

“CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE ENTREGA Y RECOLECCIÓN DE EQUIPOS DE AUDIOVISUALES, COMO UN PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS, Y, LA IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y PARÁMETROS EXISTENTES EN EL MISMO, PARA REALIZAR UNA APROXIMACIÓN A UN MODELO PROGRAMACIÓN LINEAL QUE PERMITA SU SOLUCIÓN”

**LUIS FERNANDO HERNÁNDEZ ROMÁN
TATIANA ÁLVAREZ PENICHE**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARTAGENA, 2008**

CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE ENTREGA Y RECOLECCIÓN DE EQUIPOS DE AUDIOVISUALES, COMO UN PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS, Y, LA IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y PARÁMETROS EXISTENTES EN EL MISMO, PARA REALIZAR UNA APROXIMACIÓN A UN MODELO PROGRAMACIÓN LINEAL QUE PERMITA SU SOLUCIÓN

**LUIS FERNANDO HERNÁNDEZ ROMÁN
TATIANA ÁLVAREZ PENICHE**

Minor en logística y productividad

**DIRECTOR DE LA MONOGRAFIA:
MSc. Luis Ignacio Morales Eckardt**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARTAGENA, 2008**

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente y antes que nada a Dios por estar con nosotros en cada paso de nuestro periodo de estudio e iluminarnos, permitiendo este logro en nuestras vidas y darnos la oportunidad de realizarnos profesionalmente.

A nuestros padres por brindarnos la posibilidad de formarnos profesionalmente, porque si no hubiera sido por el esfuerzo de ellos nuestros estudios no hubieran sido posibles.

A nuestras familias, amigos y a cada una de las personas que han vivido con nosotros la realización de este proyecto, con sus altos y bajos, les agradecemos por habernos brindado todo el apoyo, colaboración y ánimo y sobretodo cariño y amistad.

A nuestro Director del proyecto, Luis Ignacio Morales, quien a pesar de otras muchas ocupaciones y dificultades se comprometió y trabajo intensamente para sacar este proyecto adelante, además por guiarnos y apoyarnos durante el desarrollo de cada una de las etapa de ésta monografía.

Por último, a la Universidad Tecnológica de Bolívar por proporcionarnos la excelente formación académica, la cual a hecho posible alcanzar nuestros metas y culminar este ciclo que es el principio de una nueva etapa en nuestras vidas.

¡Muchas gracias a todos!

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena, Octubre 15 de 2008

AUTORIZACIÓN

Yo, **TATIANA MARGARITA ÁLVAREZ PENICHE**, identificada con Cedula de Ciudadanía numero 25.773.844 de Montería, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, hacer buen uso de mi Trabajo de Grado (Monografía) y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca de la Universidad.

TATIANA MARGARITA ÁLVAREZ PENICHE

Cartagena, Octubre 15 de 2008

AUTORIZACIÓN

Yo, **LUÍS FERNANDO HERNÁNDEZ ROMÁN**, identificado con Cedula de Ciudadanía numero 1.047.371.657 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, hacer buen uso de mi Trabajo de Grado (Monografía) y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca de la Universidad.

LUÍS FERNANDO HERNÁNDEZ ROMÁN

Cartagena de Indias D.T. y C., Octubre 15 de 2008

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Universidad Tecnológica de Bolívar

Programa de Ingeniería Industrial

La Ciudad

Respetados Señores:

Por medio de la presente nos permitimos presentarles a ustedes para su estudio y aprobación la monografía titulada: **“CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE ENTREGA Y RECOLECCIÓN DE EQUIPOS DE AUDIOVISUALES, COMO UN PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS, Y, LA IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y PARÁMETROS EXISTENTES EN EL MISMO, PARA REALIZAR UNA APROXIMACIÓN A UN MODELO PROGRAMACIÓN LINEAL QUE PERMITA SU SOLUCIÓN”** como requisito para obtener el título profesional en Ingeniería Industrial.

Agradeciendo la atención prestada.

Cordialmente,

TATIANA M. ÁLVAREZ PENICHE

LUIS F. HERNÁNDEZ ROMÁN

Cartagena de Indias D.T. y C., Octubre 10 de 2008

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Universidad Tecnológica de Bolívar

Programa de Ingeniería Industrial

La Ciudad

En mi calidad de Director de la monografía titulada: “**CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE ENTREGA Y RECOLECCIÓN DE EQUIPOS DE AUDIOVISUALES, COMO UN PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS, Y, LA IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y PARÁMETROS EXISTENTES EN EL MISMO, PARA REALIZAR UNA APROXIMACIÓN A UN MODELO PROGRAMACIÓN LINEAL QUE PERMITA SU SOLUCIÓN**”, elaborada por Tatiana Álvarez Peniche y Luis Fernando Hernández Román, manifiesto que he participado en la orientación del desarrollo de la misma en todas sus etapas y por consiguiente estoy totalmente de acuerdo con los resultados obtenidos.

Cordialmente,

LUIS IGNACIO MORALES ECKARDT

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL:.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	20
3. JUSTIFICACION	22
4. MARCO TEORICO	26
4.1 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO (TSP)	27
4.2 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS (VRP)	27
4.3 RUTEO DE VEHÍCULOS CON VENTANA DE TIEMPO (VRPTW).....	28
4.4 PROBLEMA DE RUTAS VEHÍCULOS CON CAPACIDAD (CVRP).....	29
4.5 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON CAPACIDAD Y VENTANAS DE TIEMPO (CVRPTW)	30
4.6 PROBLEMA RECOLECCIÓN Y ENTREGA CON VENTANA DE TIEMPO (PDPTW).....	30
4.7 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON ENTREGA Y RECOLECCIÓN (VRPPD) 31	
4.8 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULO PERIÓDICO (PVRP)	31
4.9 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULO PERIÓDICO CON VENTANA DE TIEMPO (PVRPTW)	32
4.10 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON MÚLTIPLES DEPÓSITOS (MDVRP) ...	32
4.11 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON MÚLTIPLES DEPÓSITOS Y CON VENTANA DE TIEMPO (MDVRPTW)	33
4.12 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON DEMANDA COMPARTIDA (SDVRP)...	33
4.13 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON DEMANDA COMPARTIDA Y CON VENTANA DE TIEMPO (SDVRPTW).	34
4.14 DIAL A RIDE PROBLEM (DARP).	35

5. MARCO CONCEPTUAL	36
5.1 LOGÍSTICA.....	36
5.2 RUTEO DE VEHÍCULOS.....	37
5.3 SERVICIO.....	38
5.4 INGENIERÍA DE SERVICIO.....	39
5.5 SERVICIO AL CLIENTE.....	41
5.6 NIVELES DE SERVICIO.....	41
5.7 PROGRAMACIÓN LINEAL.....	42
6. ACTIVIDAD DE ENTREGA Y RECOLECCION DE EQUIPOS AUDIOVISUALES	44
6.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD DE ENTREGA Y RECOLECCIÓN DE EQUIPOS AUDIOVISUALES	46
7. COMPARACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE RUTEO DE VEHICULOS EXISTENTES CON LA SITUACION OBJETO DE ESTUDIO.....	48
7.1 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO	48
7.2 EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS PRESENTES EN LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO Y LOS PROBLEMAS DE RUTEO DE VEHÍCULOS CONOCIDOS.....	53
7.3 TABLA DE COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO, CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PROBLEMAS DE RUTEO DE VEHÍCULOS ESTUDIADOS EN LA REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	57
8. PROPUESTA DE MODELO DE PROGRAMACION LINEAL PARA LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO.....	61
8.1 ANALISIS DE LA REALIDAD DE LA ACTIVIDAD ENTREGA Y RECOLECCIÓN DE EQUIPOS AUDIOVISUALES, Y PLANTEAMIENTO DE LOS SUPUESTOS PARA EL MODELO DE P.L.E. PROPUESTO.....	61
8.2 TABLA DE COMPARACIÓN DE LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO (S.O.E) RESTRINGIDA, CON LOS PROBLEMAS QUE MÁS ASEMEJARON EN LA ANTERIOR COMPARACION.....	67
8.3 CARACTERÍSTICAS DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.....	69

