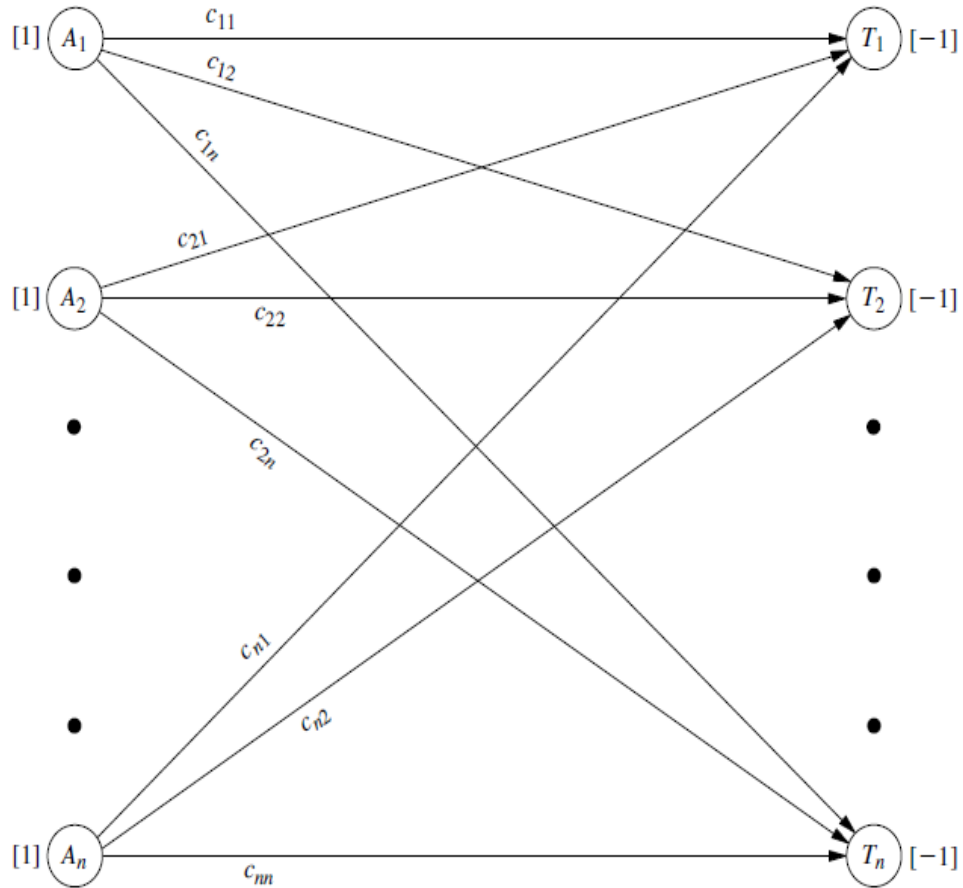


Figura 2.1 Representación de red del problema de asignación²³

Para esta representación la primer columna enumera los n asignados y la segunda las n tareas, los números entre los corchetes indican el número de asignados que proporcionan a ese lugar de la red.²⁴

²³ Fuente: *Investigación de Operaciones*. Frederick S. Hiller, Gerarld J. Lieberman. Pp. 311-312.

²⁴ Consultar: *Investigación de Operaciones*. Frederick S. Hiller, Gerarld J. Lieberman. Pp. 311-312.

Capítulo 3. Desarrollo del modelo

Para cumplir con el objetivo de esta investigación, se desarrolló un modelo matemático que facilite la toma de decisiones en la asignación de personal. El modelo contempla el total de trabajadores que labora en la empresa, los trabajadores que solicita el contrato, turnos laborales, las actividades de operación del sistema y las competencias que se desean para cada puesto. Además, se describe la situación actual en la selección de personal para las actividades diarias que se requieren en el sistema.

Actual proceso de asignación

La asignación de personal para realizar las actividades laborales es llevada a cabo por los encargados de turno, y de vez en cuando, por los coordinadores de operación y mantenimiento con base en su criterio y experiencia en el sistema. Esta asignación contempla: la plantilla laboral del día, la experiencia de los trabajadores en el sistema, las habilidades técnicas de los trabajadores y si cuentan con licencia de manejo para operar vehículos dentro del aeropuerto. También se toman en cuenta las vacaciones, los días de descanso y los cambios de turno del personal.

En algunas ocasiones el personal no se presenta a trabajar, o por una mala gestión en los recursos el personal es insuficiente. Esto provoca una nueva planeación en la asignación de las tareas del día. Si la plantilla laboral no puede realizar todas las actividades debido a la falta del trabajador, la jornada laboral del día se complica y se generan costos por actividades no realizadas. Asimismo, existe la probabilidad de que el sistema falle y el personal no sea suficiente o no tenga el conocimiento necesario para corregir la falla en el tiempo estipulado que marca el contrato, antes de que se genere una deductiva por no dar servicio. Por lo anterior, es importante que la asignación sea adecuada y contemple las características antes mencionadas.

Rol de actividades

Para realizar las diversas actividades laborales, como son: las obligatorias que se estipulan en el contrato, las necesarias para la prestación del servicio y las adicionales que requiere la empresa; los encargados de turno diseñan un rol de actividades semanales para cubrir las tareas que demanda la operación y mantenimiento del sistema.

El rol de actividades es elaborado con base en:

- La experiencia del encargado de turno y de los trabajadores sobre el sistema.
- Las habilidades técnicas de los trabajadores para la solución de problemas en el sistema.
- Las actividades correspondientes al turno de trabajo en el que se va a laborar. Cabe mencionar que existen tres turnos y cada uno cuenta con al menos una actividad diferente entre estos.
- Los días laborales del personal operativo y de mantenimiento.
- Los permisos que la empresa otorga a los trabajadores para faltar al trabajo o cambiar de turno un solo día.
- Los requisitos necesarios para la movilidad dentro del aeropuerto, por ejemplo: que el trabajador asignado a una inspección de vía, en donde tenga que conducir un vehículo (automóvil o maquinaria pesada) por las calles de rodaje, cuente con licencia de manejo expedida por el aeropuerto.

Este rol debe abarcar el horario de trabajo del turno al que corresponde. En él se anotan las actividades que se deben realizar, los horarios y los trabajadores encargados de la elaboración de estas tareas.

La siguiente tabla muestra cómo está estructurado el rol de trabajo, para el primer turno, un día normal de la semana:

Tabla 3.1 Rol de actividades

Horario	06:00-08:45	08:45 – 11:30	11:30 – 14:15
Operación	Juan Carlos	Roberto	Juan José
Terminal 1	Juan José	Juan Carlos	Roberto
Insp. Columna 201-1018		Juan José	
Insp. Columna 1019-1040	Roberto		
Insp. Columna 1041-1091	Roberto		
Insp. Columna 1092-9102		Juan Carlos	
Maquinaria T1		Juan Carlos	
Maquinaria T2		Juan José	
Compartimientos Tren	Juan José		
Entregar y archivar Reportes			Juan Carlos

Tabla de elaboración propia con base en un rol de actividades usado por un encargado de turno en el sistema

Matriz de rendimientos

Dentro de una organización no todo el personal tiene la capacidad para realizar las funciones que esta requiere para el logro de sus objetivos. Esto depende del tipo de puesto que desempeñan y las competencias que poseen.

El rendimiento para ejecutar una actividad de cada trabajador es diferente y se ve afectado por la experiencia del trabajador, las competencias técnicas y suaves con las que cuenta, y que tan apto es para realizar la actividad con respecto a otros trabajadores.

El caso de estudio que abordo, no tiene gran diferencia con lo anteriormente mencionado. En este sistema de transporte, las actividades para la operación y mantenimiento necesitan experiencia del personal en el sistema, conocimiento técnico de los componentes, equipos y herramientas, así como habilidades técnicas y criterio para la toma de decisiones.

