

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial



“MODELO DE PROGRAMACIÓN BINARIA PARA  
OPTIMIZAR LA PROGRAMACIÓN DE LA RUTA 1  
DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE PASAJEROS  
DE LA UNC”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Bach. Carlos Andres Gaona Romero

Bach. Derrik Alberto Quiroz Santillán

Asesor:

M. Cs. Ing. Luis Roberto Quispe Vásquez

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicamos a nuestras familias por darnos años de cariño y la formación necesaria para encaminarnos en un futuro prometedor, por ser el motivo del porque luchar cada día e ir por el camino correcto persiguiendo nuestros sueños y metas profesionales que en algún momento nos trazamos. De igual forma a Dios por permitirnos despertar cada mañana y porque nos acompaña cada día de nuestras vidas, especialmente cuando luchamos por algo.

## AGRADECIMIENTO

A los que nos apoyaron de manera incondicional en la realización de esta investigación. A la familia de la carrera de Ingeniería Industrial. Y nuestros docentes quienes nos han compartido sus conocimientos en el proceso de nuestra formación, sobre todo a nuestros asesores por su interés y su tiempo.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
INDICE DE FIGURAS .....	7
INDICE DE ECUACIONES.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT .....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	11
1.1. Realidad problemática .....	11
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Objetivos.....	14
1.4. Hipótesis .....	15
1.5. Operacionalización de variables .....	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....	17
2.1. Tipo de investigación.....	17
2.2. Población y muestra .....	17
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	17
2.4. Procedimiento.....	19
2.5. Esquema de Procedimiento .....	20

CAPÍTULO III. RESULTADOS .....	22
3.1. Diagnostico situacional de la ruta 1 .....	22
3.2. Diseño del modelo de Programación Binaria .....	30
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	45
4.1. Discusión.....	45
4.2. Conclusiones .....	47
REFERENCIAS .....	48
ANEXOS.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables. ....	16
Tabla 2: Instrumentos para la recolección de datos .....	18
Tabla 3: Ómnibus de la Ruta 1-UNC .....	22
Tabla 4: Programación de Horarios de Salida de Unidades de Ruta 1-UNC.....	23
Tabla 5: Denotación de Horas punta y Bajas .....	24
Tabla 6: Oferta y demanda agrupado en horas.....	25
Tabla 7: Información del sistema de Transporte de Ruta 1-UNC.....	25
Tabla 8: Denotación de Salida de Vehículos .....	26
Tabla 9: Programación Actual de Viajes de la Ruta 1- Horas punta.....	27
Tabla 10: Programación Actual de viajes de la Ruta 1- Horas Bajas. ....	28
Tabla 11: Indicadores del Sistema de Transporte Ruta1 .....	29
Tabla 12: Modelo de Programación Binaria Propuesto para la Ruta 1 .....	44
Tabla 13: Indicadores después de propuesta .....	45
Tabla 14: Inversión en activos tangibles .....	47
Tabla 15: Ingresos por nuevo modelo de Programación de salida de ómnibus .....	48
Tabla 16: Consolidado Costo / Beneficio .....	48
Tabla 17: Relación Beneficio / Costo .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de Procedimiento Metodológico. Elaboración propia.....	20
Figura 2: Esquema del diseño de programación Binaria. Elaboración propia. ....	21
Figura 3: Resultado Lindo horas con menor demanda. Elaboración propia .....	42
Figura 4: Resultado Lindo horas con mayor demanda / Elaboración propia .....	43

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Función objetivo.....	31
Ecuación 2: Satisfacción de la demanda. ....	31
Ecuación 3: Restricciones de viaje.....	32
Ecuación 4: Cálculo Beneficio / Costo .....	49



## RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación pretende dar a conocer un modelo de programación binaria en el transporte terrestre de pasajeros de la Universidad Nacional de Cajamarca para optimizar la programación de viajes en la ruta 1, minimizando la capacidad ociosa ofrecida. La investigación se elaboró con información obtenida mediante observación directa y registro de datos; posteriormente analizada y procesada a fin diseñar un modelo de programación binaria para minimizar la capacidad ociosa ofrecida y así optimizar la programación de viajes en la ruta 1 con la ayuda del software Lindo 6.1. De ese modo mediante el modelo se pudo minimizar la capacidad ociosa con la nueva programación de viajes el cual impactó significativamente en los costes incurridos.

**Palabras clave:** Programación binaria, Optimizar, Modelo matemático, Transporte, Minimizar.

## ABSTRACT

The work presented below aims to publicize a binary programming model for passenger land transportation at the National University of Cajamarca to optimize travel scheduling on route 1, minimizing the idle capacity offered. The research was carried out with information obtained through direct observation and data recording; later analyzed and processed in order to design a binary programming model to minimize the idle capacity offered and thus optimize travel scheduling on route 1 with the help of the Lindo 6.1 software. In this way, the model was able to minimize idle capacity with the new travel scheduling and significantly impact on the costs incurred.

Keywords: Binary Programming, Optimize, Mathematical Model, Transport, Minimize.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El transporte público es uno de los más populares y utilizados en todas las urbes el mundo; pero también es uno de los principales problemas que enfrentan las ciudades, esto varía dependiendo el nivel de desarrollo que puedan tener, es decir, depende mucho de la importancia que se le dé a este sector. Según (Giugale, Fretes, & Newman, 2006) las grandes ciudades de Latinoamérica y los países en desarrollo enfrentan un círculo vicioso de transporte en el que el aumento de la motorización incide de manera negativa en el transporte público ya que reduce su demanda por demasiada congestión vehicular y se refleja en mayores costos por pasajero y sin duda alguna se hace menos atractivo y estimula al uso de transporte individual. En el estudio realizado por la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) evaluaron el índice de Movilidad Urbana en una escala de 0 a 100, donde América Latina se ubicó en 43.9, siendo Santiago de Chile la ciudad con el mejor transporte público (BBC, 2017).

Las grandes ciudades a pesar de ser muy desarrolladas también presentan deficiencias en el manejo del transporte público; mucho más en países en vía de desarrollo como el Perú. Esto conlleva a disminuir la calidad de vida de los habitantes especialmente de los más pobres y repercute a escalas globales ya que según la OMS se pierden alrededor de 500 millones de dólares cada año por ineficiencias en el sistema de transporte urbano (Giugale, Fretes, & Newman, 2006). De ese modo el impacto que genera un defectuoso sistema de transporte público afecta directamente tanto a los pasajeros como a los prestadores de este servicio.

A nivel macro una forma para quebrar este círculo vicioso es realizando un cambio en el modelo de gestión del transporte público, acompañado de restricciones y políticas de movilidad urbana (Giugale, Fretes, & Newman, 2006). Sin embargo, existen diversas metodologías y herramientas que van desde el más simple hasta sistemas muy complejos y desarrollados que contribuyen a eliminar el tan mencionado círculo vicioso. La investigación de Operaciones es una herramienta de mucha importancia para resolución de problemas y toma de decisiones. Para (Winston, 1994) “es un enfoque científico interdisciplinario para la solución de problemas, que envuelve la interacción compleja, dinámica y subjetiva de hombres, métodos y sistemas”.

El elemento principal para la investigación de operaciones es el modelo matemático, la cual posteriormente permitirá la toma de decisiones, considerando siempre factores intangibles. La solución de un modelo es factible si satisface todas las restricciones y condiciones para que pueda funcionar; se busca la solución óptima, es decir, produce un mejor valor máximo o mínimo de una variable en una definida función objetivo (Taha, 2012). Para soluciones de tipo discreto como de la presente investigación se utiliza la optimización combinatoria, es decir, en lo que participa una cantidad finita de elementos. Para formular, administrar de manera eficiente los modelos de programación lineal grandes y otros relacionados se utiliza software de diseño especial bajo un lenguaje de programación matemática. (Winston, 1994). Existen diversos lenguajes de modelado entre ellos está LINDO System, Inc.

De acuerdo al problema suscitado se utilizarán las diversas herramientas de programación como es la Programación Binaria que es básicamente un modelo de programación lineal con la restricción adicional que las variables deben tener valores enteros (Thierauf, 1993).

Este tipo de problemas involucran dos posibilidades 0 y 1, por ello las variables se llaman binarias. La formulación matemática consiste en definir los índices, parámetros y en especial las variables de decisión. Posteriormente la construcción del modelo consiste en optimizar la función objetivo, que a la vez está sujeta a restricciones estructurales. En el estudio realizado por (Paredes & Tirado, 2016) utilizan la programación binaria para aportar una mejora en el transporte público, reduciendo la congestión de sus unidades en un punto crítico de la ruta, así como los costos incurridos por los mismos; es decir minimizaron la capacidad ociosa de las unidades con una programación de salida de las unidades.

La ciudad de Cajamarca también presenta muchos inconvenientes con la gestión del transporte público y afecta principalmente a trabajadores y estudiantes en su mayoría. Pensando en el bienestar la comunidad estudiantil ciertas instituciones y universidades optan por otorgar diversos beneficios a sus trabajadores y/o estudiantes, el transporte es uno de ellos. Tal es el caso de la Universidad Nacional de Cajamarca, que brinda un servicio de movilidad exclusivo y gratuito a sus estudiantes y personal administrativo, en adelante mencionados como demanda. El servicio de transporte está disponible 6 días por semana (lunes a sábado), cuenta con ocho unidades con una capacidad de 80 pasajeros por unidad, además están repartidas en tres rutas, con sus respectivos paraderos, turnos y horario.

En el caso de la Ruta 1, comprendido entre Ciudad Universitaria – Fonavi I, ver anexo 1, se destinan 3 unidades y estos recorren por vuelta 9.8 kilómetros, asimismo cuenta con 8 paraderos. La jornada diaria inicia a las 06:20 horas y finaliza a las 20:20 horas aproximadamente. En este periodo las unidades realizan 26 viajes en total.

A pesar de contar con una programación de salidas de unidades, esta no es la más adecuada ya que la falta de seguimiento ha generado problemas en cuanto a relación oferta – demanda; es decir la oferta es excesiva en comparación a la cantidad de pasajeros que arriban a las unidades, conlleva a que se incurran en costos excesivos S/ 2,278.00 en costo de combustible mensual por unidad, S/1,412.00 en costo por mantenimiento anual por unidad. Asimismo, un porcentaje de utilización de los ómnibus de 73% y 44% en horas de mayor y menor demanda respectivamente. Por ello mediante el modelo de programación binaria se pretende optimizar la programación de la ruta 1, a través de la minimización de la capacidad ociosa en la ruta mencionada, esto resulta en menos salidas de vehículos e impacta directamente en costos incurridos.

De ese modo la investigación contribuye en la mejora de la programación de la ruta 1 del transporte de pasajeros de la Universidad Nacional de Cajamarca ya que impacta directamente en los ahorros económicos y la posibilidad de aplicarse en las rutas restantes, asimismo servirá como bibliografía para futuras investigaciones.

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera el diseño de un modelo de programación binaria optimiza la programación de la ruta 1 del transporte terrestre de pasajeros de la UNC?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un modelo de programación binaria para optimizar la programación de la ruta 1 del transporte terrestre de pasajeros de la UNC.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la programación actual de la Ruta 1 del transporte de pasajeros de la Universidad Nacional de Cajamarca.
- Diseñar el modelo de programación binaria de la ruta 1 del transporte de pasajeros de la Universidad Nacional de Cajamarca.
- Comparar los resultados de la nueva programación con la programación inicial de la ruta 1 del transporte de pasajeros de la Universidad Nacional de Cajamarca.
- Realizar el análisis costo / beneficio de la nueva programación de la ruta 1 del transporte de pasajeros de la Universidad Nacional de Cajamarca.

### 1.4. Hipótesis

El diseño de un modelo de programación binaria optimiza la programación de la ruta 1 del transporte terrestre de pasajeros de la UNC.