8.4	INDICES A EMPLEAR EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.....	70
8.5	TIPO DE VARIABLES A UTILIZAR EN LA PROPUESTA DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.....	71
8.6	PARÁMETROS DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL.....	72
8.6.1	<i>Nivel de Servicio de la Actividad de Entrega y Recolección de Equipos Audiovisuales.</i> 73	
8.6.2	<i>Definicion de la ventana de tiempo.....</i>	93
8.6.3	<i>Otros Parámetros.....</i>	94
8.7	CRITERIO DE LA FUNCIÓN OBJETIVO PARA LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO DENTRO DE LA PROPUESTA DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.....	95
8.8	RESTRICCIONES DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL.....	96
	CONCLUSIONES.....	98
	RECOMENDACIONES.....	101
	BIBLIOGRAFIA.....	102
	CIBERGRAFIA.....	104
	ANEXOS.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de la actividad de Asignación y Entrega de Equipos de Apoyo Académico.	18
Figura 2: Representación Gráfica del VRP	37
Figura 3. Triangulo de servicio	40
Figura 4. Horario de clases actual.	62
Figura 5. Periodos de clases dentro de la jornada.....	63
Figura 6. Ventana de Tiempo pequeña dentro de un periodo.....	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla de comparación de las características de la Situación Objeto de Estudio, con las características de los Problemas de Ruteo de Vehículos estudiados en la revisión de la literatura.....	59
Tabla 2. Ejemplo de Tipos de equipos y existencia de los mismos.....	65
Tabla 3. Comparación de la S.O.E. restringida con los problemas más parecidos del ruteo de vehículos.....	68
Tabla 4. Tabla de Población.....	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Encuesta sobre el nivel de satisfacción del servicio de Recolección y Entrega de material de apoyo para clases.....	104
ANEXO B. Modelo Matemático del TSP.....	106
ANEXO C. Modelo Matemático del VRP.....	107
ANEXO D. Modelo Matemático del VRPTW.....	108
ANEXO E. Modelo Matemático del CVRP.....	109
ANEXO F. Modelo Matemático del PDPTW.....	111
ANEXO G. Modelo Matemático del DARP.....	113
ANEXO H. Cálculo del porcentaje de las características semejantes de la Situación Objeto de Estudio Versus los problemas de ruteo de vehículos estudiados.	115
ANEXO I. Cálculo del porcentaje de las características semejantes de la Situación Objeto de Estudio, después de los supuestos, Versus los problemas de ruteo de vehículos que más se asemejan a la S.O.E.....	116

INTRODUCCIÓN

La revisión de la historia de la humanidad muestra que una característica común de las grandes civilizaciones es el alto desarrollo de la actividad comercial a través de la utilización de vehículos de diversas naturalezas y de la implementación de caminos o rutas por donde estos transitaban, rutas estas que eran y son cuidadas celosamente por quienes las utilizan, dada la importancia estratégica que ellas representan.

Por esta razón, los seres humanos hemos procurado, desde tiempos inmemoriales la búsqueda y el desarrollo de nuevos caminos por donde se pueda hacer llegar, los frutos de la actividad productiva propia, a otras comunidades que las necesiten.

El trabajo presentado a continuación, describe la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales en una institución educativa, mostrando los elementos que la identifican como un problema de Ruteo de Vehículos, y propone las pautas y características que se deben tener en cuenta al momento de construir un Modelo de Programación Lineal Entera, que permita dar solución a la situación objeto de estudio planteada.

También se compara la situación objeto de estudio, con los problemas de ruteo de vehículos que se encontraron, en la revisión que se realizó de la literatura especializada sobre el tema, para así identificar las semejanzas existentes y de esta forma encontrar la técnica de solución más apropiada.

Finalmente, se realizó una aproximación a un modelo de programación lineal, partiendo de las características de la misma actividad, definiendo posibles índices, variables, parámetros y restricciones que permitan buscar una posible solución de la situación objeto de estudio.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La entrega y recolección de materiales, elementos o productos, por parte de un servidor, o vehículo, es un conjunto de actividades que se realizan en múltiples contextos o sistemas productivos, cada uno de los cuales varía en cuanto a la complejidad y la magnitud del mismo.

Algunas de las situaciones más comunes, las vemos en el Servicio de Diálisis Domiciliar, realizado por las Entidades Promotoras de Salud (EPS), en la que el vehículo, parte del depósito (hospital), visita a los clientes (pacientes) que necesitan el servicio, y, al finalizar el recorrido, se devuelve al depósito. Otro caso sería el alquiler de lavadoras a domicilio, en la que el vehículo sale de la bodega y se dirige a entregar las lavadoras requeridas por los clientes y luego, cuando estas ya son desocupadas, las recogen para luego ser entregadas a otro clientes o en su defecto ser llevadas al depósito.

Las instituciones educativas serian otro lugar de aplicación en el tema de entrega y recolección de productos, ya que los clientes (estudiantes y personal docente) solicitan estos para apoyar el desarrollo de las clases, conferencias, charlas, etc. Al finalizar la clase, el producto es recogido por el vehículo y entregado en otro lugar donde se necesite, o en su defecto es retornado a la Bodega, para ser almacenado hasta que vuelva a ser solicitado.

En este caso concreto, hablamos de la labor que realiza el personal del Departamento de Recursos Académicos de la Universidad Tecnológica de Bolívar, o Servicios Audiovisuales como es llamado en otras instituciones educativas; dicha área funcional se encarga de proveer el servicio de suministro de los equipos de apoyo a las clases, tales como proyectores (Videobeams), proyectores de acetatos, papelografos, computadores etc.

Una universidad por lo general posee varias unidades de un mismo tipo de equipo de apoyo, aun así, no es posible lograr la satisfacción total de la demanda de éstos, debido a que casi siempre la cantidad de ellos es menor a la cantidad solicitada, esto se explica por el elevado costo que tienen los mismos, por lo que generalmente, se asignan los equipos de acuerdo al orden en que se solicitan a lo largo de la jornada, intentando así, cumplir con la mayor demanda posible. Es importante aclarar que esta situación (asignación de equipos o recursos) no constituye nuestro problema de estudio y se asumirá que ha sido resuelto previamente.

Una vez que los equipos o recursos han sido asignados, es necesario realizar la planeación de la entrega de los mismos en las fechas, horarios y lugares establecidos por el cliente.

El siguiente flujograma ilustra toda la actividad y el tema de estudio. Esta actividad comienza cuando los diferentes clientes (demanda), solicitan al departamento de audiovisuales los diferentes equipos de apoyo para las clases, luego el departamento mira el inventario disponible para ver si pueden cumplir la demanda en el horario deseado por el cliente; una vez realizado lo anterior, en caso que no haya disponibilidad se le niega la solicitud, en caso contrario, se procede a la programación y ruteo de la entrega y recolección que vendría siendo el problema de estudio que se va a describir y caracterizar.



Figura 1. Flujograma de la actividad de Asignación y Entrega de Equipos de Apoyo Académico.

El problema objeto de estudio de esta monografía se centra en describir cada una de las características de la actividad de entrega y recolección de los equipos audiovisuales a las distintas aulas que demandan estos equipos; definiéndolo así como un problema de ruteo de vehículos existentes.

La programación de entrega y recolección de los materiales para apoyo de las clases puede ser una actividad compleja. Dicha actividad consiste en llevar, instalar, desinstalar y recoger los equipos en los diferentes salones, salas de conferencia, etc., realizando para esto un recorrido o ruta a la cual se le asigna un vehículo encargado de esa labor, cumpliendo así con la asignación ya establecida de equipos a lo largo del día.

Es un problema debido que al programar inadecuadamente esta actividad, el vehículo hace desplazamientos y recorridos por rutas que impidan entregar y recoger cada equipo en su destino en el instante de tiempo requerido (ventana de tiempo), ocasionando que los clientes no se encuentren satisfechos con el servicio prestado ya que impiden que las clases se impartan en el tiempo estipulado.

Al describir esta actividad y denotar cada una de sus características, servirá para buscar la mejor alternativa al momento de realizar la programación y ruteo de cada uno de los movimientos que deba realizar el vehículo a la hora de hacer la entrega y recolección de los equipos audiovisuales.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL:

Analizar y caracterizar el proceso de entrega y recolección de equipos audiovisuales, comparándolo con los problemas similares de ruteo de vehículos, para identificar factores, variables y parámetros que faciliten la escogencia de una herramienta para la solución de este problema.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Documentar el método actual en que se realiza la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales, con objeto de poder identificar sus características y las variables que inciden en el proceso.
- Comparar la situación objeto de estudio con los diferentes problemas de ruteo de vehículos existentes, para poder clasificarlo dentro de los problemas conocidos e identificar las técnicas que podrían permitir su solución.
- Identificar a través de las características del problema, variables y parámetros, que permitan en futuros trabajos la implementación de la(s) técnicas que permitan su solución.
- Determinar el nivel de servicio del proceso de entrega y recolección de materiales de apoyo prestado por la universidad, mediante la realización de encuestas a los usuarios, con objeto de establecer el grado de satisfacción de los mismos con el servicio obtenido.