Como antes se mencionó, la empresa debe cumplir con una plantilla mínima requerida, y para la prestación del servicio, se necesitan 14 trabajadores en diferentes puestos con la finalidad de evitar deducciones por falta de personal mínimo requerido en el contrato.

Con el objetivo de indicar cuantitativamente las habilidades de cada trabajador operativo y de mantenimiento del sistema, se realizó una evaluación con base en el criterio de los encargados de turno y el gerente del proyecto. Se asignó un valor de eficacia y rendimiento en una escala de 1 a 10, siendo 10 la mejor calificación y 1 la calificación más baja. La evaluación tomó en cuenta el perfil requerido por la empresa para el puesto, el desempeño del trabajador y la responsabilidad de este en su trabajo.²⁵

La evaluación se realizó a todo el personal que labora actualmente en el sistema, el cual es mayor al requerido por el contrato. Cabe mencionar que no se evaluó al técnico administrativo ni al técnico topografo debido a que el contrato solo requiere una persona para cada uno de estos puestos. Estos técnicos tienen tareas específicas y horarios diferentes a los turnos de trabajo que se realizan en el sistema. A continuación se presenta la matriz de rendimientos que comprende todas las calificaciones que obtuvo el personal, en donde a los técnicos en aire acondicionado se les denomina AC y a los técnicos electrónicos ELEC:

²⁵ Véase el cuestionario de evaluación en el Anexo 1 de esta tesis.

Tabla 3.2 Matriz de rendimientos

Competencia	Encargados de turno						Técnicos Contractuales														Personal de apoyo						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	AC1	AC2	ELEC1	ELEC2	R	S	T	U	V	W
Toma de decisiones	10	9	8	10	10	8	8	6	10	7	9	6	10	6	9	7	6	9	7	8	7	7	10	7	9	6	8
Respuesta inmediata ante dificultades	6	7	6	6	6	10	7	8	6	8	8	6	7	8	8	9	8	8	7	8	8	9	8	9	8	8	8
Supervisión de las actividades laborales	10	10	9	7	6	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Conocimiento del sistema	8	9	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	10	10	9	9	9	7	7	7	10	9	8	8	5	9
Asistencia laboral	7	7	10	10	6	9	9	7	10	8	6	10	7	7	9	7	8	9	10	10	10	9	8	10	6	6	10
Trato con el cliente	5	10	10	9	6	7	7	6	8	8	6	8	6	8	6	7	8	7	7	7	8	9	10	8	6	9	8
Liderazgo	8	9	8	7	9	8	6	8	8	9	7	8	7	7	9	8	9	8	7	9	7	7	8	9	7	7	7
Manejo de herramientas y equipo	10	10	7	8	8	8	9	8	7	7	7	8	9	6	8	9	9	9	7	8	8	8	9	9	8	9	9
Operación del tren	7	10	9	6	8	10	8	9	5	9	6	10	6	8	5	8	7	8	7	7	8	9	8	9	9	10	8
Eficacia en la realización de actividades de mantenimiento	9	10	8	6	7	6	9	6	6	10	6	6	10	6	8	8	8	8	8	8	7	10	6	5	6	8	8
Disposición para el trabajo	10	10	10	10	9	7	8	7	10	6	9	7	5	6	9	8	8	7	9	9	7	6	10	7	6	10	7
Trabajo en equipo	7	8	9	6	6	9	9	9	5	6	7	10	6	8	5	8	7	7	8	8	8	7	6	10	10	9	6
Participación	10	6	7	7	10	8	7	10	8	9	7	10	9	9	9	8	8	8	8	8	8	7	5	10	8	5	7
Calificación	8.2	8.8	8.3	7.6	7.5	8.2	7.8	7.6	7.5	7.8	7.0	8.0	7.4	7.4	7.9	8.0	7.9	8.1	7.7	8.1	7.8	8.2	8.1	8.4	7.6	7.7	7.9

Tabla de elaboración propia que integra las calificaciones obtenidas por el personal en el cuestionario del Anexo1

La anterior matriz de rendimientos es un instrumento que permite conocer, mediante un promedio o porcentaje, la efectividad o el desempeño de un empleado. Los valores obtenidos en la matriz de rendimientos son indicadores de desempeño de cada trabajador en diferentes competencias.

Para este caso, se seleccionaron 13 diferentes competencias que son indispensables para los puestos que deben desempeñarse dentro del sistema. En el caso de los encargados de turno, ellos deben cumplir con el total de estas competencias, por las características de su puesto y responsabilidades que este conlleva. Al contrario de los encargados, los técnicos contractuales y el personal de apoyo solo deben cumplir con 12 competencias, descartando en sus evaluaciones la supervisión de las actividades laborales, debido a que no son indispensables para su puesto.

Ponderación de valores

En las organizaciones, los directivos pueden utilizar ponderaciones para que el proceso de decisión sea más objetivo tomando en cuenta factores como la educación, el ocio y la capacitación de los trabajadores. Para ponderar al personal que labora en el sistema de transporte, se realizó lo siguiente:²⁶

- Se definieron factores críticos de éxito (competencias).
- La empresa asignó un valor de importancia para cada factor crítico mediante una escala del 1 al 10.
- Al promediar todos los valores se obtuvo un resultado, el cual es la ponderación de cada trabajador.

Los pasos anteriores se pueden apreciar en la matriz de rendimientos que se mostró con anterioridad.

²⁶ Consultar: Estrategias de localización. Rivera Colmenero José Antonio. P. 16

Como se mencionó, las calificaciones presentadas como un promedio total de las evaluaciones de cada competencia, pueden ser tomadas como una ponderación para comparar cuales de los trabajadores tienen mayor valor con respecto a otros. La finalidad de esta ponderación es que la selección del personal sea la más apropiada con base en sus mejores habilidades y no genere un costo o conflicto dentro del sistema. Por ejemplo, el encargado de turno “E” tiene la menor calificación total entre los encargados y cuenta con valores bajos en las competencias de respuesta inmediata ante dificultades, supervisión de actividades laborales, asistencia laboral y trato con el cliente, competencias fundamentales para el puesto y que generan costos en caso de que el encargado falte al trabajo, no supervise una instrucción, no cumpla los requerimientos del cliente y no tenga la capacidad de atender inmediatamente alguna falla del sistema. Asimismo, este valor ponderado sirve como un criterio para poder ubicar en el turno que más convenga a este empleado.

Modelo matemático

El contrato de prestación de servicio que elaboró el AICM propone una plantilla laboral con base en su antigua experiencia con la empresa que se encargó de diseñar el sistema de transporte. Con la finalidad de conocer el número mínimo de trabajadores necesarios para cumplir este requisito contractual se diseñó el siguiente modelo matemático:

El servicio cuenta con tres turnos diferentes de trabajo y, además, el contrato requiere un número específico de personal para cada día de trabajo. Lo anterior se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Personal requerido

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
06:00 - 14:00	3	3	3	3	3	3	3
14:00 - 22:00	3	3	3	3	3	3	3
22:00 - 06:00	6	6	6	6	6	6	6

Se considera que cada empleado debe trabajar 8 horas diarias durante 5 días consecutivos, seguidos por 2 días de descanso.

Se tiene la variable de decisión X_{ij} , donde:

X_{ij} = Número de empleados que comienza su trabajo semanal en el día i adoptando el turno j .

i = Día en el que el empleado comienza sus 5 días de trabajo.

j = Turno al que el empleado es asignado.