## 1.5. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de Variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>
<b>Modelo de Programación Binaria</b>	El modelo de programación binaria es el modelo de programación lineal con la restricción adicional de que las variables deben tener valores enteros (Thierauf, 1993)	Determinar Variables binarias, Función Objetivo y Restricciones que permitan formular el modelo	Minimizar la capacidad ociosa en la Ruta 1
<b>Optimización de la Programación de la Ruta 1 del Transporte de Pasajeros de la UNC</b>	Es el resultado con el mayor valor que maximice o minimice a la función objetivo, todo ello sujeto a restricciones puestas en el modelo (Winston L., 2005).	El modelo contribuirá a optimizar los indicadores que afectan directamente en el transporte de pasajeros de la ruta 1 de la UNC	Consumo de combustible Costo de combustible Porcentaje de utilización de vehículos Número de días de Mantenimiento Costo de Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Por el enfoque de esta investigación es aplicada, ya que pretende aplicar la programación binaria a un contexto particular con el objeto de buscar un mejor desempeño. Es transversal porque se toman los datos en un periodo determinado, es prospectivo porque los datos los toma el propio investigador y no se usa data histórica y analítico porque busca relaciones.

### 2.2. Unidad de Análisis

Ruta 1 del Transporte de Pasajeros de la Universidad Nacional de Cajamarca.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Se cuenta con diferentes Técnicas e Instrumentos para la recolección de información como se muestra en la tabla 2:

**Tabla 2**

*Instrumentos para recolección de datos.*

<b>Técnica</b>	<b>Justificación</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Aplicado en</b>
<b>Observación directa</b>	Poder observar cual ruta es la que presenta más demoras e inconvenientes.	- Cuaderno de apuntes. - Guía de observación	Ruta 1 del transporte de pasajeros de la UNC
<b>Análisis de documentos</b>	A fin de obtener la información necesaria para el desarrollo de la investigación	- Informes - Planos	Área de trasportes de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Fuente: Elaboración Propia.

### 2.3.1. Observación Directa

**Objetivo:** Identificar el sistema de transporte que sigue la Ruta 1 de la UNC, asimismo determinar las restricciones que tienen.

**Procedimiento: Observación directa**

- Registrar las horas punta.
- Registrar el estado de cada ruta, tiempo y distancia.
- Registrar la Oferta y Demanda.

**Secuela de la Observación directa**

- Registro del tiempo recorrido de las unidades, interllegadas.
- Registro de distancias (km) de las rutas que cubre el transporte de la UNC.
- Registro de la demanda que tiene el transporte de Pasajeros de la UNC.

**Instrumentos:**

- Hoja de cálculo (EXCEL)
- Cuaderno de apuntes.

### 2.3.2. Análisis de Documentos

**Objetivo:** Detallar los costos incurridos en la ruta objeto de estudio de los ómnibus de la UNC.

**Procedimiento: Recolección de documentos**

Es necesario recopilar todos los informes obtenidos en las visitas al jefe de transporte.

Estos informes se clasificaron en:

- Informe de facturas de combustible mensual
- Informe de planos de las rutas

### **Secuela de la recolección de documentos:**

- Elaboración de una base de datos detallada sobre el consumo y costo de combustible de los ómnibus de la casa de estudios.

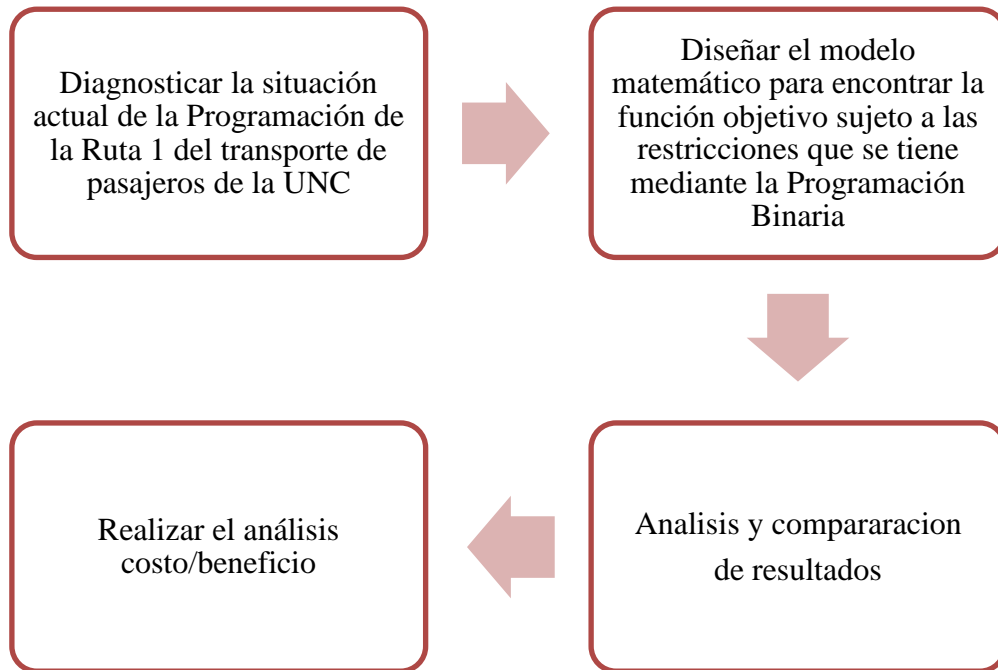
### **Instrumentos:**

- USB
- Hoja de cálculo (EXCEL).
- AutoCad
- Lapiceros.
- Cuaderno de notas.

## **2.4. Procedimiento**

- Obtener información mediante la observación y estudio a la Ruta 1 del transporte de pasajeros de UNC.
- Analizar y evaluar datos para el diseño del modelo matemático.
- Medir los resultados obtenidos del modelo matemático con los actuales.
- Realizar un análisis costo - beneficio del modelo de programación binaria del transporte de pasajeros de la Ruta 1 de la UNC.

## 2.5. Esquema de Procedimiento

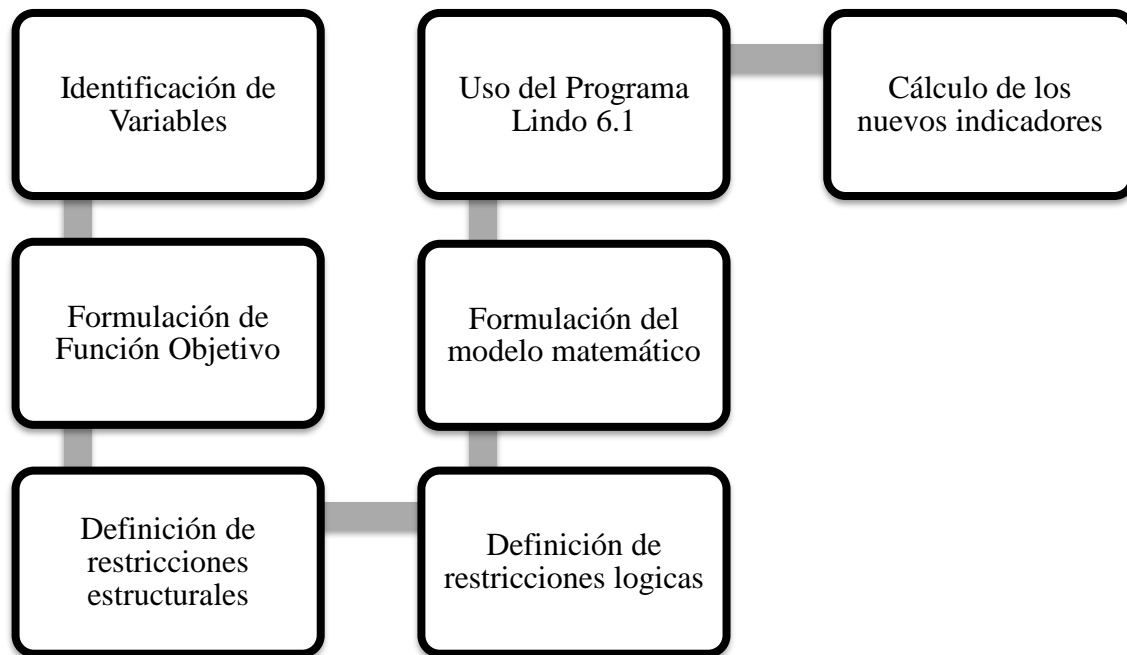


*Figura 1:* Esquema de Procedimiento Metodológico. Elaboración propia.

En la Figura I, se muestra el esquema del procedimiento metodológico a considerar para realizar el modelo de programación binaria que optimice la programación de la ruta 1 de la UNC:

**Cuadrante 1:** Diagnosticar la situación actual de la Programación de la R1 del transporte de pasajeros de la UNC

**Cuadrante 2:** Diseñar el modelo matemático para encontrar la función objetivo sujeto a las restricciones que se tiene mediante la Programación Binaria. Asimismo, para la elaboración del modelo matemático se siguen una serie de pasos que se encuentran detallados en la siguiente figura:



*Figura 2:* Esquema del diseño de programación Binaria. Elaboración propia.

**Cuadrante 3:** Se analizan resultados obtenidos en la nueva programación y se los compara con los detectados en el diagnóstico inicial a raves de los indicadores mostrados en la tabla 1.

**Cuadrante 4:** Realizar el análisis costo/beneficio del modelado de programación binaria para optimizar la ruta 1 del transporte de pasajeros de la UNC.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Diagnostico situacional de la ruta 1

En la tabla 3 se muestra el tipo y la cantidad de vehículos que operan en la ruta 1.

**Tabla 3**

*Ómnibus de la Ruta 1- UNC*

Ómnibus		
Tipo	Placa	Cap. Unidad
Omnibus	EGQ-494	80
Omnibus	EGO-762	80
Omnibus	EGQ-780	80

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar que a la ruta 1 cuenta con 3 unidades, estos son ómnibus adaptados para transporte público con capacidad de 80 personas. Cada vehículo recorre por viaje (ida y vuelta) una distancia de 9.8 km como se puede apreciar en el anexo 1. La ruta contó con 26 programaciones, es decir los 3 ómnibus realizan en total 26 viajes diarios.

En la tabla 4 se muestra la programación de viajes de la ruta 1:

**Tabla 4**

*Programación de Horarios de Salida de Unidades de Ruta 1-UNC*

<b>Unidad</b>	<b>Hora Salida</b>	<b>Unidad</b>	<b>Hora Salida</b>
<b>EGQ-494</b>	06:20	EGO-762	13:10
<b>EGO-762</b>	06:25	EGQ-494	13:15
<b>EGQ-780</b>	06:35	EGO-762	14:10
<b>EGQ-494</b>	08:20	EGQ-494	14:15
<b>EGO-762</b>	08:25	EGO-762	15:10
<b>EGQ-494</b>	09:10	EGQ-494	15:15
<b>EGO-762</b>	09:15	EGO-762	16:10
<b>EGQ-494</b>	10:10	EGQ-494	16:15
<b>EGO-762</b>	10:15	EGQ-494	19:10
<b>EGQ-494</b>	11:10	EGO-762	19:15
<b>EGO-762</b>	11:15	EGQ-780	20:10
<b>EGQ-494</b>	12:10	EGQ-494	20:15
<b>EGO-762</b>	12:15	EGO-762	20:20

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla anterior se puede apreciar la programación de los 3 ómnibus en 26 viajes con su respectivo horario de salida de la sede UNC. Se observa que el primer viaje inicia a las 06:20 am y el ultimo a las 20:20 pm.