- Establecer la ventana de tiempo ideal al inicio de cada una de las jornadas de clases, mediante la realización de encuestas a los alumnos y profesores de la Universidad, para lograr que los vehículos atiendan la demanda, entregando o recogiendo los materiales de apoyo, en el instante de tiempo indicado.

3. JUSTIFICACION

La actividad de entrega y recolección de materiales de apoyo implica un proceso de ruteo, en donde los vehículos (personas) trasladan los equipos a los distintos salones de clases, recorriendo trayectos de tal manera que el material de apoyo llegue a su destino en el momento deseado por los clientes.

Esta actividad al ser catalogada como un problema de ruteo de vehículos, debe ser programada adecuadamente, puesto que al no ser así el vehículo haría desplazamientos y recorridos innecesarios por rutas que impidan entregar y recoger cada equipo a su destino en el instante de tiempo requerido (ventana de tiempo), ocasionando que las clases no se impartan en el tiempo estipulado para ello y los clientes se encuentren insatisfechos con el servicio prestado.

Por ende, una característica de esta programación es minimizar la distancia y/o el tiempo que esto demande, por rutas previamente establecidas, por donde el vehículo logre cumplir con esta característica propia de la situación objeto de estudio.

La revisión de la literatura muestra que los problemas de ruteo de vehículos son altamente complejos, de tal manera que es muy difícil la obtención de una solución óptima.

Los problemas de ruteo de vehículos que son resueltos por medio de herramientas de programación lineal, son de naturaleza Np-Hard, es decir que “se resuelven en tiempo no polinomial, lo cual significa que el tiempo que necesita para resolverse crece exponencialmente según el tamaño de los datos del problema”¹.

¹ Recuperado el 29 de julio de 2008 de la dirección web:
<https://listas.inf.utfsm.cl/pipermail/linux/attachments/20040604/f98629c0/attachment.bin>

La situación objeto de estudio de esta Monografía, no es algo puntual o singular de la sociedad humana, dado que se ha logrado detectar variedad de casos o situaciones de la vida diaria que guardan similitudes con la misma, por lo que su estudio, comprensión, análisis y búsqueda de soluciones es importante en vista que se lograrían mejores niveles de bienestar para el ser humano.

Algunas de estas situaciones, similares a la situación objeto de estudio, se encuentran en las empresas prestadoras de servicios a domicilio, por ejemplo los siguientes: los servicio de diálisis, el alquiler de lavadoras, el alquiler de películas, entidades prestadoras de salud, el mantenimiento de electrodomésticos, etc.

Estos casos se presentan en la cotidianidad, en situaciones donde la actividad realizada implica la programación de las tareas que el vehículo tiene que efectuar a lo largo del día, para cumplir con los requerimientos de entrega a los distintos clientes.

Las entidades prestadoras de salud que ofrecen el servicio de diálisis a domicilio, la cual debe ser realizada con frecuencia para limpiar de toxinas el flujo sanguíneo de sus clientes, busca que el paciente llegue algún día a acomodar el tratamiento a su vida y no que su vida se acomode al tratamiento.

Estas tienen que tener en cuenta que los enfermos sometidos al tratamiento de diálisis no llevan una vida muy fácil, puesto que esta enfermedad les obliga a acudir al hospital prácticamente a diario, es por eso que las entidades prestadoras de salud les han ofrecido a sus clientes (pacientes) un servicio más agradable, brindándoles el tratamiento desde sus propios hogares.

El transporte del equipo de diálisis a los pacientes tiene que brindarse teniendo en cuenta los horarios estipulados para cada uno de los clientes, porque al no ser así se pone en riesgo la vida de cada uno de ellos; por esta razón, las ambulancias en

las cuales se transportan estos equipos tienen que cumplir con el tiempo en que son programadas cada una de las citas a cada uno de los pacientes en el día correspondiente, para así cumplir con los requerimientos impuestos y lograr satisfacer a cada uno de ellos.

Un estudio realizado en Galicia (esta región Española es la segunda comunidad en el país con el mayor uso del servicio de diálisis a domicilio, sólo superado por el denominado país Vasco), España, por la “Asociación para la Lucha contra las Enfermedades Renales (ALCER)”, muestra que: “...*Alrededor de 250, de los 1.400 pacientes renales que necesitan someterse a diálisis, es decir el 17,85% de todos los enfermos, optan por recibir el tratamiento en su propio domicilio. Esta cifra sitúa a la comunidad muy por encima de la media española, donde solamente el 9% de los pacientes de diálisis recibe tratamiento domiciliario...*”²

Este estudio demuestra la preferencia de los pacientes por la diálisis a domicilio, debido a que esta contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de los mismos, por la comodidad que le brinda paciente al no tener que trasladarse a los hospitales, permitiéndoles poco a poco adaptarse al tratamiento; es por esto, que es importante ofrecer un servicio en el cual los clientes se encuentren identificados con él, de modo que al mejorar el tiempo de entrega y recolección de la unidad de diálisis, se lograría minimizar los riesgos que pueden tener los pacientes al no suministrarles el tratamiento en el tiempo correspondiente y minimizaría los costos de las entidades prestadoras del servicio, permitiéndoles atender más pacientes en el día.

Es importante darse cuenta que la diálisis a domicilio ha adquirido un gran auge en la sociedad, en la medida que los pacientes ven la necesidad que les ofrezcan este servicio desde sus hogares. El incremento en la demanda, trae consigo

²Recuperado el día 8 de julio de 2008 de la dirección web: <http://www.galiciadigital.net/images/noticias2/nota.php?id=2086>

consecuencias a los encargados de administrar y suministrar este tratamiento, en cuanto que, al a ver más clientes interesados en la asistencia de este servicio, las entidades prestadoras de salud tienen que programar las rutas por donde la unidad de diálisis realizará su recorrido, de tal manera que logre visitar a cada uno de sus pacientes en el tiempo requerido, sin atentar con la su vida y satisfaciendo sus necesidades.

En el caso de nuestro país, varias entidades prestan el servicio de diálisis a los Colombianos enfermos de sus riñones, como lo son: la Fundación “Fresenius Colombia-Fresenius Medical Care”, los beneficiarios y afiliados del Subsistema de Salud de las Fuerzas Militares Colombianas, Salud Suramericana, etc. Las cuales se preocupan de ofrecerle un mejor nivel de vida a cada uno de sus pacientes.

Una vez sintetizadas las situaciones planteadas anteriormente, se puede concluir que es importante dar por definido y describir cada una de las características de la situación objeto de estudio, como una aplicación dentro los problemas de ruteo de vehículos, visto que esta puede brindar un mejor desarrollo de la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales, donde cada cliente que solicite el servicio se encuentre satisfecho y además obtendrá beneficios en la reducción de los costos, dado que estos disminuirían debido a una mejora programación de las rutas donde los vehículos realicen su entrega en el menor tiempo y al mejor costo.

4. MARCO TEORICO

Es relevante tener en cuenta los conceptos en que se fundamentará el desarrollo de este proyecto, con información clara y precisa a través de los conocimientos adquiridos en el transcurso de nuestra formación.

El ruteo de vehículos, como el “*Pick-up*” and “*Delivery Problem*”, son problemas logísticos que se han venido trabajando desde hace ya mucho tiempo; las personas que han hablado y tratado este tema, han logrado resolverlos de diversas maneras y de acuerdo a las características de cada uno de ellos, sujetos a dos bases, como lo son el TSP (en español, problema del agente viajero) y VRP (en español, problema de ruteo de vehículos). El problema del agente viajero, es el más sencillo de ellos y de ahí existen otras variantes con similares características además de otras que hacen que ellos sean aún más complejos.

A partir del problema del agente viajero, se han encontrado variantes, entre ellos están el VRP (problema de ruteo de vehículos) que puede ser otra generalidad, es decir, otro problema base debido que a partir de él existen, a su vez, otras variantes, de donde salen problemas como el CVRP (problema de ruteo de vehículos con capacidad), el VRPTW (problemas de ruteo de vehículos con ventana de tiempo), el PDPTW (problema de recoge y entrega con ventana de tiempo), el VRPPD (problema de ruteo de vehículos con recoge y entrega), entre otros; con características similares al que se va a tratar en este documento, servirán como fundamentación para las del nuestro.