Los índices para los turnos de trabajo, son los siguientes:

Tabla 3.4 Índices para turnos de trabajo

Turno de 8 horas	Índice para cada turno
06:00 - 14:00	1
14:00 - 22:00	2
22:00 - 06:00	3

Los índices para cada día de la semana son los siguientes:

Tabla 3.5 Índices para cada día

Día de comienzo de trabajo	Índice por día
Lunes	1
Martes	2
Miércoles	3
Jueves	4
Viernes	5
Sábado	6
Domingo	7

Como el objetivo es minimizar la fuerza de trabajo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Min } Z = X_{1,1} + X_{1,2} + X_{1,3} + X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} + X_{3,1} + X_{3,2} + X_{3,3} + X_{4,1} + X_{4,2} + X_{4,3} + X_{5,1} + X_{5,2} + X_{5,3} + X_{6,1} + X_{6,2} + X_{6,3} + X_{7,1} + X_{7,2} + X_{7,3} \dots\dots\dots(3.1)$$

Se necesita satisfacer el personal requerido para cada turno de trabajo diario. Se labora 7 días con 3 turnos de trabajo diarios, lo que resulta un total de 21 restricciones.

- Las restricciones para el turno de 06:00 a 14:00

$$X_{1,1} + X_{2,1} + X_{3,1} + X_{4,1} + X_{5,1} \geq 3 \dots\dots\dots(3.2)$$

$$X_{2,1} + X_{3,1} + X_{4,1} + X_{5,1} + X_{6,1} \geq 3 \dots\dots\dots(3.3)$$

$$X_{3,1} + X_{4,1} + X_{5,1} + X_{6,1} + X_{7,1} \geq 3 \dots\dots\dots(3.4)$$

$$X_{4,1} + X_{5,1} + X_{6,1} + X_{7,1} + X_{1,1} \geq 3 \dots\dots\dots(3.5)$$

$$X_{5,1} + X_{6,1} + X_{7,1} + X_{1,1} + X_{2,1} \geq 3 \dots\dots\dots(3.6)$$

$$X_{6,1} + X_{7,1} + X_{1,1} + X_{2,1} + X_{3,1} \geq 3 \dots\dots\dots(3.7)$$

$$X_{7,1} + X_{1,1} + X_{2,1} + X_{3,1} + X_{4,1} \geq 3 \dots\dots\dots(3.8)$$

- *Las restricciones para el turno de 14:00 a 22:00*

$$X_{1,2} + X_{2,2} + X_{3,2} + X_{4,2} + X_{5,2} \geq 3 \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

$$X_{2,2} + X_{3,2} + X_{4,2} + X_{5,2} + X_{6,2} \geq 3 \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

$$X_{3,2} + X_{4,2} + X_{5,2} + X_{6,2} + X_{7,2} \geq 3 \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

$$X_{4,2} + X_{5,2} + X_{6,2} + X_{7,2} + X_{1,2} \geq 3 \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

$$X_{5,2} + X_{6,2} + X_{7,2} + X_{1,2} + X_{2,2} \geq 3 \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

$$X_{6,2} + X_{7,2} + X_{1,2} + X_{2,2} + X_{3,2} \geq 3 \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

$$X_{7,2} + X_{1,2} + X_{2,2} + X_{3,2} + X_{4,2} \geq 3 \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

- *Las restricciones para el turno de 22:00 a 06:00*

$$X_{1,3} + X_{2,3} + X_{3,3} + X_{4,3} + X_{5,3} \geq 6 \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

$$X_{2,3} + X_{3,3} + X_{4,3} + X_{5,3} + X_{6,3} \geq 6 \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

$$X_{3,3} + X_{4,3} + X_{5,3} + X_{6,3} + X_{7,3} \geq 6 \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

$$X_{4,3} + X_{5,3} + X_{6,3} + X_{7,3} + X_{1,3} \geq 6 \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

$$X_{5,3} + X_{6,3} + X_{7,3} + X_{1,3} + X_{2,3} \geq 6 \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

$$X_{6,3} + X_{7,3} + X_{1,3} + X_{2,3} + X_{3,3} \geq 6 \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

$$X_{7,3} + X_{1,3} + X_{2,3} + X_{3,3} + X_{4,3} \geq 6 \quad \dots\dots\dots(3.22)$$

Cabe mencionar que el modelo solo contempla a los encargados de turno y técnicos. El ingeniero topógrafo y el técnico en administración no son incluidos en el modelo debido a que solo se necesita una persona como topógrafo y otra como técnico en administración de lunes a viernes en determinado horario.

Solución del modelo

Para resolver el modelo matemático de asignación que se diseñó, se requirió la ayuda de un software, en este caso Excel 2016, siendo el método de simplex el utilizado para obtener la solución del modelo.

Se formó la siguiente matriz, la cual contiene las restricciones que corresponden al primer turno:

Tabla 3.6 Restricciones primer turno

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	0	0	1
-	-	-	-	-	-	-
≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥
3	3	3	3	3	3	3

Debido a que las restricciones del segundo turno son idénticas a las del primer, esta misma matriz nos sirve para ejemplificar las restricciones del segundo turno. Aunque las estructuras de estos modelos son iguales, cabe señalar que sus variables son diferentes.

Para el tercer turno laboral tenemos la siguiente representación matricial:

Tabla 3.7 Restricciones del tercer turno

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	0	0	1
-	-	-	-	-	-	-
\geq	\geq	\geq	\geq	\geq	\geq	\geq
6	6	6	6	6	6	6

Con la ayuda de *Solver* se obtuvo la solución para los pasados sistemas de ecuaciones. En el primer turno se debe de tener un mínimo de 5 trabajadores como mano de obra, los cuales pueden ser distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 3.8 Total de trabajadores del primer turno

Cantidad inicial	
Lunes	0
Martes	1
Miércoles	0
Jueves	2
Viernes	0
Sábado	0
Domingo	2
Total de trabajadores	5

Donde las restricciones se satisfacen de la siguiente forma:

Tabla 3.9 Cumplimiento de restricciones del primer turno

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Trabajadores asignados	3	3	4	4	3	3	5
Mínimo de trabajadores	3	3	3	3	3	3	3

Claramente se observa que el personal requerido por el contrato para la prestación del servicio se cumple con la solución obtenida. Los días lunes, martes, viernes y sábado se encuentran al límite de la restricción. No existe algún día con personal menor al solicitado y la distribución puede ser realizada de acuerdo a los días laborales que se consideren más críticos, siempre y cuando aún se cumplan las restricciones del problema. Cabe mencionar que esta misma solución es aplicable para el segundo turno debido a que poseen las mismas restricciones.

La mano de obra mínima para realizar las actividades que corresponden al tercer turno es de nueve trabajadores, y pueden ser distribuidos como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 3.10 Total de trabajadores del tercer turno

Cantidad inicial	
Lunes	2
Martes	0
Miércoles	1
Jueves	2
Viernes	1
Sábado	2
Domingo	1
Total de trabajadores	9

Con base en esa asignación, las restricciones se cumplen de la siguiente manera:

Tabla 3.11 Cumplimiento de restricciones del tercer turno

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Trabajadores asignados	6	6	7	8	6	6	6
Mínimo de trabajadores	6	6	6	6	6	6	6

La asignación realizada satisface los requisitos contractuales referentes al personal mínimo que deberá estar presente en ese turno laboral. No existe algún día con falta de personal. Los días lunes, martes, viernes, sábado y domingo están en el límite de la restricción. Al igual que el caso anterior, se puede disponer de los 9 elementos como mejor sea su utilidad.

La formulación completa en Excel se puede ver en el anexo 2 de este trabajo de investigación.

Capítulo 4. Análisis de resultados

En el presente capítulo se analizan los resultados que se obtuvieron en la resolución del modelo matemático presentado con anterioridad. También se realiza una asignación del personal existente en la organización con base en la mejor solución del modelo matemático y en la matriz de rendimientos, con la finalidad de que dicha asignación contemple las características y competencias de cada empleado para que lleve a cabo funciones en las que mejor se desenvuelva.

Primeros resultados del modelo en la operación

En el capítulo anterior se obtuvieron los resultados del modelo matemático desarrollado para el presente caso de estudio. El modelo mostró que para el primer turno son necesarios 5 trabajadores como mínimo. Con estos 5 trabajadores el contrato se cumple con respecto a la cantidad necesaria de operadores que se solicita, recordando que para el este turno solo se requiere de un encargado de turno y dos técnicos mecánicos por día.