Para un mejor análisis y desarrollo del modelo matemático fue necesario agrupar los viajes por horas, asimismo se clasificó en horas con mayor demanda y menor demanda así se muestra en la tabla 5:

**Tabla 5**

*Denotación de Horas punta y Bajas*

<b>Horas</b>	6:00	12:00	1:00	7:00	8:00		
<b>Punta</b>	a. m.	p. m.	p. m.	p. m.	p. m.		
<b>Denotación</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>12</b>		
<b>Horas</b>	8:00	9:00	10:00	11:00	2:00	3:00	4:00
<b>Bajas</b>	a. m.	a. m.	a. m.	a. m.	p. m.	p. m.	p. m.
<b>Denotación</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 5 se puede apreciar las horas con mayor y menor demanda, es decir, existe por lo menos una programación de viaje de ómnibus en cada una de las horas mencionadas. También se mostró una denotación de cada hora mencionada, esto para efectos del modelo de programación planteado y facilidad de análisis, por ejemplo, todas las programaciones que se realicen entre las horas 6:00 a.m y 7:00 a.m serán la hora 1, las programaciones que se realicen entre 8:00 a.m. y 9:00 a.m. será la hora 2, y de esa manera todas las horas hasta la hora 12 que son las programaciones entre las 8:00 p.m. y 9:00 p.m.

Otro factor indispensable que se observó y analizó fue la demanda de pasajeros de la ruta durante un periodo de una semana (*ver anexo 3 y 4*) ya que el tiempo de programación de clase de los estudiantes es semanal, así también la oferta, es decir comparar la cantidad de pasajeros que utilizan las unidades en cada viaje y la oferta que es la capacidad del ómnibus ofrecida por viaje. De ese modo se estableció patrón de demanda, y se clasificaron como horas punta y horas sin gran concurrencia de pasajeros como se muestra en la tabla 6.



En la tabla 6 se muestra la oferta y demanda agrupado en horas:

**Tabla 6**

*Oferta y demanda agrupado en horas*

<b>Hora</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Oferta</b>	240	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	240
<b>Demanda</b>	155	71	72	69	65	123	110	62	78	74	127	182
<b>Variacion</b>	85	89	88	91	95	37	50	98	82	86	33	58

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en tabla 6 la oferta fue mayor a la demanda por una gran diferencia en todas las horas. En la hora 1 hay una variación de 85 pasajeros, es decir que la demanda no cubre la capacidad de los ómnibus programados en la hora 1, del mismo modo las horas siguientes.

En la tabla 7 se observa un resumen de la información en la Ruta 1.

**Tabla 7**

*Información del sistema de Transporte de Ruta 1-UNC*

<b>Información Ruta 1</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Demanda una vuelta completa (und) horas altas	54	Estudiantes
	4	P. Adm.
Demanda diaria pasajeros (3 und)	1188	Estudiantes
Oferta diaria máx. pasajeros (und)	2080	Pasajeros
Vueltas diarias	26	Vueltas
Capacidad real por ómnibus	50	Asientos
Capacidad máxima por ómnibus	80	Pasajeros
Hora de salida-Sede UNC(Origen)	06:20	Am
Tiempo de salida entre unidades	0.73	Horas
Tiempo de viaje una vuelta completa	0.73	Horas
<b>Total de ómnibus</b>	<b>3</b>	<b>Unidades</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede apreciar la demanda y oferta de una vuelta completa por unidad, cantidad de vueltas diarias, capacidades de ómnibus, entre otros. Como podemos ver por unidad la oferta es mayor en comparación a la demandada, 58 en promedio.

Del mismo modo que en la tabla 8, para mejor comprensión del modelo matemático fue necesario denotar cada viaje programado con una letra, así tenemos en la tabla siguiente:

**Tabla 8**

*Denotación de Salida de Vehículos*

H. Viaje	Denotación	H. Viaje	Denotación
06:20:00	A	13:10:00	N
06:25:00	B	13:15:00	Ñ
06:35:00	C	14:10:00	O
08:20:00	D	14:15:00	P
08:25:00	E	15:10:00	Q
09:10:00	F	15:15:00	R
09:15:00	G	16:10:00	S
10:10:00	H	16:15:00	T
10:15:00	I	19:10:00	U
11:10:00	J	19:15:00	V
11:15:00	K	20:10:00	W
12:10:00	L	20:15:00	X
12:15:00	M	20:20:00	Y

Fuente: Elaboración Propia.

Se asignó a cada programación de viaje una letra del abecedario desde la A hasta la Y, 26 letras en total, ya que son 26 programaciones en total, esto no indica que son 26 los ómnibus que operan en la ruta 1, solo son 3 pero son programados más de 1 vez por día. Por ejemplo, la A es el bus programado a la hora 6:20 a.m. y de acuerdo a la tabla 4 se programó a la hora 1; de la misma manera el resto de programaciones.

En la tabla 9 se muestra la programación actual de la Ruta 1 del transporte de pasajeros de la UNC en Horas Altas en un lenguaje binario

**Tabla 9**

*Programación Actual de Viajes de la Ruta 1- Horas punta.*

<b>Viaje - Hora</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>A</b>	1	0	0	0	0
<b>B</b>	1	0	0	0	0
<b>C</b>	1	0	0	0	0
<b>D</b>	0	0	0	0	0
<b>E</b>	0	0	0	0	0
<b>F</b>	0	0	0	0	0
<b>G</b>	0	0	0	0	0
<b>H</b>	0	0	0	0	0
<b>I</b>	0	0	0	0	0
<b>J</b>	0	0	0	0	0
<b>K</b>	0	0	0	0	0
<b>L</b>	0	1	0	0	0
<b>M</b>	0	1	0	0	0
<b>N</b>	0	0	1	0	0
<b>Ñ</b>	0	0	1	0	0
<b>O</b>	0	0	0	0	0
<b>P</b>	0	0	0	0	0
<b>Q</b>	0	0	0	0	0
<b>R</b>	0	0	0	0	0
<b>S</b>	0	0	0	0	0
<b>T</b>	0	0	0	0	0
<b>U</b>	0	0	0	1	0
<b>V</b>	0	0	0	1	0
<b>W</b>	0	0	0	0	1
<b>X</b>	0	0	0	0	1
<b>Y</b>	0	0	0	0	1
<b>Oferta</b>	<b>240</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>240</b>
<b>Demanda</b>	<b>155</b>	<b>123</b>	<b>110</b>	<b>127</b>	<b>182</b>
<b>Variacion</b>	<b>85</b>	<b>37</b>	<b>50</b>	<b>33</b>	<b>58</b>
<b>N° Viajes</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Se plantearon variables binarias para analizar de mejor manera la información, así los casilleros que tienen el número 1 muestra que el viaje ha sido programado y cuando muestra 0, no se ha programado. Del mismo modo se muestra el total de demanda por hora de acuerdo a la tabla 6.

Como se puede apreciar en A, B y C se programaron en la hora 1 y su demanda fue de 155 pasajeros mientras que su oferta fue de 240 del mismo modo para el resto de programaciones.

La tabla 10 muestra la programación actual de salidas de unidades en las horas bajas.

**Tabla 10**

*Programación Actual de viajes de la Ruta 1- Horas Bajas.*

<b>Viaje-Hora</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
A	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0
D	1	0	0	0	0	0	0
E	1	0	0	0	0	0	0
F	0	1	0	0	0	0	0
G	0	1	0	0	0	0	0
H	0	0	1	0	0	0	0
I	0	0	1	0	0	0	0
J	0	0	0	1	0	0	0
K	0	0	0	1	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0
Ñ	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	1	0	0
P	0	0	0	0	1	0	0
Q	0	0	0	0	0	1	0
R	0	0	0	0	0	1	0
S	0	0	0	0	0	0	1
T	0	0	0	0	0	0	1
U	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0	0	0
Y	0	0	0	0	0	0	0
<b>Oferta</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>
<b>Demanda</b>	<b>71</b>	<b>72</b>	<b>69</b>	<b>65</b>	<b>62</b>	<b>78</b>	<b>74</b>
<b>Variacion</b>	<b>89</b>	<b>88</b>	<b>91</b>	<b>95</b>	<b>98</b>	<b>82</b>	<b>86</b>
<b>N° viaje</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Fuente: Elaboración Propia.

El cuadro anterior muestra que la oferta ofrecida supera de manera excesiva la demanda en todas las salidas y en todas las horas programadas.

De ese modo la excesiva programación de viajes genera un exceso de oferta, es decir capacidad ociosa lo que impacta indefectiblemente en los costos. Todo lo anteriormente mencionado resulta en desventajas económicas para la entidad en estudio.

En la tabla 11, se muestra los indicadores del sistema actual de programación de la Ruta 1. Para esto se consideraron aspectos como la distancia recorrida diariamente, promedio de combustible por unidad diario, número de salidas, días operativos, periodo de mantenimiento y el precio de combustible.

**Tabla 11**

*Indicadores del Sistema de Transporte Ruta 1*

<b>Indicador</b>	<b>Formula</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Consumo de combustible al mes por unidad	$N^{\circ} \frac{\text{vueltas}}{\text{und}} * 1 \text{ galón} / \text{vuelta}$	207	Galón
Costo de combustible al mes por unidad	$N^{\circ} \frac{\text{galones}}{\text{mes}} * N^{\circ} \text{soles} / \text{galón}$	2278	Soles
Utilización de Unidades Horas Punta	$\frac{\text{Capacidad usada}}{\text{Capacidad ofrecida}}$	73	%
Utilización de Unidades Horas Bajas	$\frac{\text{Capacidad usada}}{\text{Capacidad ofrecida}}$	44	%
Periodo de Mantenimiento	$(30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 5000 \frac{\text{km}}{\text{mant}}) / (\text{und} \frac{\text{km}}{\text{mes}})$	64	Dias
Costo de Mantenimiento Anual	$(360 \text{ días/año}) / (N^{\circ} \text{ días/mantto}) * 250 \text{ soles/mantto}$	1412	Soles

Fuente: Elaboración Propia.

Se detectó que el consumo de combustible mensual por unidad es de 207 galones incurriendo un costo de S/ 2.278,00 soles. Asimismo, que el porcentaje de utilización de capacidad de las unidades es tan solo 73% en horas punta, mientras que en horas bajas es tan solo de 44%. También el periodo frecuencia de mantenimiento es de 64 días lo que genera un costo de S/ 1.412.00 soles anual.

### 3.2. Diseño del modelo de Programación Binaria

A continuación, se detallarán los pasos que se siguieron para lograr la formulación del modelo matemático con los resultados anteriores, los mismos que facilitaron la identificación de los índices, parámetros y variables de decisión del modelo matemático.

- Número de viajes en la ruta 1: 26
- Hora de inicio de la programación  $h_i = 6$
- Hora de finalización de la programación  $h_j = 20$
- Horas punta: 6:00 am, 12:00 pm, 13:00 pm, 19:00 pm, 20:00 pm
- Horas bajas: 8:00 am, 9:00 am, 10:00 am, 11:00 am, 14:00 pm, 15:00 pm, 16:00 pm

Por lo tanto:

#### a) Índices

i: Identifica la programación del viaje

$i = A, B, C \dots Y$

j: Identifica la hora del día.

$j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$

#### b) Parámetros

CP<sub>i</sub>: Capacidad máxima de pasajeros en la salida del ómnibus  $i = 80$

VD: Numero de Vueltas por día: 2

DP: Total días de programación: 6

N: Número de salidas asignados a una ruta específica = 26

### 3.2.1. Variables

$X_{ij}$ : Variable de decisión Binaria

$X_{ij} = 1$ , si la salida del ómnibus  $i$  es asignado en la hora  $j$ ;  $0$ , si la salida del ómnibus  $i$  no es asignada a la hora  $j$ .