Entre los problemas de ruteo que han sido estudiados, encontramos los siguientes:

4.1 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO (TSP)

El problema del agente viajero es quizás el problema de ruteo de vehículos más estudiado. En inglés se le conoce como “*The Traveling Salesman Problem*” (TSP). Consiste en un agente viajero, que viaja desde un punto origen llamado depósito, debe visitar exactamente una vez cada cliente de un conjunto de ellos (previamente especificado) y retornar al punto de partida. Un recorrido con estas características es llamado “tour o ruta”. El problema consiste en encontrar el tour o ruta para el cual la distancia total recorrida sea mínima. Se asume que se conoce, para cada cliente la distancia entre ellos de manera que se pueda escoger el mejor tour o ruta que minimice el tiempo empleado en dicho recorrido. (Véase *Anexo B, modelo matemático del TSP*).

4.2 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS (VRP)

El Problema de ruteo de vehículos consiste de “Un conjunto de clientes con demanda conocida que debe ser abastecida por un único depósito. Para ello se cuenta con una serie de vehículos, los cuales deben partir y regresar al depósito”³.

Cada cliente debe ser visitado una única vez por los vehículos, la solución de este problema lo que busca es minimizar la distancia total recorrida por estos vehículos, satisfaciendo la demanda de todos los clientes, y no violando el tiempo de atención disponible de cada uno de ellos.

Este problema se plantea como un depósito central que cuenta con una flota de vehículos y este debe atender a un conjunto de clientes geográficamente

³H. Barros; “Optimización de ruteo de vehículos empleando búsqueda Tabú”, Recuperado el día 10 de Abril del 2008, de la WEB:
http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/775/1/MI_IIND_2005_022.pdf

distribuidos. El objetivo del VRP es entregar productos a este conjunto de clientes con demandas conocidas, al mínimo costo posible, encontrando las rutas óptimas que se originan y terminan en el referido depósito. Cada cliente es atendido una sola vez y todos los clientes deben ser atendidos, lo cual se le asignara uno o varios vehículos que llevarán la carga (demanda de los clientes que visitará) sin exceder su capacidad. (Véase Anexo C, Modelo Matemático del VRP).

4.3 RUTEO DE VEHÍCULOS CON VENTANA DE TIEMPO (VRPTW)

Al extendiendo un poco el VRP agregando la restricción de asociar una ventana de tiempo a cada cliente, se define un instante de tiempo en el que cada cliente debe ser atendido y, se obtiene el problema del ruteo de vehículos con ventanas de tiempo. Al considerar esta ventana de tiempo, el costo total de ruteo y planeamiento incluyen:

La distancia total recorrida que está asociada al tiempo total de viaje realizado por el vehículo, el tiempo total de espera en que se incurre cuando un vehículo llega muy temprano a la ubicación de un cliente y el tiempo total de servicio (tiempo para descargar todas las mercancías solicitadas por cada cliente). Claramente, el instante en el que se inicia el servicio a un cliente debe ser mayor o igual al instante de inicio de su ventana de tiempo y el instante en que se llega a cada cliente debe ser menor o igual al fin de su ventana de tiempo. Si un vehículo llega a la ubicación de un cliente antes del inicio de su ventana de tiempo, debe esperar hasta esa hora para servir a ese cliente.

Es por esto, cuando se tiene restricciones de esta índole, la planeación de las actividades debe ser de manera concisa, permitiendo minimizar cada uno de las consecuencias que se tendrían en caso de que el vehículo llegase antes de

tiempo al lugar indicado, o llegase después de la restricción de ventana de tiempo, altos costos y tiempos perdidos que en su defecto podrían ser utilizados para la atención de otros clientes por parte del mismo vehículo. (Véase Anexo D, Modelo Matemático del VRPTW).

4.4 PROBLEMA DE RUTAS VEHÍCULOS CON CAPACIDAD (CVRP)

El problema de rutas de vehículos con capacidad, en inglés “*Capacitated Vehicle Routing Problem*” (CVRP), se da un conjunto finito de clientes y los costos de viaje entre cada uno de ellos. En el CVRP, un cliente es identificado por el depósito, y que a su vez tiene su flota de vehículos para satisfacer a los mismos. Cada cliente corresponde a una localización donde se entrega una cantidad determinada de un único producto.

Las cantidades demandadas por los clientes están determinadas previamente y no se pueden dividir, es decir, que tienen que ser entregadas por un vehículo de una sola vez. Este problema, es una extensión del VRP, en la que se toma en consideración la restricción de capacidad del vehículo, es decir, cada uno atiende a los clientes que pueda de acuerdo a los productos y/o equipos que éste puede cargar en su recorrido. En la versión más simple se supone que los vehículos son de capacidad homogénea y, por lo tanto, tienen la misma capacidad máxima. (Véase Anexo E, Modelo Matemático del CVRP).

4.5 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON CAPACIDAD Y VENTANAS DE TIEMPO (CVRPTW)

El problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada y Ventanas de Tiempo (CVRPTW) es una variante del problema básico (VRP), y tiene como objetivo diseñar a un mínimo costo las rutas de entrega desde un sólo depósito hasta un conjunto de clientes geográficamente distribuidos, en donde los vehículos tienen una capacidad homogénea y los clientes imponen ventanas de tiempo para el recibo de la mercancía.

4.6 PROBLEMA RECOLECCIÓN Y ENTREGA CON VENTANA DE TIEMPO (PDPTW)

El problema del PDPTW es una situación donde un grupo de vehículos debe servir a una serie de requerimientos de recolección y entrega. Cada requerimiento tiene una ubicación específica de recolecta y entrega, llamados clientes. Todos los vehículos deben ser programados para satisfacer la capacidad del problema, es decir, satisfacer a todos los clientes, dentro de la ventana de tiempo y sin exceder la capacidad de carga de los vehículos, mientras se optimizan las funciones como la distancia total recorrida. Este problema tiene un aspecto interesante, sale del depósito vacío, es decir, debe recoger los productos y/o mercancías para después hacer las respectivas entregas, por lo que lo diferencia de otros problemas que tienen características semejantes a esta variante de ruteo de vehículos. (*Véase Anexo F, Modelo Matemático del PDPTW*).

4.7 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON ENTREGA Y RECOLECCIÓN (VRPPD)

El problema de ruteo de vehículos con entrega y recolección es una extensión del problema clásico de ruteo de vehículos (VRP), donde los clientes pueden recibir y también pueden enviar productos. Normalmente se asume que los productos (las mercancías) almacenados en algún lugar o instalación de algún cliente, directamente no pueden ser transportados a otro cliente. En otras palabras, todos los bienes (las mercancías) tienen que provenir o terminar en un depósito.

La función objetiva del VRPPD debe reducir al mínimo la distancia total viajada por los vehículos, sujetos a la distancia máxima y restricciones de capacidad máximas sobre los vehículos.

4.8 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULO PERIÓDICO (PVRP)

Este modelo se conoce como "*Periodic Vehicle Routing Problem*" (PVRP) y trata de definir la distribución de los servicios y/o productos a los clientes dentro de un período de tiempo determinado, y a su vez, establece un conjunto de rutas para cada día del período en cuestión, de forma que se asegure el nivel de servicio a cada cliente, respetando las restricciones de la flota de vehículos y minimizando los costes operativos de la flota. Como su nombre lo indica, este problema trata de satisfacer a los clientes dentro de un periodo determinado, esta es la característica, que hace este problema sea diferente de los otros, puesto que busca un número de rutas diarias para satisfacer la demanda dentro de un periodo determinado.

4.9 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULO PERIÓDICO CON VENTANA DE TIEMPO (PVRPTW)

Este modelo, siendo una variante del PVRP tiene su misma filosofía, tratar de encontrar rutas diarias que permitan satisfacer la demanda dentro de un periodo determinado, pero adicionándole la ventana de tiempo, lo que hace aun más complejo este problema. Al agregar la ventana de tiempo al problema del PVRP lo que se busca es entregar y recoger el producto, de acuerdo a las rutas asignadas a cada día, dentro de ella de manera que se logren cumplir con todos los clientes en el día, obteniendo la satisfacción de los clientes y aumentando el número de clientes satisfechos.