Al analizar la solución obtenida, en donde solo se requieren 5 trabajadores para el primer turno, se generan las siguientes preguntas: ¿Se pueden realizar todas las actividades necesarias para la prestación del servicio con el personal mínimo? y ¿Qué pasa si un trabajador falta o toma vacaciones?, ¿Qué sucede si un trabajador falta en los días en donde apenas se completa la plantilla? Es obvio que cualquier situación mencionada en las preguntas generará un costo, ya sea por falta de personal requerido o por una actividad no realizada. Para evitar estos inconvenientes, es necesario realizar un mejor análisis del modelo considerando holgura en sus restricciones, tener conocimiento de las cláusulas del contrato con el AICM y saber cómo es que la empresa organiza al personal en la jornada laboral.

Una restricción que no está tal cual escrita es de que el encargado de turno solo se tiene que ocupar de los asuntos de gestión y no abandonar el cuarto de control. Esta restricción es impuesta por el personal del AICM que supervisa a la empresa

encargada de la prestación del servicio con la finalidad de que, en caso de una emergencia o cualquier incidente, sea el encargado de turno el primero en responder a la eventualidad y comunique la situación al personal competente del AICM.

Debido a la política anterior, los días en que existen 3 trabajadores quedan limitados a solo 2 para que puedan realizar las actividades del turno, ya que el encargado solo puede atender el cuarto de control y asuntos de administración y gestión, lo que genera un potencial incumplimiento en la realización de las actividades del turno. Cabe mencionar que esta situación se presenta primordialmente en los turnos de operación del tren.

Para realizar el trabajo rutinario de operación se deben cumplir 3 actividades primordiales: operación del tren, supervisión de estación Terminal 1 y las inspecciones diarias de vía y unidad de accionamiento y retorno. Además, en todo momento debe de existir un encargado de turno.

La siguiente tabla ejemplifica el número de actividades primordiales que deben ser realizadas por cada trabajador durante la operación del tren.

Tabla 4.1 Actividades primordiales de operación

No. de trabajador	Tarea
1	Operación del tren
2	Supervisión T1
3	Inspecciones
Encargado	Cuarto de control
Total de trabajadores	4

Con base en la tabla, se observa que, para llevar a cabo el trabajo de un día, se requiere mínimo de 4 trabajadores. Por lo tanto, la plantilla mínima para cumplir las actividades de operación debe ser de 4 integrantes.

Partiendo de lo anterior, se deben modificar las restricciones del modelo matemático en cuanto al mínimo de trabajadores requeridos, el cual debe ser de 4 elementos.

Para resolver el modelo, volvemos a utilizar *Solver* con la nueva matriz correspondiente al primer turno, en donde se contemplan los 4 trabajadores.

Tabla 4.2 Nuevas restricciones del primer turno

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	0	0	1
-	-	-	-	-	-	-
≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥
4	4	4	4	4	4	4

Se obtiene la solución de que se debe de contar un total de 6 trabajadores como mínimo, los cuales pueden ser distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 4.3 Trabajadores necesarios con la restricción de 4 elementos por día

Cantidad inicial	
Lunes	1
Martes	1
Miércoles	0
Jueves	2
Viernes	0
Sábado	2
Domingo	0
Total de trabajadores	6

Como las restricciones del segundo turno son idénticas a las del primero, se puede usar la misma solución de 6 trabajadores e incluso la misma distribución del personal para el segundo turno. Las restricciones de ambos turnos se satisfacen de la siguiente manera:

Tabla 4.4 Cumplimiento de nuevas restricciones para primer y segundo turno

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Trabajadores asignados	4	5	4	5	4	4	4
Mínimo de trabajadores	4	4	4	4	4	4	4

Se observa que todos los días se cumple con el mínimo de 4 elementos por día, no existe algún día con personal menor al solicitado y la distribución puede ser realizada de acuerdo a los días laborales que se consideren más críticos, siempre y cuando aún se cumplan las restricciones del problema.

Si de esos 6 elementos que se necesitan, dos cumplen con los requisitos necesarios para realizar las funciones de encargado de turno, siempre existirá un encargado en servicio y las tres actividades fundamentales serán realizadas. Cabe mencionar que esto solo se logrará si los encargados toman días diferentes para comenzar la semana laboral.

Si un día tenemos el mínimo de personal, lo anterior puede ser posible si el encargado "A" realiza funciones de técnico mecánico y el encargado "B" funciones de gestión y supervisión. De esta forma se pueden realizar las actividades de prioridad del primer y segundo turno. Lo anterior se puede ejemplificar en la siguiente tabla:

Tabla 4.5 Cumplimiento de actividades primordiales de operación

Trabajador	Tarea
1	Operación del tren
2	Supervisión T1
Encargado "A"	Inspecciones
Encargado "B"	Cuarto de control
Total de trabajadores	4

Se observa claramente que las actividades se realizan con un total de 4 trabajadores diarios. Asimismo, al contar con 4 trabajadores que cumplan con el perfil requerido por el AICM, se elimina el riesgo producido por la falta de un trabajador de plantilla contractual debido a que aún se contaría con los 3 que se requieren. Recuérdese que esta falta generaría una deductiva económica a la empresa por parte del AICM al no cumplir con el personal mínimo.

Resultados en el tercer turno

Con la finalidad de evitar que se genere un costo por la falta de un elemento en el tercer turno, se sigue el mismo análisis que en los turnos pasados. En este caso las actividades del turno, en su gran mayoría de mantenimiento, son muy variadas, lo que permite que se pueda distribuir la mano de obra de muchas maneras para poder realizar dichas actividades. Por lo anterior, solo se analizará la situación en que falte un elemento a laborar en este turno.

Anteriormente se obtuvo un total de 9 trabajadores para cumplir con los elementos mínimos que solicita el contrato. En caso de que un trabajador falte en los días que se encuentren solo los 6 elementos requeridos, la empresa resultaría afectada por la falta. Para solucionar esta situación, se considera una holgura en las restricciones del modelo, siendo 7 empleados como el nuevo mínimo requerido en la plantilla del turno. La nueva matriz de restricciones quedaría de la siguiente forma:

Tabla 4.6 Nuevas restricciones del tercer turno

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	0	0	1
-	-	-	-	-	-	-
\geq	\geq	\geq	\geq	\geq	\geq	\geq
7	7	7	7	7	7	7

Se obtiene como solución un total de 10 trabajadores como mínimo, los cuales pueden ser distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 4.7 Nueva distribución de elementos para el tercer turno

Cantidad inicial	
Lunes	1
Martes	2
Miércoles	1
Jueves	2
Viernes	1
Sábado	1
Domingo	2
Total de trabajadores	10

Con esta distribución las restricciones del tercer turno se satisfacen como se muestra a continuación:

Tabla 4.8 Cumplimiento de las nuevas restricciones para el tercer turno

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Trabajadores asignados	7	7	7	7	7	7	8
Mínimo de trabajadores	7	7	7	7	7	7	7

Toda la semana se cumple con el mínimo de 7 elementos por día, no existe algún día con personal menor al solicitado y la distribución puede ser realizada de acuerdo a los días laborales que se consideren más críticos, siempre y cuando aún se cumplan las restricciones del problema.

En este turno laboral se encuentran implicados diferentes perfiles de personal, como son: encargados de turno, técnicos mecánicos o eléctricos, técnico en sistemas de aire acondicionado y técnicos en sistemas electrónicos. La falta de alguno de estos perfiles ocasionaría un costo para la empresa.

Si dentro de esos 10 elementos que se necesitan, existen dos que cumplan con los requisitos necesarios para realizar las funciones de encargado de turno, dos técnicos en aire acondicionado, dos técnicos electrónicos y cuatro técnicos mecánicos, siempre existirá el número requerido de perfiles. Como se mencionó, esto solo se logrará si los trabajadores con el mismo perfil toman días diferentes para comenzar la semana laboral.