### 3.2.2. Función Objetivo

Como el principal problema fue la excesiva programación de viajes de los ómnibus, el objetivo que se deseó alcanzar fue la minimización de la capacidad ociosa de vehículos asignados a la Ruta 1, por lo que queda determinada por:

*Ecuación 1: Función objetivo*

$$\text{Min}(z) = \sum_{i=1}^{26} \sum_{j=1}^{12} (C_{Pi} * X_{ij})$$

*Min (z): Minimizar la capacidad ociosa*

$\forall i = 1, 2, 3, \dots, 26$

$\forall j = 1, 2, \dots, 11, 12$

*$C_{Pi}$ : Capacidad por viaje  $i$*

### 3.2.3. Definición de las restricciones estructurales

#### a) Satisfacción de la demanda(vueltas)

Dado que la demanda del servicio tiene un comportamiento variable durante las diferentes horas del día, se debe establecer restricciones que aseguren ofertar una capacidad de al menos la demanda del servicio por cada hora del servicio, todo ello se conjuga en las siguientes restricciones:

*Ecuación 2: Satisfacción de la demanda*

$$\sum_{1}^{26} X_{ij} \leq Tv_j$$

*Tv<sub>j</sub>: Vueltas del vehiculo en la hora j*

#### b) Restricciones de viajes

El modelo debe buscar un equilibrio en el total de horas de trabajo, donde todos tengan la misma oportunidad. Esto se observa en la siguiente fórmula:

*Ecuación 3: Restricciones de viaje*

$$\sum_{1}^{12} X_{ij} \geq V_j$$

*V<sub>j</sub>: Viaje en la hora j*

### 3.2.4. Definición de restricciones lógicas

Para un modelo de Programación Binaria las restricciones lógicas son:

$$X_{ij} \in \{0, 1\}$$

Existen solo dos resultados, por esa razón solo 0 y 1. En este caso 0 cuando no se programó el viaje del ómnibus y 1 cuando si se programó el viaje.



### 3.2.5. Formulación del nuevo modelo matemático

Por lo tanto, el modelo de Programación Binaria para optimizar la programación de la Ruta 1 queda representado en la siguiente expresión algebraica:

$$\text{Min}(z) = \sum_{i=1}^{26} \sum_{j=1}^{12} (C P_i * X_{ij})$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{26} X_{ij} \leq T v_j$$

$$\sum_{i=1}^{12} X_{ij} \geq V_j$$

$$X_{ij} \in \{0,1\};$$

$$\forall i = 1,2,3, \dots, 26$$

$$\forall j = 1,2, \dots, 11,12$$

Se elaboraron dos modelos, uno para las horas con mayor demanda y el segundo para horas con menor demanda de pasajeros.

- **Modelo para horas con mayor demanda (6am, 12pm, 1pm, 7pm, 8pm)**

MINZ)80XA1+80XA6+80XA7+80XA11+80XA12+80XB1+80XB6+80XB7+80XB11+80XB12+80XC1+80XC6+80XC7+80XC11+80XC12+80XD1+80XD6+80XD7+80XD11+80XD12+80XE1+80XE6+80XE7+80XE11+80XE12+80XF1+80XF6+80XF7+80XF13+80XF14+80XG1+80XG6+80XG7+80XG11+80XG12+80XH1+80XH6+80XH7+80XH13+80XH14+80XI1+80XI6+80XI7+80XI11+80XI12+80XJ1+80XJ6+80XJ7+80XJ11+80XJ12+80XK1+80XK6+80XK7+80XK11+80XK12+80XL1+80XL6+80XL7+80XL11+80XL12+80XM1+80XM6+80XM7+80XM11+80XM12+80XN1+80XN6+80XN7+80XN11+80XN12+80XÑ1+80XÑ6+80XÑ7+80XÑ11+80XÑ12+80XO1+80XO6+80XO7+80XO11+80XO12+80XP1+80XP6+80XP7+80XP11+80XP12+80XQ1+80XQ6+80XQ7+80XQ11+80XQ12+80XR1+80XR6+80XR7+80XR11+80XR12+80XS1+80XS6+80XS7+80XS11+80XS12+80XT1+80XT6+80XT7+80XT11+80XT12+80XU1+80XU6+80XU7+80XU11+80XU12+80XV1+80XV6+80XV7+80XV11+80XV12+80XW1+80XW6+80XW7+80XW11+80XW12+80XX1+80XX6+80XX7+80XX11+80XX12+80XY1+80XY6+80XY7+80XY11+80XY12

**ST**

S1)XA1+XA6+XA7+XA11+XA12<=1  
S2)XB1+XB6+XB7+XB11+XB12<=1  
S3)XC1+XC6+XC7+XC11+XC12<=1  
S4)XD1+XD6+XD7+XD11+XD12<=1  
S5)XE1+XE6+XE7+XE11+XE12<=1  
S6)XF1+XF6+XF7+XF11+XF12<=1  
S7)XG1+XG6+XG7+XG11+XG12<=1  
S8)XH1+XH6+XH7+XH11+XH12<=1  
S9)XI1+XI6+XI7+XI11+XI12<=1  
S10)XJ1+XJ6+XJ7+XJ11+XJ12<=1  
S11)XK1+XK6+XK7+XK11+XK12<=1  
S12)XL1+XL6+XL7+XL11+XL12<=1  
S13)XM1+XM6+XM7+XM11+XM12<=1  
S14)XN1+XN6+XN7+XN11+XN12<=1  
S15)XÑ1+XÑ6+XÑ7+XÑ11+XÑ12<=1  
S16)XO1+XO6+XO7+XO11+XO12<=1  
S17)XP1+XP6+XP7+XP11+XP12<=1  
S18)XQ1+XQ6+XQ7+XQ11+XQ12<=1  
S19)XR1+XR6+XR7+XR11+XR12<=1  
S20)XS1+XS6+XS7+XS11+XS12<=1  
S21)XT1+XT6+XT7+XT11+XT12<=1  
S22)XU1+XU6+XU7+XU11+XU12<=1  
S23)XV1+XV6+XV7+XV11+XV12<=1  
S24)XW1+XW6+XW7+XW11+XW12<=1  
S25)XX1+XX6+XX7+XX11+XX12<=1  
S26)XY1+XY6+XY7+XY11+XY12<=1  
H1)XA1+XB1+XC1>=2  
H6)XL6+XM6>=2  
H7)XN7+XÑ7>=2  
H11)XU11+XV11>=2  
H12)XW12+XX12+XY12>=3  
END  
INT 26

- **Modelo para horas con menor demanda (8am, 9am, 10am, 11am, 2pm, 3pm, 4pm)**

MINZ)80XA2+80XA3+80XA4+80XA5+80XA8+80XA9+80XA10+80XB2+80XB3+80XB4+80XB5+80XB8+80XB9+80XB10+80XC2+80XC3+80XC4+80XC5+80XC8+80XC9+80XC10+80XD2+80XD3+80XD4+80XD5+80XD8+80XD9+80XD10+80XE2+80XE3+80XE4+80XE5+80XE8+80XE9+80XE10+80XF2+80XF3+80XF4+80XF5+80XF8+80XF9+80XF10+80XG2+80XG3+80XG4+80XG5+80XG8+80XG9+80XG10+80XH2+80XH3+80XH4+80XH5+80XH8+80XH9+80XH10+80XI2+80XI3+80XI4+80XI5+80XI8+80XI9+80XI10+80XJ2+80XJ3+80XJ4+80XJ5+80XJ8+80XJ9+80XJ10+80XK2+80XK3+80XK4+80XK5+80XK8+80XK9+80XK10+80XL2+80XL3+80XL4+80XL5+80XL8+80XL9+80XL10+80XM2+80XM3+80XM4+80XM5+80XM8+80XM9+80XM10+80XN2+80XN3+80XN4+80XN5+80XN8+80XN9+80XN10+80XÑ2+80XÑ3+80XÑ4+80XÑ5+80XÑ8+80XÑ9+80XÑ10+80XO2+80XO3+80XO4+80XO5+80XO8+80XO9+80XO10+80XP2+80XP3+80XP4+80XP5+80XP8+80XP9+80XP10+80XQ2+80XQ3+80XQ4+80XQ5+80XQ8+80XQ9+80XQ10+80XR2+80XR3+80XR4+80XR5+80XR8+80XR9+80XR10+80XS2+80XS3+80XS4+80XS5+80XS8+80XS9+80XS10+80XT2+80XT3+80XT4+80XT5+80XT8+80XT9+80XT10+80XU2+80XU3+80XU4+80XU5+80XU8+80XU9+80XU10+80XV2+80XV3+80XV4+80XV5+80XV8+80XV9+80XV10+80XV11+80XV12+80XW2+80XW3+80XW4+80XW5+80XW8+80XW9+80XW10+80XX2+80XX3+80XX4+80XX5+80XX8+80XX9+80XX10+80XY2+80XY3+80XY4+80XY5+80XY8+80XY9+80XY10

**ST**

- S1)XA2+XA3+XA4+XA5+XA8+XA9+XA10<=1  
 S2)XB2+XB3+XB4+XB5+XB8+XB9+XB10<=1  
 S3)XC2+XC3+XC4+XC5+XC8+XC9+XC10<=1  
 S4)XD2+XD3+XD4+XD5+XD8+XD9+XD10<=1  
 S5)XE2+XE3+XE4+XE5+XE8+XE9+XE10<=1  
 S6)XF2+XF3+XF4+XF5+XF8+XF9+XF10<=1  
 S7)XG2+XG3+XG4+XG5+XG8+XG9+XG10<=1  
 S8)XH2+XH3+XH4+XH5+XH8+XH9+XH10<=1  
 S9)XI2+XI3+XI4+XI5+XI8+XI9+XI10<=1  
 S10)XJ2+XJ3+XJ4+XJ5+XJ8+XJ9+XJ10<=1  
 S11)XK2+XK3+XK4+XK5+XK8+XK9+XK10<=1  
 S12)XL2+XL3+XL4+XL5+XL8+XL9+XL10<=1  
 S13)XM2+XM3+XM4+XM5+XM8+XM9+XM10<=1  
 S14)XN2+XN3+XN4+XN5+XN8+XN9+XN10<=1  
 S15)XÑ2+XÑ3+XÑ4+XÑ5+XÑ8+XÑ9+XÑ10<=1  
 S16)XO2+XO3+XO4+XO5+XO8+XO9+XO10<=1  
 S17)XP2+XP3+XP4+XP5+XP8+XP9+XP10<=1  
 S18)XQ2+XQ3+XQ4+XQ5+XQ8+XQ9+XQ10<=1  
 S19)XR2+XR3+XR4+XR5+XR8+XR9+XR10<=1  
 S20)XS2+XS3+XS4+XS5+XS8+XS9+XS10<=1  
 S21)XT2+XT3+XT4+XT5+XT8+XT9+XT10<=1  
 S22)XU2+XU3+XU4+XU5+XU8+XU9+XU10<=1  
 S23)XV2+XV3+XV4+XV5+XV8+XV9+XV10<=1  
 S24)XW2+XW3+XW4+XW5+XW8+XW9+XW10<=1  
 S25)XX2+XX3+XX4+XX5+XX8+XX9+XX10<=1  
 S26)XY2+XY3+XY4+XY5+XY8+XY9+XY10<=1  
 H2)XD2+XE2>=1  
 H3)XF3+XG3>=1  
 H4)XH4+XI4>=1

H5)XJ5+XK5>=1  
H8)XO8+XP8>=1  
H9)XQ9+XR9>=1  
H10)XS10+XT10>=1  
END  
INT 26

### 3.2.6. Uso del Programa Lindo 6.1

Mediante la corrida en el software Lindo 6.1 se obtuvieron los valores de programación binaria (0-1) se minimizó la capacidad ociosa de esa manera se optimizo la programación de viajes de la ruta 1.