4.10 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON MÚLTIPLES DEPÓSITOS (MDVRP)

Este problema asociado al VRP tiene en esencia las mismas características del VRP, su variación radica en el número de depósitos que tienen, cada depósito posee una flota homogénea de vehículos y sus propios clientes a satisfacer sin interponerse con los de los otros depósitos. Las siguientes son objetivos a cumplir por este problema:

- Minimizar costo total de la duración del recorrido.
- Cada cliente debe ser atendido por una ruta específica de cada depósito.
- Las rutas son circuitos cerrados que contienen un depósito, y cada depósito sus vehículos en particular.
- Las rutas asociadas a un depósito no pueden pasar por otro depósito a recoger productos, deben centrarse en su depósito y sus clientes.

4.11 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON MÚLTIPLES DEPÓSITOS Y CON VENTANA DE TIEMPO (MDVRPTW)

Esta variación del MDVRP asume las características del mismo, su variación radica en que los clientes asignados a cada uno de los depósitos, deben ser atendidos dentro de una ventana de tiempo, exigiendo cumplimiento y puntualidad en cada una de las entregas y recolecciones que se hagan de acuerdo a la asignación de cada depósito.

“El MDVRPTW consiste en determinar las rutas de los vehículos de cada depósito que satisfagan las siguientes condiciones:

- Cada ruta comienza y termina en el mismo depósito, no puede pasar por otro depósito.
- Todos los requerimientos de los clientes son uno por cada vehículo.
- Se debe respetar la ventana de tiempo de todos los clientes.
- La suma de los requerimientos satisfechos por los vehículos no debe exceder su capacidad.”⁴

4.12 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON DEMANDA COMPARTIDA (SDVRP)

Esta variante de CVRP nos ayuda a resolver aquellos problemas de distribución en los que un depósito debe satisfacer, de la forma más económica posible, la demanda que tiene en función de los clientes a atender, utilizando una flota de vehículos con una capacidad limitada. El objetivo de éste, es diseñar una ruta para cada vehículo de manera que pueda atender todas las demandas posibles, además de que ningún vehículo atienda más de lo que indica su capacidad, es

⁴ Inspirado de <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0413.pdf>

decir, atiende o sirve única y exclusivamente a los clientes que puede de acuerdo a su capacidad y se minimice la distancia total recorrida por el conjunto de rutas de los mismos. Lo que diferencia a este problema del CVRP, es que esta variante puede utilizar varios vehículos a la hora de hacer entregas a los clientes, determinando a su vez, el número de vehículos de acuerdo al cociente entre la demanda total a atender y la capacidad del vehículo. Una vez teniendo el número de vehículos a utilizar en la entrega de productos, se le asignará rutas a cada uno de ellos para sus respectivas entregas haciendo uso de varias rutas que ayuden a satisfacer cada uno de los clientes en cuestión. Esta estrategia puede traer consigo beneficios en cuanto al tiempo de servicio, puesto que se conocerá con exactitud los vehículos a disposición para hacer las entregas y se disminuirá el tiempo empleado por los mismos en sus tareas y también la distancia recorrida por ellos en el recorrido.

4.13 PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON DEMANDA COMPARTIDA Y CON VENTANA DE TIEMPO (SDVRPTW).

EL SDVRPTW consiste en determinar el mínimo costo al emplear la asignación de rutas a un número de vehículos determinado, en la que cada ruta debe comenzar y terminar en el depósito y cada cliente debe ser atendido o servido por uno o más vehículos, respetando la capacidad de ellos y teniendo en cuenta que los clientes deben ser servidos dentro de la ventana de tiempo. A diferencia en el VRPTW la demanda de los clientes puede ser dividida, disminuyendo los costos del ejercicio.

En esencia, el SDVRP y SDVRPTW tiene las mismas características, lo que las diferencia es la ventana de tiempo empleada en el segundo, el objetivo de estas variantes es minimizar los costos y emplear menos tiempo en la entrega de productos a los clientes.

4.14 DIAL A RIDE PROBLEM (DARP)⁵.

El DARP consiste en diseñar y programar un ruteo de vehículos para “n” clientes que solicitan la entrega y recolección de sus clientes entre un origen y un destino, los cuales necesariamente no son los mismos para cada uno de ellos. El mismo cliente tendrá dos solicitudes durante un mismo día: una de “salida”, en donde sale de su origen con destino hacia otro lugar, y una solicitud de “entrada” que podría ser denominado como el viaje de regreso a su origen inicial. El transporte es suministrado por una flota de vehículos con las mismas características en común, y que se encuentran en un mismo depósito. El objetivo es planificar o diseñar un ruteo de vehículos, donde los costos de transporte sean mínimos y, a la vez, capaces de satisfacer el mayor número de requerimientos (demandas de transporte), bajo ciertas restricciones dadas por la situación en concreto.

⁵ CORDEAU, Jean-François; LAPORTE, Gilbert. “The Dial a Ride Problem”. Diciembre del 2006. HEC Montreal. Recuperado el día 12 de Septiembre de la pagina Web: www.crt.umontreal.ca/en

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 LOGÍSTICA.

La logística, es definida por la Real Academia Española “RAE”, como el “conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribuciones”.

La logística pretende proveer el producto correcto en la cantidad requerida, en el lugar indicado, en el tiempo exigido y a un costo razonable. Es por esto que normalmente la logística cumple funciones de compra, inventario, almacenamiento, transporte, entre otras.

Si asumimos que el objetivo del mercadeo es incitar la demanda, el de la logística será precisamente satisfacerla. La logística no es una actividad funcional sino un punto de referencia; es una manera de pensar que permitirá incluso reducir la incertidumbre en un futuro desconocido.

A su vez, la logística cumple una labor esencial en la distribución, sea de mercancías, productos semi-terminados, materias primas, etc., debido a que el cliente logre la satisfacción que hagan del servicio un punto a favor de la empresa.

En conclusión podemos decir que una buena logística logrará la satisfacción del cliente y una reducción de costos en la empresa, así mismo la competitividad que le dará con otras empresas. La logística también depende de los servicios como resultado de los costos totales más bajos en la entrega de los productos.

La logística del Transporte, como un servicio, debe mantener controles sobre los flujos de negocio, componentes y productos, mientras, que al mismo tiempo, proporcionan suficiente flexibilidad para reaccionar a los rápidos cambios en la demanda del mercado. Existen varios factores de vital importancia al hablar de la

logística del transporte, Flexibilidad, Rapidez y Fiabilidad, debido a que la logística del transporte debe ser adaptable a las variaciones en las demandas del mercado y a las circunstancias imprevistas, reducir el tiempo en que los productos son entregados al consumidor final, y la reducción de riesgos por la interrupción de suministros de mercancías, materias primas, etc., que ayuden a mantener en menor escala un inventario de seguridad.

5.2 RUTEO DE VEHÍCULOS.

El Ruteo de vehículos, como su nombre lo indica, consiste en determinar rutas para un grupo de vehículos que debe salir de un depósito y recorrer determinados puntos (clientes) una sola vez y regresar al depósito, de manera que se minimice la distancia total recorrida por todos los vehículos; una representación gráfica del ruteo de vehículos se muestra a continuación:

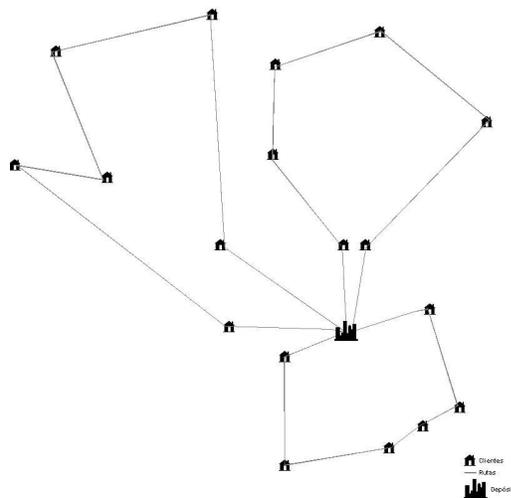


Figura 2: Representación Gráfica del VRP⁶

⁶ BARAJAS, Nicolás. "Estado del Arte del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)" (online). Recuperado de la pagina WEB: www.geocities.com/nicolasbarajasseminario/Archivos/EstadoDelArteFinal.pdf

Como anexo a la definición, el Ruteo de Vehículos ha existido en los procesos de servicios dentro y fuera de una compañía o empresa, como distribución de mercancías, servicios de transporte, entre otros, con características como la entrega a tiempo, mercancía en perfecto estado, rutas que minimicen tiempos de entrega, rutas que permitan entregar a más clientes en menos tiempo, etc., que sirven como valor agregado para lograr a la satisfacción del cliente. El Ruteo de vehículos, se ha convertido en un problema, debido a que muchas veces el vehículo no llega a tiempo a su destino, se generan clientes insatisfechos; es por esto, que ha sido trabajado en diversos casos de aplicación, dependiendo de las características principales de cada situación, buscando la mejor herramienta que permita una solución óptima y minimice el tiempo de entrega, logrando un excelente servicio prestado, y los clientes satisfechos.