Tabla 4.9 Perfiles del tercer turno

Perfil	Elementos
Encargado de turno	2
Técnico Mecánico	4
Técnico en Aire Acondicionado	2
Técnico Electrónico	2
Total	10

Un ejemplo de la distribución del personal para este turno podría ser el siguiente:

Tabla 4.10 Distribución del personal

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes	AC			AC	AC	AC	AC
Martes	MEC/MEC	MEC/MEC			MEC/MEC	MEC/MEC	MEC/MEC
Miércoles	AC	AC	AC			AC	AC
Jueves	ENT/MEC	ENT/MEC	ENT/MEC	ENT/MEC			ENT/MEC
Viernes	ELEC	ELEC	ELEC	ELEC	ELEC		
Sábado		ENT	MEC*	MEC*	ENT	ENT	
Domingo			ELEC/MEC	ELEC/MEC	ELEC/MEC	ELEC/MEC	ELEC/MEC

Donde:

AC = Técnico en aire acondicionado.

MEC = Técnico mecánico; MEC* = Encargado de turno que puede realizar funciones de técnico mecánico.

ELEC = Técnico electrónico.

ENT = Encargado de turno.

La anterior tabla se realizó tomando como referencia los días en que deben comenzar su jornada laboral los trabajadores del tercer turno. Esta información está contenida en la tabla 4.7 “Nueva distribución de elementos para el tercer turno”.

Se puede comprobar que la distribución que se muestra en la tabla 4.10 “Distribución de personal” satisface la restricción de 7 elementos como personal mínimo al sumar los diferentes perfiles que se encuentran laborando cada día. La siguiente tabla muestra la forma en que se satisfacen las restricciones:

Tabla 4.11 Personal por día en tercer turno

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Encargado de turno	1	2	1	1	1	1	1
Técnico Mecánico	3	3	3	3	3	3	4
Técnico en Aire Acondicionado	2	1	1	1	1	2	2
Técnico Electrónico	1	1	2	2	2	1	1
Total	7	7	7	7	7	7	8

Para poder satisfacer las restricciones con 10 elementos y cumplir con los perfiles requeridos en el contrato, es necesario que un encargado de turno cubra el rol de técnico mecánico los días miércoles y jueves, de no ser así, en estos días faltaría un técnico mecánico en la plantilla. Este cambio de rol se puede realizar si el encargado es un ingeniero mecánico.

Cabe señalar que, si se busca no tener dificultades en los cambios de rol con los encargados de turno, se podría optar por agregar un elemento más que cumpla solo las funciones de encargado de turno. De esta forma se contaría con 11 trabajadores, pero no sería una solución mínima en cuanto al personal requerido para el turno. Este elemento extra generaría un costo adicional a la empresa con respecto al pago de sueldos, ya que en vez de pagarle a 10 trabajadores se tendría que pagar a 11.

Utilidad del personal de apoyo

Como ya se había mencionado, la empresa cuenta con trabajadores que no cuentan con los requisitos solicitados por el cliente, pero poseen un gran conocimiento del sistema, los cuales son nombrados en este trabajo de investigación como personal de apoyo. El personal de apoyo realiza las mismas actividades que los técnicos y están repartidos en todos los turnos con la finalidad de aprovechar su experiencia, pero no pueden ser contemplados dentro de la plantilla contractual.

El personal de apoyo completa la plantilla laboral de cada turno facilitando así las tareas que se deben de realizar. El AICM les permite laborar en el sistema gracias a que cuentan con bastante experiencia en este, aunque no tengan la documentación que se solicita para el puesto. Esta situación es aprovechada por la empresa encargada del servicio para incorporarlos al trabajo diario y tener mayor mano de obra. Actualmente se encuentran laborando 6 trabajadores como personal de apoyo, dos elementos en cada turno.

Si se contempla al personal de apoyo existente en la asignación de tareas de cada turno, se puede realizar el trabajo de operación y mantenimiento sin ningún problema debido a que se excede por dos elementos al personal mínimo que se

calculó. Sin embargo, como el personal de apoyo no puede formar parte de la plantilla contractual, por la falta de documentación, su presencia se limita solo para la realización de las tareas y como asesores del sistema. En el caso de que no se cumpla con la plantilla mínima que solicita el cliente, se generaría una deductiva económica por falta de personal aun contando con los elementos suficientes para la prestación del servicio.

Asignación de los mejores elementos

Con base en la matriz de rendimientos que se construyó, se puede hacer una asignación de los trabajadores más aptos para cada turno, contemplando el mínimo de elementos calculados. Para poder ejemplificar la asignación con los mejores trabajadores, se usará la distribución de personal que se elaboró para el tercer turno.

Como se ha mencionado, el tercer turno es en su mayoría para el mantenimiento del sistema, por lo tanto, se necesitan trabajadores que cuenten con gran capacidad técnica en el manejo de máquinas, herramientas, conocimiento de los componentes del sistema y de los procedimientos de mantenimiento. Asimismo, en este turno se corrigen las fallas del sistema que afectaron la operación del tren y se solucionan los problemas potenciales con la finalidad de no interrumpir la prestación del servicio.

También es un turno que se utiliza para la inducción de los nuevos trabajadores con la finalidad de que puedan hacer uso del sistema sin interrumpir las horas de servicio, de esta manera adquieren la experiencia necesaria para poder estar en las horas de operación. Por los anteriores motivos, es fundamental contar con personal competente para los requerimientos técnicos del turno.

Una propuesta para la conformación de la plantilla de 10 elementos del tercer turno puede ser la siguiente:

El encargado del tercer turno debe tener principalmente las siguientes competencias: toma de decisiones, respuesta inmediata ante dificultades,

supervisión de las actividades laborales, conocimiento del sistema, asistencia laboral, liderazgo, manejo de herramientas y equipo, operación del tren y eficacia en la realización de actividades de mantenimiento.

Los técnicos mecánicos, en aire acondicionado y electrónicos, además de manejar a la perfección sus habilidades técnicas en sus disciplinas, deben contar con las siguientes competencias: conocimiento del sistema, asistencia laboral, manejo de herramientas y equipo, operación del tren, eficacia en la realización de actividades de mantenimiento, disposición para el trabajo, trabajo en equipo y participación.

Con base en los requerimientos para el tercer turno y en la matriz de rendimientos que anteriormente se elaboró, se seleccionó al personal que obtuvo un promedio de 8 o superior para laborar en el tercer turno debido a la importancia que este tiene. Las siguientes tablas muestran la comparación de los promedios de cada empleado dependiendo el turno:

Tabla 4.12 Calificaciones de encargados de turno

Encargados de turno	A	B	C	D	E	F
Calificación para 3° turno	8	9.2	8.4	7.7	7	8.1
Calificación para 2° y 1° turno	8	8.6	8.5	7.7	7.5	8.4

*Para el caso de los encargados de turno, los encargados **B** y **C** obtuvieron la mejor calificación para laborar en el tercer turno con respecto a la que poseen para los turnos de operación. Aunque el encargado **F** tiene una calificación de 8.1, no puede ser elegido debido a que tenemos dos aún mejores.*

Tabla 4.13 Calificaciones de los técnicos contractuales

Técnicos contractuales	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	AC1	AC2	ELEC1	ELEC2
Calificación para 3° turno	8.1	7.9	7.3	7.8	6.8	8.5	7.4	7.5	7.9	8.1	8	8.1	8	8.1	7.9
Calificación para 2° y 1° turno	7.6	7.7	7.6	7.6	7.1	8.2	7.2	7.5	7.9	8	7.9	x	x	x	x

Existen cuatro técnicos contractuales mecánicos que tienen calificaciones de 8 o mayores para laborar en el turno de mantenimiento. Los técnicos en aire acondicionado y electrónicos no pueden ser comparados entre los turnos debido a que el contrato solo los requiere para el tercer turno; estos cuatro solo trabajan en este turno. Por lo tanto, los técnicos mecánicos **G, L, P y Q** son los más aptos para el mantenimiento.