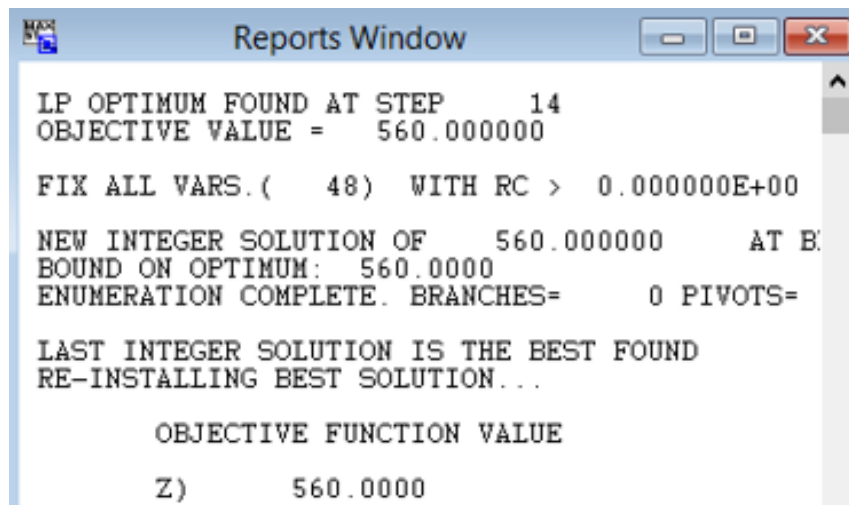
En la figura 3 se puede apreciar el reporte de Lindo 6.1 en horas con mayor demanda:

```
MAX  
Reports Window  
LP OPTIMUM FOUND AT STEP 19  
OBJECTIVE VALUE = 880.000000  
FIX ALL VARS.( 49) WITH RC > 0.000000E+00  
NEW INTEGER SOLUTION OF 880.000000 AT BRA  
BOUND ON OPTIMUM: 880.0000  
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS=  
LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND  
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...  
OBJECTIVE FUNCTION VALUE  
Z) 880.0000
```

Figura 3: Resultado Lindo horas con mayor demanda. Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura anterior la capacidad ociosa disminuyó a 880 personas. (ver resultado completo anexo 4).

En la figura 4 se puede apreciar el reporte tras la corrida en el software Lindo 6.1:



```
MAX  
Reports Window  
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      14  
OBJECTIVE VALUE =    560.000000  
  
FIX ALL VARS. (   48)  WITH RC >  0.000000E+00  
  
NEW INTEGER SOLUTION OF    560.000000      AT B  
BOUND ON OPTIMUM:    560.0000  
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES=      0 PIVOTS=  
  
LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND  
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...  
  
OBJECTIVE FUNCTION VALUE  
  
Z)      560.0000
```

*Figura 4:* Resultado Lindo horas con menor demanda. Elaboración propia

Como se aprecia en la figura 4 la capacidad ociosa en horas con menor demanda disminuyo a 560 pasajeros (*ver resultado completo anexo 5*).

En la siguiente tabla se detalló la nueva programación de viajes de la ruta 1 del transporte terrestre de pasajeros de la UNC:

**Tabla 12**

*Modelo de Programación Binaria Propuesto para la Ruta 1*

<b>Viaje / Hora</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>A</b>	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>B</b>	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>C</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>D</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>E</b>	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>F</b>	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>G</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>H</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>I</b>	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>J</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>K</b>	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>L</b>	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0
<b>M</b>	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0
<b>Ñ</b>	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0
<b>O</b>	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0
<b>P</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Q</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0
<b>R</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>S</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0
<b>T</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>U</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0
<b>V</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0
<b>W</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<b>X</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<b>Y</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<b>Oferta</b>	<b>160</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>240</b>
<b>Demanda</b>	<b>155</b>	<b>71</b>	<b>72</b>	<b>69</b>	<b>65</b>	<b>123</b>	<b>110</b>	<b>62</b>	<b>78</b>	<b>74</b>	<b>127</b>	<b>182</b>
<b>Variación</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>37</b>	<b>50</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>33</b>	<b>58</b>
<b>N° viaje</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior las casillas con el numero 1 indicó que se programó el viaje a una hora respectiva y 0 indicó que no se programó. En la nueva programación se disminuyó la cantidad de programaciones de viajes por hora.

Por lo tanto, se minimizó la capacidad ociosa, no obstante, se consideró que por ser vehículos de gran capacidad esto no pueden fraccionarse ya que la capacidad de la unidad es de 80 personas. Además, a través del modelo la capacidad ociosa disminuyó a 1440 pasajeros por día.

### 3.2.7. Evaluación de indicadores

La evaluación de indicadores consistió en comparar y ver en qué medida estos mejoraron respecto al escenario inicial de la programación de la Ruta 1. En la siguiente tabla se muestra el comparativo de los indicadores.

**Tabla 13**

*Indicadores después de propuesta*

<b>Indicador</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>
Consumo de combustible por unidad	207 gal/mes	155 gal /mes
Costo de combustible por unidad	2278 soles/mes	1708 soles/ mes
Utilización de Unidades Horas Punta	73%	82%
Utilización de Unidades Horas Bajas	44%	84%
Periodo de Mantenimiento	64 días	85 días
Costo de Mantenimiento Anual	1412 soles/año	1058 soles/año

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior con la minimización de la capacidad ociosa de los ómnibus se mejoró cada uno de los indicadores. En cuanto al consumo de combustible con la nueva programación se ahorró 52 galones al mes por unidad, esto en términos económicos serían 573 soles de ahorro. Lo mismo sucede al alargar el tiempo de mantenimiento de las unidades ya que se dejaría de gastar 354 soles al año por unidad. En términos de utilización de las unidades se intentó nivelar la oferta y demanda lo cual produjo un incremento de la capacidad utilizada en 9% y 40% en horas altas y bajas respectivamente.

En resumen, el impacto que generó el modelo matemático fue positivo, se evitó hacer gastos innecesarios pues solo se utilizó la cantidad de vehículos necesarios para la demanda existente actualmente.



### **3.2.8. Análisis Beneficio / Costo**

Para realizar el análisis beneficio / costo, se especificarán datos puntuales los cuales servirán para hablar de una implementación, esta a su vez se refiere a los gastos administrativos, los gastos de personal, otros gastos e indicadores.

En la siguiente tabla se detalla los gastos que se consideraron.

**Tabla 14**

*Inversión en activos tangibles*

<b>Tipo de Gasto</b>	<b>Descripción de Gasto</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Subtotal</b>	<b>Monto</b>
	Papel A4	4	Millar	S/.9.00	S/.36.00	
	Tintas	15	Unidad	S/.10.00	S/.150.00	
	Lapiceros	3	Caja	S/.22.00	S/.66.00	
	Plumones	24	Unidad	S/.2.30	S/.55.20	
	Archivador					
	Cartón					
Útiles de Escritorio	Oficio. AZ-75 con Caja Negro	12	Unidad	S/.4.70	S/.56.40	<b>S/.433.60</b>
	Usb	1	Unidad	S/.22.00	S/.22.00	
	Perforador 10H Escolar Metal U10	1	Unidad	S/.10.00	S/.10.00	
	Cuter	1	Unidad	S/.18.00	S/.18.00	
	Engrapador 22H M-515 - Azu	2	Unidad	S/.10.00	S/.20.00	
	Laptop	1	Unidad	S/.2,800.00	S/.2,800.00	
	Impresora	1	Unidad	S/.580.00	S/.580.00	
Equipos de oficina	Escritorio	1	Unidad	S/.17.90	S/.17.90	
	Proyector Portatil	1	Unidad	S/.800.00	S/.800.00	<b>S/.4,243.30</b>
	Cartuchos	1	Unidad	S/.37.90	S/.37.90	
	File Manila	1	Pack	S/.7.50	S/.7.50	
	Escoba	2	Unidad	S/.6.00	S/.12.00	
	Trapo	5	Unidad	S/.3.50	S/.17.50	
Materiales de Implementación	Cajas	4	Unidad	S/.10.00	S/.40.00	<b>S/.439.50</b>
	Sillas	12	Unidad	S/.30.00	S/.360.00	
	Recogedor	2	Unidad	S/.5.00	S/.10.00	
Equipos de Implementación	Reloj digital	1	Unidad	S/.150.00	S/.150.00	
	Cuaderno de Apuntes	5	Unidad	S/.2.50	S/.12.50	<b>S/.162.50</b>
<b>Total</b>						<b>S/.5,278.90</b>

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 14 se muestran los costos en los que se incurrirá al invertir en los activos tangibles; refiriéndonos en la primera parte, a los útiles de escritorio, los cuales serán estrictamente necesarios para realizar la simulación del modelo matemático, la segunda parte menciona los equipos de oficina y en la última parte los equipos para inspección, los cuales son estrictamente necesarios para la programación de la Ruta 1.

Además de los costos es necesario considerar los beneficios de ejecutar la propuesta de mejora en este caso la implementación del modelo de programación binaria, por ello se consideró como beneficios los ahorros que se generaron con la implementación del modelo.

**Tabla 15**

*Ingresos por nuevo modelo de Programación de salida de ómnibus*

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Ahorro en Combustible Anual	S/ 20,520.00	Soles	S/ 20,520.00
Ahorro en Mantenimiento Anual	S/ 1,062.00	Soles	S/ 1,062.00
<b>Total</b>			S/ 21,582.00

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 15 se puede apreciar los ahorros anuales que se tienen por concepto de combustible y mantenimiento.

Posteriormente se realizó el análisis costo beneficio de la implementación del modelo.

**Tabla 16**

*Consolidado Costo / Beneficio*

<b>COSTOS</b>		<b>BENEFICIOS</b>	
<b>Descripción de Costo</b>	<b>Total</b>	<b>Descripción de Beneficio</b>	<b>Total</b>
Útiles de Escritorio	S/ 433.60	Ahorro en Combustible	S/ 20,520.00
Equipos de oficina	S/ 4,243.30	Ahorro en Mantenimiento	S/ 1,062.00
Materiales de Implementación	S/ 439.50		
Equipos de Implementación	S/ 162.50		
<b>Total</b>	<b>S/5,278.90</b>	<b>Total</b>	<b>S/ 21,582.00</b>

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla anterior se puede apreciar los costos y beneficios anuales, así la decisión de factibilidad de la implementación quedó expresada de la siguiente manera:

*Ecuación 4: Cálculo Beneficio / Costo*

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios Totales}}{\text{Costos Totales}}$$

**Tabla 17**

*Relación Beneficio / Costo*

<b>B/C</b>	<b>4</b>
------------	----------

Fuente: Elaboración Propia.

La relación de los Beneficios totales de la propuesta de mejora en comparación de los costos totales incurridos es de 4, esto indicó que el modelo de programación binaria genera un beneficio, ya que es necesario que los costos sean menores para que el proyecto sea factible.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

El nuevo modelo optimizó la programación de la ruta 1, disminuyendo significativamente los costos en los que incurría. En general, a través de la programación se pudo obtener resultados alentadores, esto concuerda con lo expuesto por (Taha, 2012) que la investigación de operaciones es aplicable como una herramienta de gran importancia para tomar decisiones en situaciones cotidianas. De ese modo, la aplicación de la programación binaria en el presente estudio logró minimizar la programación de viajes en la Ruta 1 de la UNC. De igual modo el modelo de programación binaria planteado en el estudio de (*Paredes & Tirado, 2016*) en una empresa de transporte público, optimizan la programación de salida de vehículos, con la diferencia que estos vehículos son de menor capacidad y su asignación es mucho mejor a la obtenida en este estudio.

Si bien es cierto que los cambios más impactantes se dieron en lo referente a las programaciones de viajes, también es de vital importancia ver los cambios que se generaron en los costos operativos. Estos son muy importantes gestionarlos, pues un mal manejo los incrementaría sustancialmente, en este caso su impacto sería mayor, puesto que es una institución sin fines de lucro (Ruiz, Lucero, & Vargas, 2016). Es así que el modelo de programación binaria permitió que los costos por combustible incurridos disminuyeran en S/ 570.00 soles por unidad al mes, esto es S/ 6,840.00 soles anual. Del mismo modo, S/1,062.00 es la disminución en el costo de mantenimiento de los ómnibus anualmente. Estos costos son significativos al igual que los encontrados por (*Paredes & Tirado, 2016*) donde la disminución del costo de combustible por unidad fue de S/ 912.00, no obstante, este último es mayor debido a la distancia de recorrido y el tipo de vehículo.