Algunos de los objetivos más frecuentes en el ruteo de vehículos, consisten en minimizar el costo total de operación, minimizar el tiempo total de transporte, minimizar la distancia total recorrida, minimizar el tiempo de espera por parte del cliente, maximizar el beneficio del mismo, maximizar el servicio al cliente, minimizar la utilización de vehículos, etc. Es por esto que, muchos autores que han abordado este tema desde diferentes puntos de vistas, haciendo uso de la programación lineal como un lenguaje para expresar las características y parámetros permitiéndoles a otros, hacer uso de dichos parámetros para emplearlos en cualquier método de solución del problema, o a su vez, como punto de inicio para la solución del mismo.

5.3 SERVICIO.

El servicio “es la actividad que una persona, institución o empresa realiza, con fines de lucro o no, para satisfacer las necesidades de la gente, ya sea de dinero

(bancos), conocimientos (información, escuelas), seguridad (seguros y fianzas, protección policiaca), salud (clínicas y hospitales), viajes (transporte aéreo, terrestre o acuático), etcétera.”⁷

El servicio se clasifica en producto tangible y servicio intangible. El producto es considerado como un bien que se presenta al momento de la venta y el servicio como el beneficio que reciben los clientes. Sin embargo cabe resaltar que todo producto es servicio y se resalta en la definición siguiente propuesta por el libro ingeniería de servicio. “el producto es el paquete de beneficios que tienen un valor específico para su adquiriente y que es posicionado en su mente mediante un concepto que lo presenta como diferente ante los demás.”

5.4 INGENIERÍA DE SERVICIO.

Uno de los enfoque que se encarga de estudiar la calidad del servicio, es la Ingeniería de Servicios que es “Un enfoque dirigido a mejorar e innovar los procesos para proporcionar servicios diferenciados, así como para desarrollar una organización que propicie la creación de valor para el cliente y, resultado, logre ventajas competitivas sustanciales y sostenibles”⁸. La finalidad de esta es crear clientes satisfechos, ya que estos indican una fuente constante de ingresos rentables, así como son promotores del propio negocio, puesto que cuando el cliente se encuentra satisfecho el mismo promueve la empresa recomendando los productos y los servicios que esta presta. Teniendo en cuenta que si ocurre lo contrario y el cliente se encuentra insatisfecho las implicaciones negativas que este puede traer al negocio son perjudiciales ya que este se va a encargar de

⁷ Recuperado el día 15 de Abril del 2008, de la pagina WEB
<http://cuentame.inegi.gob.mx/glosario/s.aspx?tema=G>

⁸ PICAZO, MANRIQUEZ, Luis; MARTINEZ, VILLEGAS, Fabián. Ingeniería de servicio: naturaleza de la ingeniería de servicio. México, Ed. McGraw -HILL 1991. P. 67.

darle mala fama al servicio que se presta y con ello la empresa perderá popularidad y perderá su identificación en el mercado como la mejor.

Una de las personas destacadas en difundir la ingeniería de servicio es Karl Albrecht, el cual expone su filosofía mediante un triangulo de servicio, el cual se basa en tres características claves:

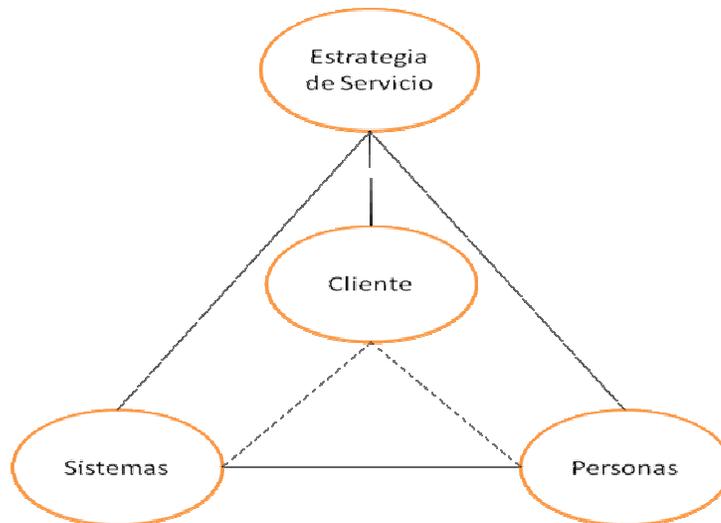


Figura 3. Triangulo de servicio⁹

- Estrategia de servicio: sirve de dirección para alcanzar ventajas competitivas y se conecta con los sistemas y la gente, por medio de los cuales se implementa y se hace realidad la estrategia.
- Gente: encierra a todo las personas de la organización y es el recurso para concretar la calidad del servicio, por lo cual, este recurso debe tratarse como un cliente interno, porque de su práctica dependerá la respuesta de los cliente externo hacia la compañía.
- Sistemas: hace énfasis en que toda la organización, desde la gerencia, hasta los empleados operativos, deben desempeñarse conforme los diferentes sistemas establecidos.

⁹ PICAZO, MANRIQUEZ, Luis; MARTINEZ, VILLEGAS, Fabián. Ingeniería de servicio: naturaleza de la ingeniería de servicio. México, Ed. McGraw-HILL 1991.

- Cliente: es el centro del triangulo que obliga a que tanto los demás componentes, como de la organización misma, se oriente hacia él. Resalta la relación del personal de la compañía y sus clientes, lo que marca la razón de ser de la calidad del servicio.¹⁰

5.5 SERVICIO AL CLIENTE.

El servicio al cliente, se puede definir como el conjunto de actividades que se enlazan para ofrecer un producto al cliente en el momento y lugar adecuado, y que este se encuentre satisfecho con los requerimientos ofrecidos. El servicio al cliente es cualquier cosa que el cliente crea que es

El servicio al cliente es cualquier cosa que el cliente crea que es, por esto es el encargado de ver y expresar la calidad del servicio tanto en precio, disponibilidad, tiempo y requerimientos ofrecidos, para así calificar y garantizar que el servicio que se esté prestando satisfaga sus necesidades. Por esta razón es necesario brindar al cliente una garantía de que el servicio que se proporciona va a compensar todos sus requerimientos y necesidades.

5.6 NIVELES DE SERVICIO.

Los Niveles de Servicio “corresponden al cumplimiento de los tiempos de respuesta, tiempo de solución temporal y tiempo de solución final acordado en conjunto con el cliente. Es importante resaltar que estos tiempos están

¹⁰ PICAZO, MANRIQUEZ, Luis; MARTINEZ, VILLEGAS, Fabián. Ingeniería de servicio: Desarrollo de la ingeniería de servicio. México, Ed. McGraw-HILL 1991 .P. 78.

clasificados de acuerdo a la prioridad dada al incidente reportado: Alta, media o baja.”¹¹

Los niveles de servicio mantienen y garantizan la calidad de un servicio brindado a un cliente, también establece indicadores para identificar los puntos débiles del proceso e indicadores de mejora para las actividades, además de ser medido y demostrado, el nivel de cumplimiento en su ejecución.

5.7 PROGRAMACIÓN LINEAL.

“La programación lineal, se refiere a varias técnicas matemáticas relacionadas que se utilizan para asignar recursos limitados entre demandas en competencia de una manera óptima.”¹²

La programación lineal es el método más utilizado entre las técnicas matemáticas de optimización, a su vez ha sido aplicado un muchos problemas a lo largo del tiempo, en la que destacamos la administración de operaciones, el ruteo de vehículos, optimización de recursos, transporte, entre otros; también ha sido utilizados los modelos de programación lineal para conseguir rápidamente conocimientos sobre la actual condición de recolección y distribución de productos de una empresa, así como la reubicación de depósitos o de la misma empresa como tal.