Tabla 4.14 Calificaciones del personal de apoyo

Personal de apoyo	R	S	T	U	V	W
Calificación para 3° turno	8.3	7.6	8.5	7.6	7.8	8
Calificación para 2° y 1° turno	8	8.3	8.7	7.7	7.6	7.9

El personal de apoyo R, T y W muestran mayores competencias para el tercer turno. Como solo dos personas de apoyo están en cada turno, para el turno de mantenimiento, se escogerá a los elementos **R y T**.

En conclusión, la plantilla del tercer turno se puede formar por los siguientes elementos:

Tabla 4.15 Plantilla del tercer turno

Tercer turno	Elementos
Encargados de turno	B Y C
Técnicos Contractuales	G, L, P, Q, AC1, AC2, ELEC1 Y ELEC2
Personal de apoyo	R y T

La tabla anterior muestra la plantilla más competente para laborar en el tercer turno, cumple con los 10 trabajadores mínimos que se habían calculado y cuenta con dos elementos de apoyo.

Costo de la asignación

Se ha mencionado que para cumplir con el número de trabajadores que el contrato demanda, y evitar una sanción económica derivada por falta de personal, necesitamos contar con 6 elementos en el primer turno, 6 para el segundo turno y 10 para el tercer turno como mínimo y que a su vez cumplan con todos los requisitos que solicita el cliente. Adicionalmente a esos elementos, se requiere un ingeniero topógrafo y un técnico en administración. Por lo tanto, son necesarios 24 elementos para cubrir con la plantilla contractual, de los cuales 6 son encargados de turno.

La siguiente tabla muestra la cantidad de dinero que tiene que pagar la empresa por cada elemento y por el total de los 24 trabajadores que se requieren:

Tabla 4.16. Costo de la plantilla contractual por día

Perfil	Elementos requeridos	Costo unitario	Costo total
Encargado de turno	6	\$450.00	\$ 2,700.00
Ingeniero topógrafo	1	\$380.00	\$ 380.00
Técnicos	18	\$300.00	\$ 5,400.00
Técnico Administrativo	1	\$280.00	\$ 280.00
Costo de plantilla			\$ 8,760.00

Tabla de elaboración propia con base en los costos por falta de personal estipulados en el contrato de prestación del servicio

En resumen, la empresa deberá pagar aproximadamente por día 8,760 pesos por los servicios que prestan los 24 elementos.

El costo del personal de apoyo no se puede saber debido a que esa información no fue proporcionada. Sin embargo, se estima que el personal de apoyo tiene un costo unitario mayor al de un encargado de turno.

Con base en la asignación realizada en esta investigación, se puede decir que contar con más de los 24 elementos contractuales generaría un costo innecesario para la empresa equivalente al sueldo del empleado. Además, la falta un trabajador por turno no generaría un costo equivalente al monto del sueldo diario integrado del empleado más una penalización del 200% de esa cantidad impuesta por el AICM, solo en el caso de que se trate del ingeniero topógrafo o el técnico administrativo.

Validación del modelo

La validación es el proceso mediante el cual se determina el grado en que un modelo puede ser una representación del mundo real desde el punto de vista de los usos deseados del modelo. La validación indica si un modelo es bueno en función de los objetivos de este. Un modelo puede ser considerado como útil en la toma de decisiones solo si este es validado. Para considerar un modelo como válido, se necesita comparar sus resultados con los del sistema real bajo las mismas condiciones. Entre menor sea la diferencia entre el modelo y el sistema real, mayor será la utilidad de dicho modelo.²⁷

Existen diferentes criterios de validación, entre estos pueden ser la recopilación de datos históricos, recopilación de datos actuales, la simulación o la opinión de un experto. Debido a que no es posible probar el modelo en el sistema actual por la falta de permisos con la empresa encargada de la prestación del servicio y con el AICM, el modelo tuvo que ser validado por medio de la opinión de un experto.

En este caso, el experto que proporcionó su opinión para validar el modelo fue un encargado de turno, el cual conoce y está familiarizado con el sistema. Asimismo, se encargó de la programación del personal, de coordinar y supervisar sus actividades laborales diarias. Por motivos de confidencialidad no se puede proporcionar el nombre de dicho encargado de turno debido al papel que desarrolla dentro de la empresa.

²⁷ Consúltese: Los algoritmos de programación entera y de asignación para la resolución de un problema de optimización de recursos de la empresa Eyano. Rentería Rafael. Pp. 30, 50

Durante la entrevista que se le realizó al experto, este señaló que, con base en su experiencia en el sistema de transporte, el modelo matemático que le fue mostrado representaba los requerimientos del personal técnico y las operaciones que son llevadas a cabo dentro del sistema, además contiene los datos fundamentales para analizar dicho sistema y contempla las limitaciones contractuales a las que se debe de ajustar la empresa prestadora del servicio. Mencionó que el modelo matemático que se desarrolló permite planificar de manera eficiente los roles de trabajo del personal, así como sistematizar y optimizar el tiempo empleado en la elaboración de las plantillas de trabajo.

El experto también comenta que una de las principales áreas de oportunidad para utilizar el modelo se encuentra en la programación para elaborar una plantilla de trabajo de forma sencilla para los casos en que un trabajador se ausente o haga uso de sus vacaciones, debido a que actualmente en estos casos es necesario reorganizar los recursos humanos disponibles para cubrir las actividades laborales, y en muchas ocasiones asignar actividades adicionales a los encargados de turno, técnicos y personal de apoyo.

En conclusión, el experto nos menciona que el modelo permite aplicar de manera más eficiente los procedimientos de trabajo actualmente utilizados, optimizar los recursos humanos disponibles, proporciona la oportunidad de reducir los tiempos empleados en las actividades de planificación de los recursos humanos, así como en la elaboración de los roles de trabajo. Asimismo, es útil en aquellos escenarios donde la plantilla de personal se ve reducida por faltas planificadas o ausencias no contempladas. En cuanto a costos, estos serían menores al evitar sanciones económicas por incumplimientos contractuales derivados por la falta de personal y actividades de operación y mantenimiento no realizadas.

La anterior opinión del experto se encuentra contenida en el anexo número 3 de este trabajo de investigación, en donde se podrá leer todo su contenido.

Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se logró cumplir con el objetivo general, el cual es optimizar la asignación de personal en un plan de trabajo real de un sistema de transporte de pasajeros para minimizar los costos asociados. Este objetivo se logró por medio del diseño de un modelo matemático de asignación de personal bajo una visión de ingeniería industrial. Además, se alcanzaron los objetivos particulares que se propusieron.

Durante la investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones particulares:

1. Se sabe que para realizar el trabajo diario de operación se debe cumplir con 3 actividades primordiales: operación del tren, supervisión de estación Terminal 1 y las inspecciones diarias de vía y unidad de accionamiento y retorno. Además, en todo momento debe de existir un encargado de turno. Partiendo de lo anterior, se obtuvo como solución contar con un total de 6 trabajadores como mínimo, dentro de los cuales, dos elementos deben contar con los requisitos necesarios para realizar las funciones de encargado de turno y tomar días diferentes para comenzar la semana laboral. De esta forma siempre existirá un encargado en servicio y las tres actividades primordiales serán realizadas, lo que reducirá los costos generados por falta de personal o actividades no realizadas.
2. Con la finalidad de evitar que se genere un costo por la falta de algún elemento en el tercer turno, se obtuvo como solución un total de 10 trabajadores como mínimo para conformar este turno. Si dentro de estos 10 elementos existen dos que cumplan con los requisitos necesarios para realizar las funciones de encargado de turno, dos técnicos en aire acondicionado, dos técnicos electrónicos y cuatro técnicos mecánicos, siempre existirá el número requerido de perfiles. En este caso, se debe tomar en cuenta el cambio de rol del encargado de turno, propuesto en el apartado de análisis de resultados, para cumplir con los perfiles diarios que solicita el

cliente. De no hacerlo así, se generaría un costo extra al contratar un elemento adicional.