Además de ver mejoras en costes, no deja de ser indispensable los pasajeros pues finalmente el hecho de tener un sistema de transporte exclusivo, necesariamente se refiere a que gran parte de la población de estudiantes y personal administrativo deberá hacer uso del servicio, de ese modo el modelo matemático tomo restricciones que consideran la demanda de pasajeros, así como la oferta y los relacionó de tal forma que toda la capacidad del bus sea utilizada y no exista capacidad ociosa. Así los resultados fueron de 82% en horas con mayor demanda y 84% en horas con menor demanda, estos significo mejoras en 9% y 40% respectivamente. Estos resultados son menores a los obtenidos en la investigación de (Paredes & Tirado, 2016) 96% y 92%, en horas altas y bajas respectivamente, esto es por el tipo de vehículo, ya que la capacidad del vehículo fue de 30 pasajeros. Aun así, las mejoras fueron notables.

El uso de software Lindo 6.1 permitió obtener un resultado inmediato del modelo planteado, al minimizar la programación de viajes se obtuvo todos los beneficios económicos para la entidad estudiada. De Igual modo en el estudio de (Paredes & Tirado, 2016) usan Lindo 6.1 para optimizar la programación de la Línea 57 empresa de transporte Urbano. Así la programación binaria se convirtió en una herramienta fundamental en la solución del problema del sistema de transporte de pasajeros de la UNC.

## 4.2. Conclusiones

El diagnóstico de la programación del sistema actual de la entidad permitió determinar que existía una incorrecta programación de viajes pues estas eran excesivas ya que había mucha capacidad ociosa.

El diseño del modelo de programación binaria para optimizar la programación de viajes de ómnibus de la ruta 1, consistió en identificar las variables, determinar función objetivo, minimizar la capacidad ociosa, definir las restricciones y finalmente formular el modelo de programación binaria

La comparación de los resultados con la propuesta de mejora de la programación de salidas de vehículos permitió identificar la disminución de los costes de combustible, mantenimiento y el aumento del porcentaje de utilización del vehículo.

El análisis Costo/Beneficio de la propuesta de optimización de la programación de la ruta 1 del transporte de pasajeros de la UNC obtuvo un B/C de 4, indicó que la implementación del modelo si genera un beneficio.

## REFERENCIAS

- Arreola, J., & Arreola, A. (2003). *Programación lineal: Una introducción a la toma de decisiones*. Thomson.
- Astete, R. (2011). Metodología para mejora el proceso de asignación de tráfico de una red de transporte. Universidad Nacional de Ingeniería.
- BBC. (10 de Febrero de 2017). *BBC*. Obtenido de BBC: [bbc.com](http://bbc.com)
- Bitmakers. (S.f). Obtenido de Empresa de Optimización Logística - Bitmakers: <https://www.bitmakers.com/Gestion/Gestion-de-Rutas.html>
- Borjas, G. (2013). Análisis, diseño e implementación de un sistema de información para la administración de horarios y rutas en empresas de transporte público. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Canales, P. (2004). *Redes de Transporte Urbano: Un Algoritmo para estimar una matriz de demanda de viaje*.
- Caudillo, J. (2011). Estudio comparativo de la aplicación heurística al problema de ruteo de vehículos. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Flechas, A. (2006). *Movilidad y Transporte: un enfoque territorial*. Bogotá: Sección Académica de Vías y Transporte. Sección académica de Vías y Transporte.
- Giugale, M., Fretes, V., & Newman, J. (2006). Peru La oportunidad de un país diferente. *Banco Mundial*, 857.
- Hernández, R. (2000). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Mc Graw Hill.



- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2008). *IDAE*. Obtenido de [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10232\\_Guia\\_gestion\\_combustible\\_flotas\\_carretera\\_06\\_32bad0b7.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf)
- Instituto Tecnológico de Informática. (2017). *Routing Maps*. Obtenido de <https://www.routingmaps.com/iti-participa-la-jornada-hoja-ruta-la-optimizacion-del-transporte-junto-adl-logistica/>
- Kong, M. (2010). *Investigación de operaciones: programación lineal. Problemas de transporte*. Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- La República. (2019). *La República*. Obtenido de <https://larepublica.pe/economia/2019/07/10/repsol-petroperu-precio-de-combustibles-subieron-en-35-por-galon-alerto-opecu/>
- Mathur, K., & Solow, D. (1996). *Investigación de Operaciones*. Prentice Hall.
- Mauttone, A. (2005). *Optimización de Recorridos y Frecuencias en Sistemas de Transporte Público Urbano Colectivo*. Universidad de la República de Uruguay.
- Molinero, A., & Sánchez, L. (1997). *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Moore, J. &. (1998). *Investigación de Operaciones en la ciencia administrativa*. Prentice Hall.
- Moore, J., & Weatherford, L. (1998). *Investigación de Operaciones en la ciencia administrativa*. Prentice Hall.
- Murillo, E. (2006). *Modelo de programación binaria para optimizar la programación de autobuses en una ruta de transporte urbano de pasajeros en Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Olivera, A. (2004). *Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos*. Montevideo: Universidad de la República. Universidad de la República de Uruguay.

Paredes Tapia, A. C., & Tirado Centurion, R. E. (2016). Impacto de un Modelo de Programacion Binaria para Optimizar la Programacion de linea 57 empresa de Transporte Terrestre y Servicios Multiples Jesrusalen SRL en la ciudad de Cajamarca. *Universidad Privada del Norte*, 150.

Paredes, A., & Tirado, R. (2016). “Impacto de un modelo de programación binaria para optimizar la programación de la línea 57 empresa de transporte y servicios múltiples Jerusalén S.R.L. Universidad Privada del Norte.

Render, B., & Heizer, J. (2001). *Dirección de la producción y operaciones*. Saddle Rive.

Serra, D. (2002). *Métodos Cuantitativos para la toma de decisiones*.

Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones Novena ed.* Pearson.

Thierauf, R. (1993). *Toma de Decisiones por medio de la Investigación de Operaciones*.  
Limusa.

Thomson, I., & Bull, A. (2002). *La congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales*. Revista de la Cepal.

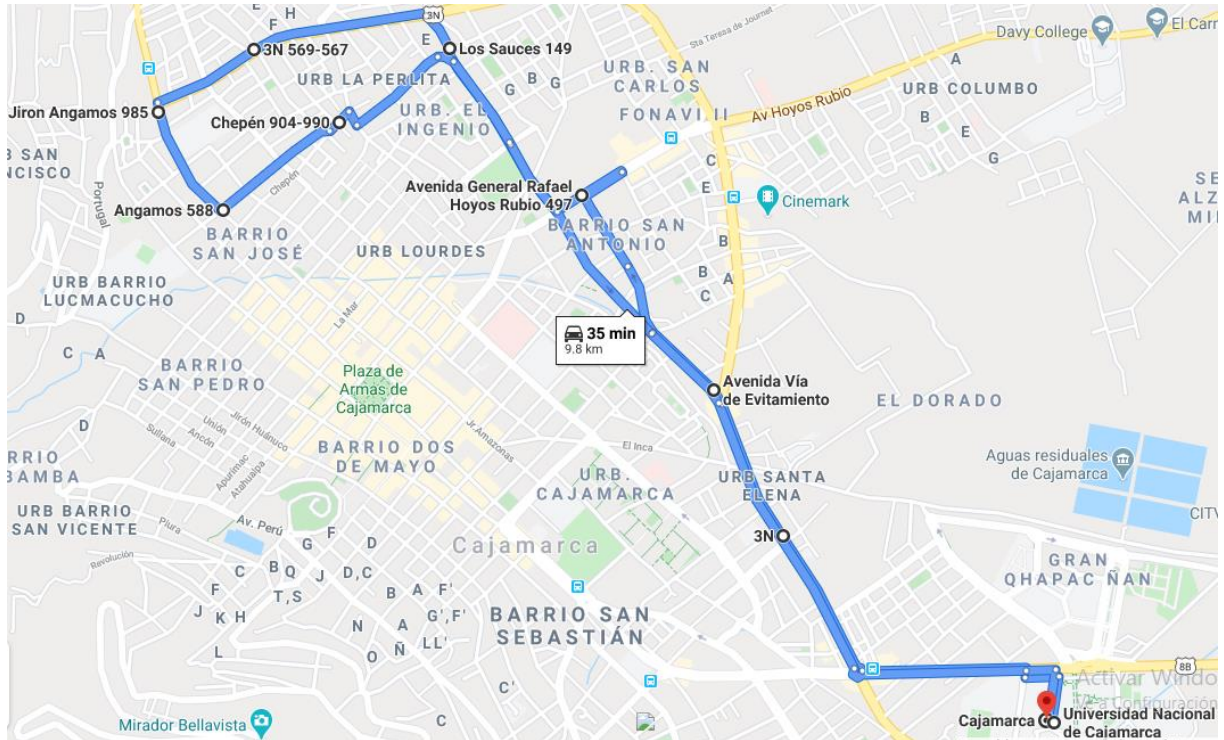
UNC. (2017). *Universidad Nacional de Cajamarca*. Obtenido de <http://www.unc.edu.pe/>

Varela, J. (1982). *Introducción a la investigación de operaciones*. Fondo Educativo Interamericano.

Winston, W. (1994). *Investigación de Operaciones*. Iberoamérica.

## ANEXOS

### Anexo 1: Ruta 1 – Ciudad Universitaria UNC – Fonavi I



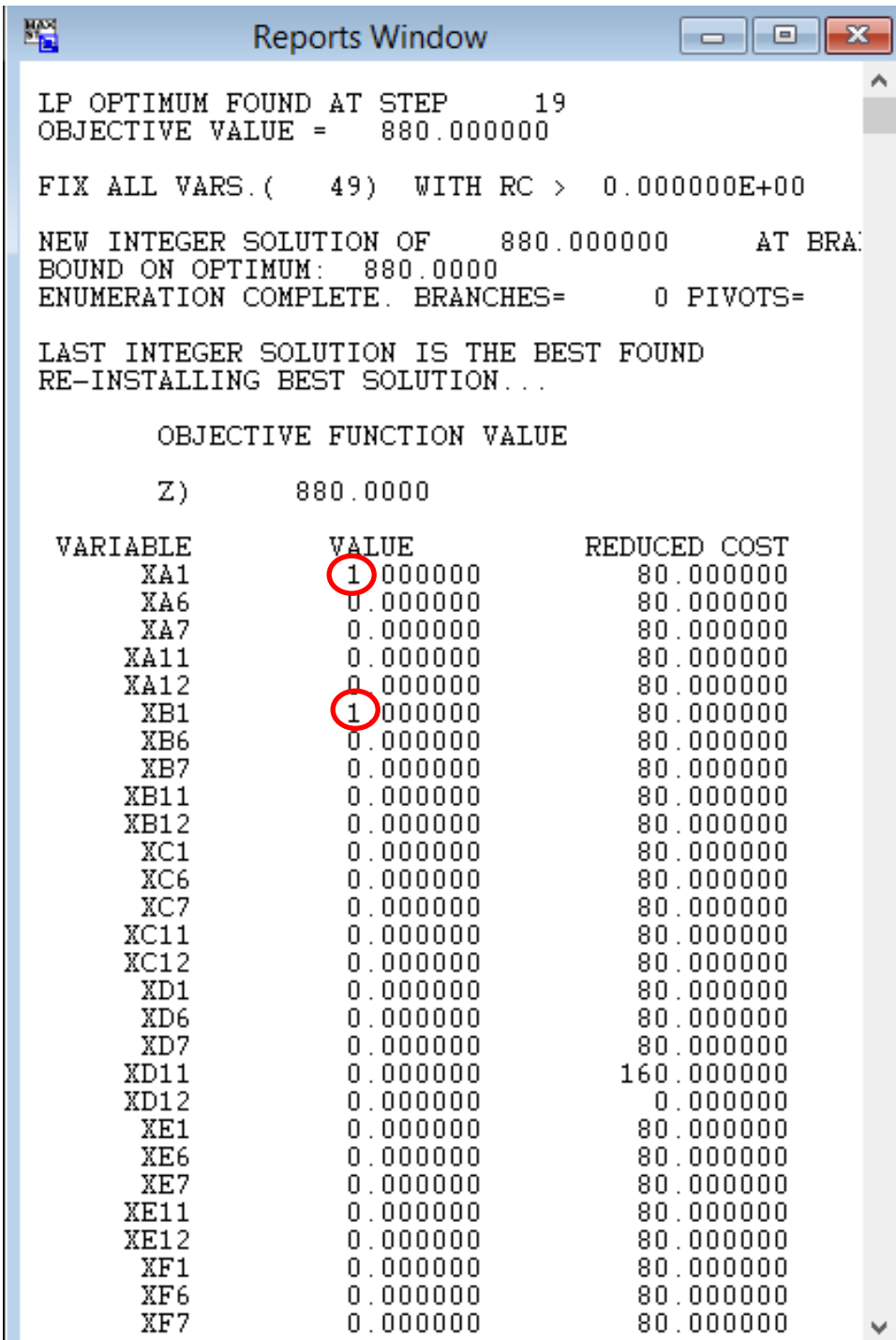
**Anexo 2: Demanda de Pasajeros en Ruta 1 – Horas Altas**