Algunos casos especiales de programación lineal, tales como los problemas de flujo de redes y problemas de flujo de mercancías se consideraron en el desarrollo de las matemáticas lo suficientemente importantes como para generar por si

¹¹ Recuperado el día 15 de Abril del 2008, de la pagina WEB:

<http://www.optimizanet.com/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=210&IDCompany=123>

¹² CHASE, Richard.; AQUILANO, Nicholas.; y JACOBS, Robert. Administración de producción y operaciones, ED. McGraw - Hill, 8 edición. P. 291

mismos mucha investigación sobre algoritmos especializados en su solución. Una serie de algoritmos diseñados para resolver otros tipos de problemas de optimización constituyen casos particulares de la más amplia técnica de la programación lineal.¹³

A través de los tiempos, las ideas de programación lineal han inspirado muchos de los conceptos centrales de la teoría de optimización tales como la dualidad, la descomposición y la importancia de la convexidad y sus generalizaciones. Del mismo modo, la programación lineal es muy usada ya sea para aumentar al máximo los ingresos o reducir al mínimo los costos de un sistema de producción. Algunos ejemplos son la mezcla de alimentos, la gestión de inventarios, la cartera y la gestión de las finanzas, la asignación de recursos humanos y recursos de máquinas, la planificación de campañas de publicidad, etc.

Otros son:

- Optimización de la combinación de diámetros comerciales en una red ramificada de distribución de agua.
- Aprovechamiento óptimo de los recursos de una cuenca hidrográfica, para un año con afluencias caracterizadas por corresponder a una determinada frecuencia.
- Soporte para toma de decisión en tiempo real, para operación de un sistema de obras hidráulicas;
- Solución de problemas de transporte.

¹³ Loomba, N.P. Linear Programming: An introductory analysis. McGraw-Hill, New York, 1964.
http://es.wikipedia.org/wiki/Programaci%C3%B3n_lineal

6. ACTIVIDAD DE ENTREGA Y RECOLECCION DE EQUIPOS AUDIOVISUALES

La actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales comienza cuando los clientes, profesores o alumnos, solicitan al área encargada, los equipos que requieren para la realización de la clase. Una vez que el personal encargado tiene la solicitud en su poder, empiezan a ver si tiene disponibilidad de equipos, o a su vez, hacen una confrontación entre el inventario que tienen y la demanda solicitada, no sólo de los clientes que acaban de solicitar, sino toda la demanda del día, viendo si es posible en determinado tiempo lograr satisfacer lo demandado por los clientes.

En caso de que exista o haya la disponibilidad de equipos para determinado tiempo, ellos dan luz verde a la asignación, es decir, acceden al préstamo de equipos a los clientes, en caso contrario, la solicitud es denegada.

Una vez que el área encargada de los equipos audiovisuales asigne los lugares en los que debe ser entregado los equipos audiovisuales de apoyo para clase, proceden a la programación de las salidas, es decir, a elaborar el ruteo a seguir para intentar satisfacer la totalidad de la demanda. Dentro de este trabajo, se va a tratar desde este punto de la actividad, y se asumirá que lo anterior ya ha sido tratado.

El ruteo por parte de los vehículos transportistas de los equipos audiovisuales, se da en la actualidad, basándose únicamente dependiendo de los lugares en que deben hacer la entrega, sin importar el tiempo en que estos se gastan en la realización de la actividad, a su vez, se basan también en la capacidad del vehículo, es decir, cuantos equipos pueden ser cargados y distribuidos dependiendo de la capacidad de carga del mismo.

Una vez que los vehículos llegan al salón de clases, proceden a realizar las siguientes actividades:

- Llevar: el vehículo transporta el equipo audiovisual durante la ventana de tiempo establecida desde el depósito si es el inicio de la jornada o de otro salón si es en el transcurso del día.
- Instalar: el vehículo llega al salón de clases con el equipo de apoyo solicitado y lo conecta verificando que se encuentre en buen estado para la realización de la clase, dentro de la ventana de tiempo.
- Desinstalar: el vehículo llega al salón de clases en la ventana de tiempo indicada para recoger el equipo y desinstalarlo.
- Recoger: el vehículo recoge en el salón de clases el equipo audiovisual y lo lleva al depósito o en su defecto a otro salón de clases.

Una vez explicada la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales, se procedió a identificar cada una de las características propias que hacen parte de ésta, con el fin de poder realizar comparaciones entre dicha actividad, con los problemas de ruteo de vehículos estudiados en esta monografía.

6.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD DE ENTREGA Y RECOLECCIÓN DE EQUIPOS AUDIOVISUALES

Siguiendo con la descripción de la actividad de entrega y recolección de vehículos audiovisuales, se muestran a continuación las características propias de la misma:

- ✓ En el proceso de ruteo, el vehículo tiene que entregar un producto o en su defecto recogerlo.
- ✓ Se entiende un vehículo como la persona encargada de transportar los diferentes equipos desde la bodega hasta los salones de clases o entre ellos.
- ✓ El ruteo del vehículo cambia para cada día, dependiendo de los requerimientos de equipos de los clientes.
- ✓ La jornada regular para la cual se hace el ruteo tiene una duración de 13 horas diarias (de 7am a 8pm).
- ✓ Dentro de cada jornada se pueden presentar una cantidad determinada de periodos de clases.
- ✓ Se lleva o recoge cualquier tipo de material de apoyo a las aulas de clases.
- ✓ Se tiene una cantidad fija de vehículos: en el la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales se tienen cierta cantidad de vehículos, los cuales son los encargados de transportar el material de apoyo a las diferentes aulas, en las cuales estos son requeridos.
- ✓ Se tiene una disponibilidad conocida de equipos asignados para un instante de tiempo concreto: se cuenta con una cantidad determinada de equipos disponibles para la realización de la actividad, dependiendo de los instantes de tiempo en que se requieran los materiales de apoyo.
- ✓ El vehículo sale del depósito con objeto de atender un grupo de clientes distribuidos a lo largo de la ruta y luego regresa al punto de origen ya sea para suplirse o esperar el siguiente instante de recolección o entrega.

- ✓ La ventana de tiempo identificada para cada cliente, está definida por una porción de tiempo al inicio de la jornada y una al término de la misma.
- ✓ La visita a cada cliente debe ser realizada dentro de la ventana de tiempo establecida por el mismo; no es permitido llegar ni antes ni después de la misma.
- ✓ La recolección de los equipos audiovisuales debe ser realizadas al inicio de la ventana de tiempo al finalizar la clase, es decir, dentro de la porción de tiempo establecida; no le es permitido al vehículo llegar antes del inicio de la ventana de tiempo, ni después de ella.
- ✓ El vehículo, después de realizar todo su recorrido, debe terminar en el depósito.
- ✓ Al finalizar la jornada, el vehículo debe retornar al depósito con todos los equipos que hayan salido durante la duración de la misma, es decir, no debe quedar ningún equipo fuera del depósito.
- ✓ La capacidad de carga de los vehículos no es conocida ni igual para cada uno de ellos, en vista que depende de las características físicas de cada uno de ellos (los vehículos).

Al haber identificado cada una de las características de la situación objeto de estudio, procederemos, en la siguiente sección, a realizar una comparación con cada uno de los problemas de ruteo de vehículos.

7. COMPARACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE RUTEO DE VEHICULOS EXISTENTES CON LA SITUACION OBJETO DE ESTUDIO

Partiendo como base, las características de la actividad de entrega y recolección de vehículos, y cada una de ellas de los problemas de ruteo de vehículos, explicitas en la sección anterior, a continuación, se compararan dichas características entre ellas.

Se realizó una comparación, entre la situación objeto de estudio de esta monografía y, cada uno de los problemas conocidos de ruteo de vehículos, relacionados en el Marco Teórico, con objeto de determinar el grado de similitud entre sus características y así poder identificar las herramientas que puedan ser utilizadas en la solución de la primera.

Para ello se definirán, en primera instancia, cada una de las características a tratar y que serán resumidas en la tabla resumen.

7.1 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO

A continuación, se encontrará una explicación de cada una de las características que se presentarán en la tabla resumen.

- **CANTIDAD DE VEHICULOS:** Hace referencia a la cantidad de vehículos existente en cada una de las variantes de los problemas de ruteo de vehículo estudiados. El aspecto más importante a resaltar, es el impacto que tiene la reducción del tamaño de la flota en los costos del recorrido, a menor

cantidad de vehículos, se incurren en menos costos del ejercicio. En la tabla resumen, se clasificaran, dependiendo de las características propias de cada uno de los problemas, en:

- “1” si existe tan sólo un vehículo, o
- “1 o n” si es posible tener más de un vehículo.