3. Si se contempla al personal de apoyo existente en la asignación de tareas de cada turno, estas se realizarán sin ningún problema debido a que se excede al personal mínimo que se calculó. Sin embargo, como el personal de apoyo no puede formar parte de la plantilla contractual, por la falta de documentación, su presencia se limita solo para la realización de las tareas y como asesores del sistema.
4. Se obtuvo una propuesta de plantilla laboral para el tercer turno, en donde se tiene a los trabajadores más aptos para las actividades que se realizan en este turno. La asignación contempló el mínimo de personal calculado, la matriz de rendimientos de los trabajadores y al personal de apoyo existente. Esta plantilla cuenta con elementos que tienen una calificación de 8 o superior en las competencias requeridas para el turno, lo cual logra una asignación de personal que toma en cuenta las habilidades, actitudes y experiencia de los trabajadores. Lo anterior crea un ambiente de trabajo que favorece el desarrollo del empleado, fomenta el gusto por su trabajo, logra una satisfacción por su turno laboral y evita la rotación de personal, la cual genera un costo para la empresa.
5. Con base en la asignación que se realizó, se concluye que contar con más de los 24 elementos contractuales generaría un costo innecesario para la empresa equivalente al sueldo de los empleados. Además, la falta de un trabajador por turno no generaría un costo equivalente al monto del sueldo diario integrado del empleado más una penalización del 200% de esa cantidad impuesta por el AICM, solo en el caso de que se trate del ingeniero topógrafo o el técnico administrativo.
6. El experto valida que el modelo permite una planificación eficiente de los roles de trabajo del personal, asimismo reduce el tiempo que se emplea en la elaboración de las plantillas de trabajo y optimiza los recursos humanos disponibles.

En general, se puede concluir que el modelo optimiza los recursos humanos disponibles, reduce el tiempo empleado en la planificación de estos recursos, genera un mejor ambiente de trabajo para el personal, contempla la ausencia de un trabajador, ya sea por falta programada o inesperada, reduciendo así los costos derivados de las sanciones económicas por incumplimientos contractuales que se generan por la falta de personal y actividades de operación y mantenimiento no realizadas. Asimismo, evita los costos por un exceso de personal, ya que se calculó el mínimo de elementos que se necesitan para cubrir la plantilla que solicita el cliente.

Recomendaciones futuras

Al analizar los resultados obtenidos por medio del modelo matemático, y conocer las características del sistema y de las actividades diarias dentro de este, se proponen las siguientes recomendaciones:

- La empresa prestadora del servicio debería considerar el cálculo del personal mínimo obtenido y asignar los trabajadores con base en sus mejores competencias. Esto generará una satisfacción laboral en el personal, logrando que ellos se identifiquen con su trabajo y exploten su potencial.
- Se recomienda que, para poder laborar con el personal calculado, los nuevos integrantes tengan un curso inductivo en el sistema, con la finalidad de que en los días en los cuales se cuente con el mínimo de trabajadores, los nuevos integrantes puedan realizar sus actividades con el menor riesgo posible para el sistema.
- Se podría considerar reducir el personal de apoyo debido a que el costo que genera el pago de sus sueldos es más alto que los encargados de turno y estos no pueden ser considerados como plantilla contractual, limitando su uso solo para la realización de las tareas y como asesores del sistema. Para

llevar a cabo esta reducción, se necesitaría evaluar sus competencias y seleccionar solo los mejores elementos.

- Se recomienda implantar la asignación que se realizó de forma gradual en el sistema, con la finalidad de minimizar los efectos que conlleve un nuevo sistema de organización.
- Se puede contemplar, realizar una asignación del total de tareas del tren a los trabajadores que presenten mejores competencias para ejecutarlas. Esto es con la finalidad de generar calidad en los trabajos que la empresa lleva a cabo para la prestación del servicio.

Referencias

1. Ervin Rummel. Sistema de transporte interminales, Manuales de Operación y Mantenimiento, Doppelmayr Cable Car, Austria, 2007.
2. Massoud Bazargan. Airline Operations and Scheduling, Embry-Riddle Aeronautical University, Second Edition, 2010, USA.
3. Brusco, MJ. and Jacobs, L. W. Personnel tour scheduling when starting time restrictions are present, *AIOR Science*, 1988
4. Brusco, MJ. Jacobs, L.W., Bongiorno, RJ. Lyons, D.V., and Tang, B. Improving personnel scheduling at airline stations. *Operations Research*. 1995.
5. Juan Prawda. Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones. Vol. 1, Limusa, México, 2003.
6. Frederick S. Hiller, Gerarld J. Lieberman. Investigación de Operaciones, Mc Graw Hill, Décima Edición, 2015.
7. Joseph Germana. The Whole and Main Ideas of Systems Science, Systems Research and Behavioral Science, Departament of Virginia Tech, 2000.
8. Taha, Hamdy A. Investigación de Operaciones, Pearson Educación, 2012.
9. Juan Manuel Estrada. Introducción a la programación lineal, División de Ingeniería Mecánica e Industrial, Departamento de Sistemas, sección de Investigación de Operaciones. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 2000.
10. Kong, Maynard. Investigación de operaciones: Programación Lineal, Problemas de Transporte, Análisis de Redes, Pontificia Universidad Católica de Perú, Fondo Editorial, 2010.
11. Víctor Manuel Castillo Girón. Teorías de las organizaciones, Editorial Trillas, 2013.
12. William P. Sexton. Teorías de las organizaciones. Editorial Trillas, 1994.
13. José Antonio Morales Castro, Arturo Morales Castro. Proyectos de inversión, evaluación y formulación. Mc Graw Hill, México, 2009.
14. Roberto Carlos Orozco Morales. Un modelo de programación por metas ponderadas para la asignación eficiente de recursos públicos en

México/ tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería de Sistemas, tutor principal de tesis Mayra Elizondo Cortés. UNAM, Facultad de Imaginería. 2014.

15. Rafael Rentería Escobar. Los algoritmos de programación entera y de asignación para la resolución de un problema de optimización de recursos en la empresa eyano. tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería (Ingeniería de Sistemas), asesor Juan Manuel Estrada Medina. UNAM, Facultad de Ingeniería, 2012.
16. Orlando Sabas Arroyo. Modelo de simulación para la asignación de plataformas de carga y descarga en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, Tesis, UNAM, 1971.
17. Georgina Elizabeth Rodríguez Carmona. Algunos modelos de investigación de operaciones aplicados en la gestión de empresas / tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista, asesor Sergio Pedro Acosta Torres. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuatitlan. 1998.
18. Rivera Colmenero José Antonio. Apuntes de Estrategias de localización, Facultad de Ingeniería, México, 2015.
19. Mahn Daniel. Crew Scheduling y Crew Rostering en trenes subterráneos. Un método secuencial de solución. Tesis de maestría. Universidad de Concepción, Chile, 2013.
20. Eclapés Carmen. Asignación de conductores a jornadas de trabajo en empresas de transporte colectivo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 2000.
21. Ríos Esparza Gabriel, Alonso Ventura Paula. Optimización de asignación de personal entre grupos de apoyo y empresas, caso: DGOSE UNAM, tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial, Facultad de Ingeniería, México, 2016.

Anexos

Anexo 1

Evaluación del personal

Para evaluar el desempeño de los trabajadores, se asignará un valor en una escala del 1 al 10, siendo 10 la mejor calificación y 1 la calificación más baja. El trabajador será evaluado por su superior inmediato y dependiendo su puesto.