Hora	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Total	
	E	PA	E	PA	E	PA	E	PA	E	PA	E	PA	E	PA
<b>06:00-07:00</b>	133	8	193	11	140	8	139	8	121	7	149	9	<b>875</b>	<b>51</b>
<b>08:00-09:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>09:00-10:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>10:00-11:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>11:00-12:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>12:00-13:00</b>	103	6	131	8	101	7	111	7	135	8	111	7	<b>692</b>	<b>43</b>
<b>13:00-14:00</b>	122	7	115	7	89	6	103	6	112	7	79	5	<b>620</b>	<b>38</b>
<b>14:00-15:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>15:00-16:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>16:00-17:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>19:00-20:00</b>	118	7	110	7	133	6	102	6	133	8	124	8	<b>720</b>	<b>42</b>
<b>20:00-21:00</b>	138	8	177	11	166	11	191	11	196	12	159	10	<b>1027</b>	<b>63</b>
Total	<b>614</b>	<b>36</b>	<b>726</b>	<b>44</b>	<b>629</b>	<b>38</b>	<b>646</b>	<b>38</b>	<b>697</b>	<b>42</b>	<b>622</b>	<b>39</b>	<b>3934</b>	<b>237</b>
X	<b>123</b>	<b>7</b>	<b>145</b>	<b>9</b>	<b>126</b>	<b>8</b>	<b>129</b>	<b>8</b>	<b>139</b>	<b>8</b>	<b>124</b>	<b>8</b>	<b>787</b>	<b>47</b>

**Anexo 3:** Demanda de Pasajeros en Ruta 1 – Horas Bajas

Hora	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Total	
	E	PA	E	PA	E	PA	E	PA	E	PA	E	PA	E	PA
06:00-07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00-09:00	72	5	56	4	70	4	55	4	75	5	70	4	398	26
09:00-10:00	60	4	80	5	59	4	70	4	73	5	64	4	406	26
10:00-11:00	53	3	68	4	62	4	70	4	80	5	55	4	388	24
11:00-12:00	67	4	59	4	61	4	43	3	71	5	63	4	364	24
12:00-13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00-14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00-15:00	53	3	52	3	57	4	72	5	49	3	63	4	346	22
15:00-16:00	53	3	78	5	78	5	94	6	69	4	69	4	441	27
16:00-17:00	69	4	70	5	58	4	68	4	78	5	72	5	415	27
19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00-21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>427</b>	<b>26</b>	<b>463</b>	<b>30</b>	<b>445</b>	<b>29</b>	<b>472</b>	<b>30</b>	<b>495</b>	<b>32</b>	<b>456</b>	<b>29</b>	<b>2758</b>	<b>176</b>
<b>X</b>	<b>61</b>	<b>4</b>	<b>66</b>	<b>4</b>	<b>64</b>	<b>4</b>	<b>67</b>	<b>4</b>	<b>71</b>	<b>5</b>	<b>65</b>	<b>4</b>	<b>394</b>	<b>25</b>

**Anexo 4:** Resultado modelo matemático Horas punta– Software Lindo 6.1



LP OPTIMUM FOUND AT STEP 19  
 OBJECTIVE VALUE = 880.000000  
 FIX ALL VARS. ( 49) WITH RC > 0.000000E+00  
 NEW INTEGER SOLUTION OF 880.000000 AT BRA...  
 BOUND ON OPTIMUM: 880.0000  
 ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS=  
 LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND  
 RE-INSTALLING BEST SOLUTION...  
 OBJECTIVE FUNCTION VALUE  
 Z) 880.0000

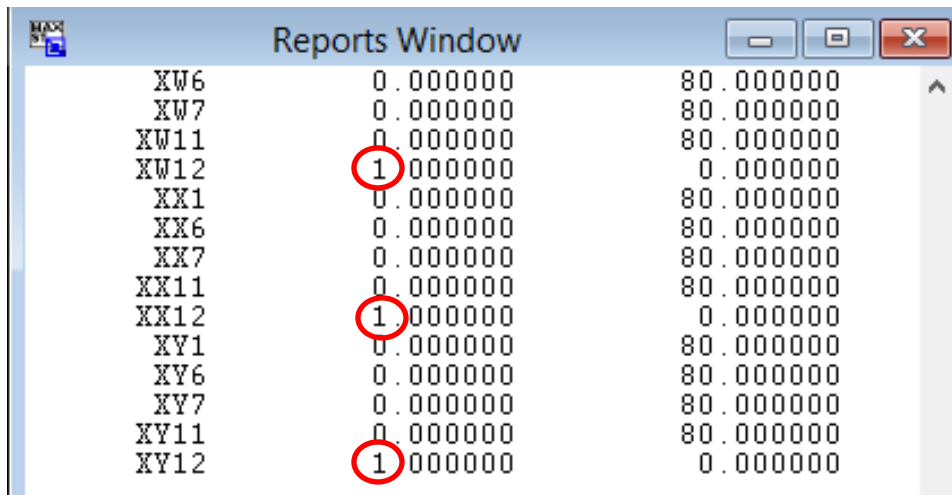
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XA1	1.000000	80.000000
XA6	0.000000	80.000000
XA7	0.000000	80.000000
XA11	0.000000	80.000000
XA12	0.000000	80.000000
XB1	1.000000	80.000000
XB6	0.000000	80.000000
XB7	0.000000	80.000000
XB11	0.000000	80.000000
XB12	0.000000	80.000000
XC1	0.000000	80.000000
XC6	0.000000	80.000000
XC7	0.000000	80.000000
XC11	0.000000	80.000000
XC12	0.000000	80.000000
XD1	0.000000	80.000000
XD6	0.000000	80.000000
XD7	0.000000	80.000000
XD11	0.000000	160.000000
XD12	0.000000	0.000000
XE1	0.000000	80.000000
XE6	0.000000	80.000000
XE7	0.000000	80.000000
XE11	0.000000	80.000000
XE12	0.000000	80.000000
XF1	0.000000	80.000000
XF6	0.000000	80.000000
XF7	0.000000	80.000000

XF11	0.000000	0.000000
XF12	0.000000	0.000000
XG1	0.000000	80.000000
XG6	0.000000	80.000000
XG7	0.000000	80.000000
XG11	0.000000	80.000000
XG12	0.000000	80.000000
XH1	0.000000	80.000000
XH6	0.000000	80.000000
XH7	0.000000	80.000000
XH11	0.000000	0.000000
XH12	0.000000	0.000000
XI1	0.000000	80.000000
XI6	0.000000	80.000000
XI7	0.000000	80.000000
XI11	0.000000	80.000000
XI12	0.000000	80.000000
XJ1	0.000000	80.000000
XJ6	0.000000	80.000000
XJ7	0.000000	80.000000
XJ11	0.000000	80.000000
XJ12	0.000000	80.000000
XF13	0.000000	80.000000
XF14	0.000000	80.000000
XH13	0.000000	80.000000
XH14	0.000000	80.000000
XK1	0.000000	80.000000
XK6	0.000000	80.000000
XK7	0.000000	80.000000
XK11	0.000000	80.000000
XK12	0.000000	80.000000
XL1	0.000000	80.000000
XL6	1.000000	0.000000
XL7	0.000000	80.000000
XL11	0.000000	80.000000
XL12	0.000000	80.000000
XM1	0.000000	80.000000
XM6	1.000000	0.000000
XM7	0.000000	80.000000
XM11	0.000000	80.000000
XM12	0.000000	80.000000
XN1	0.000000	80.000000
XN6	0.000000	80.000000
XN7	1.000000	0.000000
XN11	0.000000	80.000000
XN12	0.000000	80.000000

MAX  
Reports Window

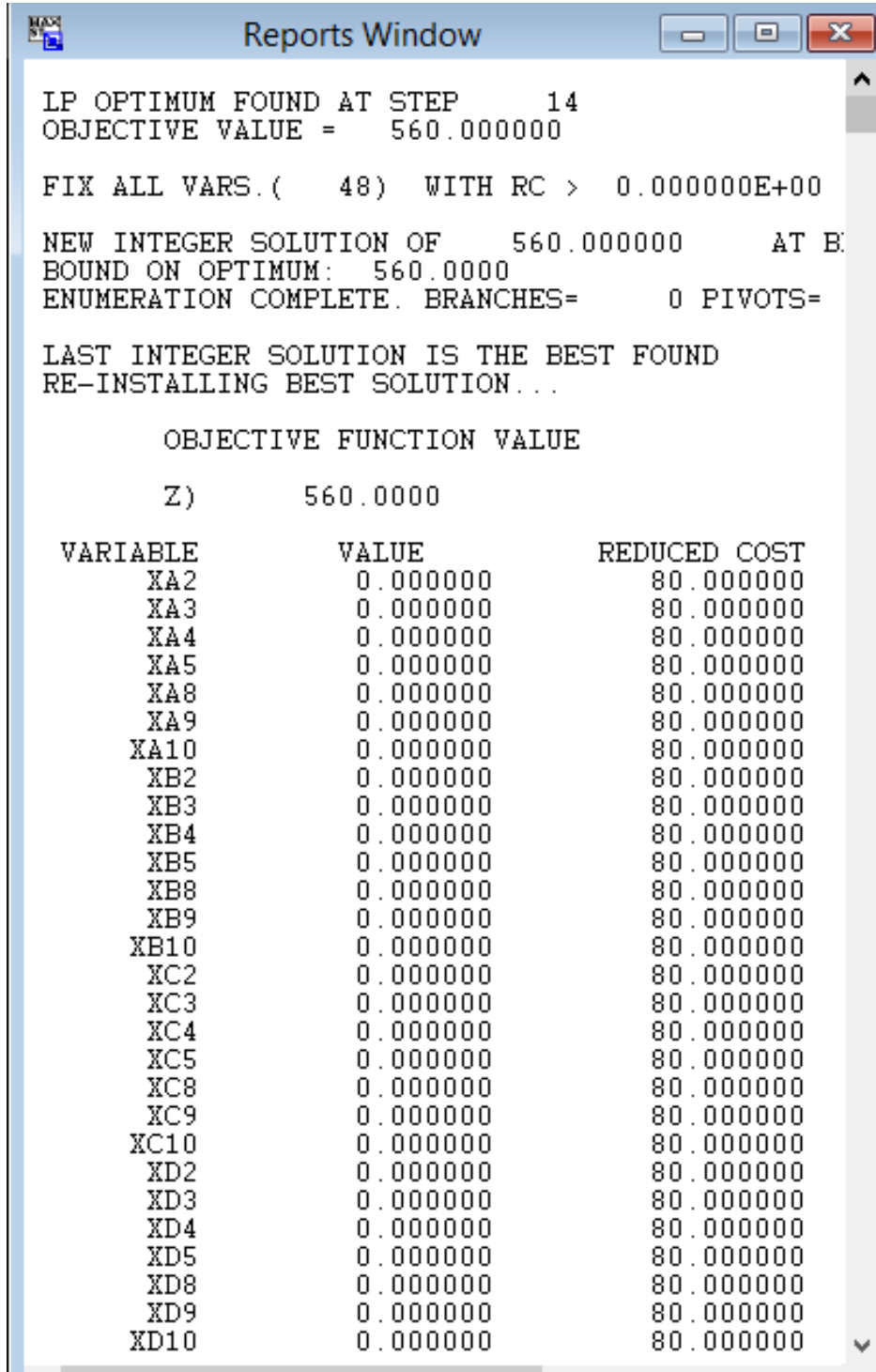
XN1	0.000000	80.000000
XN6	0.000000	80.000000
XN7	1.000000	0.000000
XN11	0.000000	80.000000
XN12	0.000000	80.000000
XO1	0.000000	80.000000
XO6	0.000000	80.000000
XO7	0.000000	80.000000
XO11	0.000000	80.000000
XO12	0.000000	80.000000
XP1	0.000000	80.000000
XP6	0.000000	80.000000
XP7	0.000000	80.000000
XP11	0.000000	80.000000
XP12	0.000000	80.000000
XQ1	0.000000	80.000000
XQ6	0.000000	80.000000
XQ7	0.000000	80.000000
XQ11	0.000000	80.000000
XQ12	0.000000	80.000000
XR1	0.000000	80.000000
XR6	0.000000	80.000000
XR7	0.000000	80.000000
XR11	0.000000	80.000000
XR12	0.000000	80.000000
XS1	0.000000	80.000000
XS6	0.000000	80.000000
XS7	0.000000	80.000000
XS11	0.000000	80.000000
XS12	0.000000	80.000000
XT1	0.000000	80.000000
XT6	0.000000	80.000000
XT7	0.000000	80.000000
XT11	0.000000	80.000000
XT12	0.000000	80.000000
XU1	0.000000	80.000000
XU6	0.000000	80.000000
XU7	0.000000	80.000000
XU11	1.000000	0.000000
XU12	0.000000	80.000000
XV1	0.000000	80.000000
XV6	0.000000	80.000000
XV7	0.000000	80.000000
XV11	1.000000	0.000000
XV12	0.000000	80.000000
XW1	0.000000	80.000000