Puesto: *Encargado de turno*

Competencias	Desempeño
Toma de decisiones	
Respuesta inmediata ante dificultades	
Supervisión de las actividades laborales	
Conocimiento del sistema	
Asistencia laboral	
Trato con el cliente	
Liderazgo	

Puesto: *Técnico electrónico, mecánico, eléctrico o en aire acondicionado*

Competencias	Desempeño
Manejo de herramientas y equipo	
Operación del tren	
Eficacia en la realización de actividades de mantenimiento	
Asistencia laboral	
Disposición para el trabajo	
Trabajo en equipo	
Participación	
Liderazgo	

Puesto: Personal de apoyo

Competencias	Desempeño
Manejo de herramientas y equipo	
Operación del tren	
Eficacia en la realización de actividades de mantenimiento	
Asistencia laboral	
Disposición para el trabajo	
Trabajo en equipo	
Participación	
Liderazgo	

Anexo 2

Formulación del modelo matemático en excel

El presente anexo muestra las estructuras de los modelos realizados para cada turno, las variables que se tomaron en consideración para su formulación, las restricciones de cada uno de ellos y la forma en la cual se utilizó el metodo Simplex en Excel 2016.

Restricciones de los turnos de trabajo, estructura y variables del primer turno

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
06:00 - 14:00	3	3	3	3	3	3	3
14:00 - 22:00	3	3	3	3	3	3	3
22:00 - 06:00	6	6	6	6	6	6	6

Se considera que cada empleado debe trabajar 8 horas diarias durante 5 días consecutivos, seguidos por 2 días de descanso.

PARA EL PRIMER TURNO

Cantidad inicial	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes	0	1	1	1	1	0	0
Martes	0	0	1	1	1	1	0
Miércoles	0	0	0	1	1	1	1
Jueves	0	0	0	0	1	1	1
Viernes	0	1	0	0	0	1	1
Sábado	0	1	1	1	0	0	1
Domingo	0	1	1	1	0	0	1

Total de trabajadores	0						
	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥
	3	3	3	3	3	3	3

Solución en Solver del modelo referente al primer turno

The screenshot shows the Excel Solver Parameters dialog box. The objective is set to \$D\$25, with the 'Min' radio button selected. The variable cells are \$D\$17:\$D\$23. The constraints are: \$D\$17:\$D\$23 = entero, \$D\$17:\$D\$23 >= 0, and \$F\$25:\$L\$25 >= \$F\$27:\$L\$27. The 'Simplex LP' method is selected. The spreadsheet background shows a table for the first shift with initial quantities and a total of 0 workers.

PARA EL PRIMER TURNO						
Cantidad inicial	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Lunes	0					
Martes	0					
Miércoles	0					
Jueves	0					
Viernes	0					
Sábado	0					
Domingo	0					
Total de trabajadores	0					

Estructura y variables del modelo del segundo turno

The screenshot shows a spreadsheet layout for the second shift model. It includes a table for initial quantities and a larger table for the model structure with variables for each day of the week.

PARA EL SEGUNDO TURNO							
Cantidad inicial	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes	1	1	1	1	1	0	0
Martes	0	1	1	1	1	1	0
Miércoles	0	0	1	1	1	1	1
Jueves	1	0	0	1	1	1	1
Viernes	1	1	0	0	1	1	1
Sábado	1	1	1	0	0	1	1
Domingo	1	1	1	1	0	0	1
Total de trabajadores	0						
	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥
	3	3	3	3	3	3	3

Solución en Solver del modelo referente al segundo turno

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Mx M Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

- $\$D\$36:\$D\$42 = \text{entero}$
- $\$D\$36:\$D\$42 \geq 0$
- $\$F\$44:\$L\$44 \geq \$F\$46:\$L\46

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP

Método de resolución
 Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Estructura y variables del modelo del tercer turno

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
48														
49														
50														
51			PARA EL TERCER TURNO											
52														
53			Cantidad inicial				Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
54			Lunes	0		1	1	1	1	1	1	0	0	
55			Martes	0		0	1	1	1	1	1	1	0	
56			Miércoles	0		0	0	1	1	1	1	1	1	
57			Jueves	0		1	0	0	1	1	1	1	1	
58			Viernes	0		1	1	0	0	1	1	1	1	
59			Sábado	0		1	1	1	0	0	1	1	1	
60			Domingo	0		1	1	1	1	0	0	0	1	
61														
62			Total de trabajadores	0		0	0	0	0	0	0	0	0	
63						\geq	\geq	\geq	\geq	\geq	\geq	\geq	\geq	
64						6	6	6	6	6	6	6	6	
65														
66														
67														
68														
69														
70														
71														
72														

Solución en Solver del modelo referente al tercer turno

The screenshot shows the Solver Parameters dialog box in Microsoft Excel. The background spreadsheet contains a table for the third shift, with columns for 'Cantidad inicial' and days of the week (Lunes to Domingo). The Solver dialog box is configured as follows:

- Establecer objetivo: $\$D\62
- Para: Máx Min Valor de: 0
- Cambiando las celdas de variables: $\$D\$54:\$D\60
- Sujeto a las restricciones:
 - $\$D\$54:\$D\$60 = \text{entero}$
 - $\$D\$54:\$D\$60 \geq 0$
 - $\$F\$62:\$L\$62 \geq \$F\$64:\$L\64
- Convertir variables sin restricciones en no negativas
- Método de resolución: Simplex LP

Anexo 3

Opinion del experto

A continuación se presenta la opinión del experto encargado de validar el modelo matemático de la presente investigación. El nombre del experto es confidencial y solo se puede mencionar que se trata de un encargado de turno en el sistema.

“Con base en mi experiencia como encargado de turno en el sistema de transporte, el modelo matemático mostrado en este trabajo representa, de forma adecuada, los requerimientos de personal técnico y operaciones llevadas a cabo dentro del sistema, tomado como caso de estudio. Contiene los datos fundamentales para analizar dicho sistema, que en este caso lo son el propio personal técnico. Asimismo, incluye las limitaciones contractuales a las que debe sujetarse la empresa prestadora del servicio.

Analizando las metodologías llevadas a cabo para las responsabilidades que desempeñé, el modelo matemático desarrollado permite planificar de manera eficiente los roles de trabajo

del personal para el sistema en cuestión, así como sistematizar y optimizar el tiempo empleado en la elaboración de las plantillas de trabajo.

Una de las principales áreas de oportunidad para utilizar el modelo expuesto se encuentra en la programación una plantilla de trabajo de forma sencilla para los casos en que un trabajador se ausenta o hace uso de sus vacaciones, debido a que en estos casos es necesario reorganizar los recursos humanos disponibles para cubrir las actividades de trabajo, y en muchas ocasiones asignar actividades adicionales a los encargados de turno, así como a los técnicos mecánicos y de apoyo

En conclusión, considero que:

- El modelo presentado en este trabajo permite aplicar de manera más eficiente los procedimientos de trabajo utilizados actualmente, optimizando los recursos humanos disponibles con base a la lista de actividades de trabajo a realizar como parte del servicio prestado por la empresa concesionada del sistema. Por otra parte, proporciona la oportunidad de reducir los tiempos empleados en las actividades de planificación de recursos humanos, así como en la elaboración de roles de trabajo.
- El modelo resulta especialmente útil en aquellos escenarios en donde la plantilla de personal se ve reducida, ya sea por faltas planificadas como lo son el uso de vacaciones o eventualidades como lo son las ausencias no contempladas.
- Considerando los puntos anteriores, el modelo descrito en el trabajo permite también la reducción de costos para la empresa prestadora del servicio, aminorando las sanciones económicas aplicables a ésta por parte del cliente las cuales son generadas por incumplimientos contractuales como lo son la falta de personal o actividades de operación y mantenimiento sin realizar.”

Entrevista realizada el 24 de abril de 2017.