Variable	Value 1	Value 2
XW6	0.000000	80.000000
XW7	0.000000	80.000000
XW11	0.000000	80.000000
XW12	1.000000	0.000000
XX1	0.000000	80.000000
XX6	0.000000	80.000000
XX7	0.000000	80.000000
XX11	0.000000	80.000000
XX12	1.000000	0.000000
XY1	0.000000	80.000000
XY6	0.000000	80.000000
XY7	0.000000	80.000000
XY11	0.000000	80.000000
XY12	1.000000	0.000000

**Anexo 5:** Resultado modelo matemático Horas con menor demanda– Software Lindo 6.1



```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 14
OBJECTIVE VALUE = 560.000000

FIX ALL VARS. ( 48) WITH RC > 0.000000E+00

NEW INTEGER SOLUTION OF 560.000000 AT B...
BOUND ON OPTIMUM: 560.0000
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS=

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

Z) 560.0000

VARIABLE VALUE REDUCED COST
XA2 0.000000 80.000000
XA3 0.000000 80.000000
XA4 0.000000 80.000000
XA5 0.000000 80.000000
XA8 0.000000 80.000000
XA9 0.000000 80.000000
XA10 0.000000 80.000000
XB2 0.000000 80.000000
XB3 0.000000 80.000000
XB4 0.000000 80.000000
XB5 0.000000 80.000000
XB8 0.000000 80.000000
XB9 0.000000 80.000000
XB10 0.000000 80.000000
XC2 0.000000 80.000000
XC3 0.000000 80.000000
XC4 0.000000 80.000000
XC5 0.000000 80.000000
XC8 0.000000 80.000000
XC9 0.000000 80.000000
XC10 0.000000 80.000000
XD2 0.000000 80.000000
XD3 0.000000 80.000000
XD4 0.000000 80.000000
XD5 0.000000 80.000000
XD8 0.000000 80.000000
XD9 0.000000 80.000000
XD10 0.000000 80.000000
  
```

Reports Window

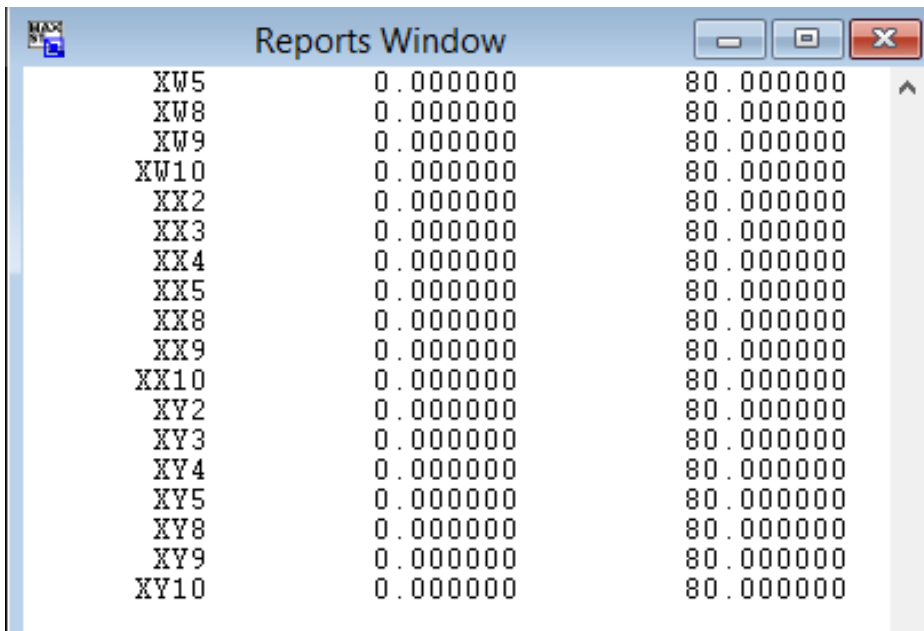
XE2	1	0.000000	80.000000
XE3	0	0.000000	80.000000
XE4	0	0.000000	80.000000
XE5	0	0.000000	80.000000
XE8	0	0.000000	80.000000
XE9	0	0.000000	80.000000
XE10	0	0.000000	80.000000
XF2	0	0.000000	80.000000
XF3	1	0.000000	80.000000
XF4	0	0.000000	80.000000
XF5	0	0.000000	80.000000
XF8	0	0.000000	80.000000
XF9	0	0.000000	80.000000
XF10	0	0.000000	80.000000
XG2	0	0.000000	80.000000
XG3	0	0.000000	80.000000
XG4	0	0.000000	80.000000
XG5	0	0.000000	80.000000
XG8	0	0.000000	80.000000
XG9	0	0.000000	80.000000
XG10	0	0.000000	80.000000
XH2	0	0.000000	80.000000
XH3	0	0.000000	80.000000
XH4	0	0.000000	0.000000
XH5	0	0.000000	80.000000
XH8	0	0.000000	80.000000
XH9	0	0.000000	80.000000
XH10	0	0.000000	80.000000
XI2	0	0.000000	80.000000
XI3	0	0.000000	80.000000
XI4	1	0.000000	0.000000
XI5	0	0.000000	80.000000
XI8	0	0.000000	80.000000
XI9	0	0.000000	80.000000
XI10	0	0.000000	80.000000
XJ2	0	0.000000	80.000000
XJ3	0	0.000000	80.000000
XJ4	0	0.000000	80.000000
XJ5	0	0.000000	0.000000
XJ8	0	0.000000	80.000000
XJ9	0	0.000000	80.000000
XJ10	0	0.000000	80.000000
XK2	0	0.000000	80.000000
XK3	0	0.000000	80.000000
XK4	0	0.000000	80.000000
XK5	1	0.000000	0.000000

MAX  
Reports Window

XK8	0.000000	80.000000
XK9	0.000000	80.000000
XK10	0.000000	80.000000
XL2	0.000000	80.000000
XL3	0.000000	80.000000
XL4	0.000000	80.000000
XL5	0.000000	80.000000
XL8	0.000000	80.000000
XL9	0.000000	80.000000
XL10	0.000000	80.000000
XM2	0.000000	80.000000
XM3	0.000000	80.000000
XM4	0.000000	80.000000
XM5	0.000000	80.000000
XM8	0.000000	80.000000
XM9	0.000000	80.000000
XM10	0.000000	80.000000
XN2	0.000000	80.000000
XN3	0.000000	80.000000
XN4	0.000000	80.000000
XN5	0.000000	80.000000
XN8	0.000000	80.000000
XN9	0.000000	80.000000
XN10	0.000000	80.000000
XÑ2	0.000000	80.000000
XÑ3	0.000000	80.000000
XÑ4	0.000000	80.000000
XÑ5	0.000000	80.000000
XÑ8	0.000000	80.000000
XÑ9	0.000000	80.000000
XÑ10	0.000000	80.000000
XO2	0.000000	80.000000
XO3	0.000000	80.000000
XO4	0.000000	80.000000
XO5	0.000000	80.000000
XO8	1.000000	0.000000
XO9	0.000000	80.000000
XO10	0.000000	80.000000
XP2	0.000000	80.000000
XP3	0.000000	80.000000
XP4	0.000000	80.000000
XP5	0.000000	80.000000
XP8	0.000000	0.000000
XP9	0.000000	80.000000
XP10	0.000000	80.000000
XQ2	0.000000	80.000000

Reports Window

XQ3	0.000000	80.000000
XQ4	0.000000	80.000000
XQ5	0.000000	80.000000
XQ8	0.000000	80.000000
XQ9	1.000000	0.000000
XQ10	0.000000	80.000000
XR2	0.000000	80.000000
XR3	0.000000	80.000000
XR4	0.000000	80.000000
XR5	0.000000	80.000000
XR8	0.000000	80.000000
XR9	0.000000	0.000000
XR10	0.000000	80.000000
XS2	0.000000	80.000000
XS3	0.000000	80.000000
XS4	0.000000	80.000000
XS5	0.000000	80.000000
XS8	0.000000	80.000000
XS9	0.000000	80.000000
XS10	1.000000	0.000000
XT2	0.000000	80.000000
XT3	0.000000	80.000000
XT4	0.000000	80.000000
XT5	0.000000	80.000000
XT8	0.000000	80.000000
XT9	0.000000	80.000000
XT10	0.000000	0.000000
XU2	0.000000	80.000000
XU3	0.000000	80.000000
XU4	0.000000	80.000000
XU5	0.000000	80.000000
XU8	0.000000	80.000000
XU9	0.000000	80.000000
XU10	0.000000	80.000000
XV2	0.000000	80.000000
XV3	0.000000	80.000000
XV4	0.000000	80.000000
XV5	0.000000	80.000000
XV8	0.000000	80.000000
XV9	0.000000	80.000000
XV10	0.000000	80.000000
XV11	0.000000	80.000000
XV12	0.000000	80.000000
XW2	0.000000	80.000000
XW3	0.000000	80.000000
XW4	0.000000	80.000000



The screenshot shows a window titled "Reports Window" with a standard Windows interface (minimize, maximize, close buttons). The window contains a list of variables and their corresponding values, arranged in three columns. The variables listed are XW5, XW8, XW9, XW10, XX2, XX3, XX4, XX5, XX8, XX9, XX10, XY2, XY3, XY4, XY5, XY8, XY9, and XY10. Each variable has a value of 0.000000 in the second column and 80.000000 in the third column. A vertical scrollbar is visible on the right side of the list.

XW5	0.000000	80.000000
XW8	0.000000	80.000000
XW9	0.000000	80.000000
XW10	0.000000	80.000000
XX2	0.000000	80.000000
XX3	0.000000	80.000000
XX4	0.000000	80.000000
XX5	0.000000	80.000000
XX8	0.000000	80.000000
XX9	0.000000	80.000000
XX10	0.000000	80.000000
XY2	0.000000	80.000000
XY3	0.000000	80.000000
XY4	0.000000	80.000000
XY5	0.000000	80.000000
XY8	0.000000	80.000000
XY9	0.000000	80.000000
XY10	0.000000	80.000000