➤ TIPO DE EQUIPOS: Esta característica hace referencia a la variedad de equipos que podrán cargar los vehículos, al hacer el recorrido a lo largo de la jornada. Puede ser clasificada como:

- “Homogéneo” para los problemas que carguen sólo un tipo de equipos y/o productos,
- “Heterogénea” para el caso en que los vehículos carguen varios tipos de equipos y/o productos, o
- “No Aplica”, en caso que esta característica no esté presente dentro en los problemas de Ruteo de Vehículos.

➤ TIPO DE CAPACIDAD: Esta característica hace referencia a la cantidad de artículos que es capaz de transportar el vehículo; Esta puede ser clasificada como:

- “Homogénea” para todos los vehículos de la flota, es decir, igual para cada uno de ellos,
- “Heterogénea”, es decir, diferente para cada vehículo, o
- “No Aplica”, cuando no se tiene en cuenta la característica en dicha variante de los problemas de ruteo de vehículos.

➤ VENTANA DE TIEMPO: Es un intervalo de tiempo fijado por el cliente o por el sistema, dentro del cual se debe entregar el pedido al cliente; usualmente

no le es permitido al vehículo, entregar antes de la hora de apertura de dicha ventana o después de la hora de cierre.

Existen dos clases de ventanas de tiempo, “HARD” cuando dicho intervalo no es flexible, es decir, no le es permitido al vehículo llegar antes del inicio, ni después del momento de cierre de la misma; y “SOFT” cuando el intervalo es flexible, es decir, aunque el vehículo debe llegar dentro de la ventana de tiempo, podrá llegar un poco antes del inicio de ella, o en su defecto un poco después del cierre, sin interferir con el ruteo o con viajes futuros por parte del vehículo.

Cabe destacar, que el tipo de ventana de tiempo utilizada en un sistema en particular, sea “HARD” o “SOFT”, es asignado por los administradores del mismo, es decir el cliente, dependiendo de sus exigencias y/o características particulares.

A su vez, la observación de la situación objeto de estudio de esta monografía permitió identificar dos tipos de ventanas de tiempo, las cuales se muestran en la tabla resumen, a saber:

- La Ventana de tiempo al momento en que el vehículo entrega los productos o bienes, y
- Aquella ventana de tiempo, cuando el vehículo procede a recoger los equipos y/o bienes de los clientes.

- **VENTANA DE TIEMPO GRANDE:** Este término, ventana de tiempo grande, hace alusión a la duración de la jornada en la que los vehículos estarán activos, es decir, las 13 horas que dura la jornada de clases (7a.m. a 8p.m.).

- VENTANA DE TIEMPO MEDIANA: Periodos de clases que duran 2 horas, en la que el vehículos debe satisfacer al cliente, entregando el producto solicitado por el mismo, o en su defecto, recoger a finalizar el periodo, el producto que ya había sido entregado al comienzo del mismo.

- VENTANA DE TIEMPO PEQUEÑA: Fracción de tiempo dentro del periodo, en la que el cliente debe ser atendido, no es permitido, llegar antes ni después de la misma.

- DEMANDA: Es la cantidad de equipos y/o bienes pretendidos por los clientes y que debe ser entregada a los mismos durante la visita de los vehículos, dentro del recorrido realizado por ellos. Se observa en la *Tabla 1*, que en varios problemas de ruteo de vehículos, incluyendo la situación objeto de estudio, la demanda es conocida antes de programar y realizar el ruteo, en otros “No Aplica”, puesto que no será conocida o no es tenida en cuenta para la construcción del modelo.

- DEMANDA COMPARTIDA: Esta característica es propia de la variante SDVRP como del SDVRPTW, en donde, para atender al cliente, con cada uno de los equipos y/o bienes requeridos por los mismos, puede ser a través de uno o más vehículos, es decir, dependiendo de la capacidad de ellos y de la cantidad a entregar.

- CRITERIO DEL MODELO DE P.L.: Cada uno de los problemas de ruteo de vehículos tratados en este documento, tiene el mismo objetivo común, como lo es la “Minimización” de las distancias en los recorridos y/o de los costos que se generan en la escogencia de una u otra ruta para satisfacer la demanda.

- LUGAR DE SALIDA DEL VEHICULO: Esta característica hace referencia a la salida del vehículo al comienzo de la jornada de ruteo, es decir, si el vehículo parte del depósito o no, al comenzar dicha jornada.
- LUGAR DONDE FINALIZA EL VEHICULO EL RUTEO: Como la característica anterior, significa que si el vehículo regresa o no al depósito al finalizar la jornada de ruteo, es decir, al final del día.
- RECOGE/ENTREGA: Se refiere a la actividad que hacen los vehículos al momento de llegar donde los clientes, es decir, si ellos recogen o en su defecto entregan productos, equipos, bienes, etc.
- ENTREGA – SALIDA DEL DEPOSITO LLENO: Este ítem corresponde a cómo comienzan los vehículos su recorrido, es decir, si al comienzo de la jornada, salen del depósito con carga, o sin ella.
- ENTREGA Y RECOLECCION – RECOLECCION DE PRODUCTOS MIENTRAS SE ENTREGA: Este ítem, se refiere al tipo de actividades que puede realizar el vehículo mientras hace el recorrido, es decir, si puede recolectar bienes y/o equipos mientras realiza entrega de ellos, o viceversa.
- RECOLECCION – REGRESA CARGADO AL DEPOSITO: Esta característica describe la forma cómo el vehículo termina el recorrido en el depósito, concretamente, si éste regresa lleno con bienes o productos al depósito, o en su defecto lo hace vacío.
- PERIODO PARA CUMPLIR CON LA DEMANDA: Esta característica es propia de los problemas de ruteo de vehículos PVRP y PVRPTW; muestra el cumplimiento de la demanda dentro de un periodo determinado, realizando ruteos diarios, para la entrega de bienes y/o productos a los

diferentes clientes, que permitan cumplir con la demanda estimada dentro de un periodo final.

- **MULTIPLES DEPOSITOS:** Este ítem se refiere al número de depósitos que habrán dentro del sistema. Asimismo, cada deposito tendrá su demanda, es decir, el número de clientes a atender; además, también poseen flotas de vehículos propias, donde los vehículos de cada deposito atenderán cada uno de los clientes del mismo. Vale aclarar, que los vehículos de otros depósitos no podrán atender clientes que no hagan del mismo.
- **COMPLEJIDAD COMPUTACIONAL DEL PROBLEMA (C.C.P.):** Se ha logrado demostrar que los problemas de Ruteo de Vehículos, todos son de naturaleza Np-Hard, por lo que se asume que la situación objeto también presenta esta característica.

7.2 EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS PRESENTES EN LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO Y LOS PROBLEMAS DE RUTEO DE VEHÍCULOS CONOCIDOS.

Una vez explicada cada una de las características que se encontrarán en la tabla resumen, se comparó cada uno de ellas presentes en los problemas de ruteos de vehículos encontrados en la revisión de la literatura, con la situación objeto de estudio de esta monografía.

- **Cantidad de vehículos:** de acuerdo a este ítem, la situación objeto de estudio es igual a los problemas de ruteos estudiados, en vista que pueden utilizar “1 o n” vehículos dependiendo del número de clientes a atender, exceptuando el TSP, que sólo puede utilizar un vehículo por recorrido.

- **Tipo de Equipos:** De acuerdo a esta característica, la situación objeto de estudio es “*heterogéneo*”, a diferencia de los demás problemas en la que es “*homogénea*”, debido a que los vehículos cargan el mismo tipo de productos.
- **Tipo de capacidad:** En cuanto a esta característica, la capacidad de la situación objeto de estudio es “*Heterogénea*” a diferencia de los demás problemas del Ruteo de Vehículos, los cuales poseen una capacidad de carga “*Homogénea*”. En el caso del TSP, esta característica no aplica.
- **Ventana de Tiempo:** En esta característica, cabe resaltar que la situación objeto de estudio, al inicio de cada jornada, comparte el uso de la ventana de tiempo con los problemas de Ruteo de Vehículos tales como: VRPTW, CVRPTW, PDPTW, PVRPTW, MDVRPTW, SDVRPTW; al finalizar la jornada, la situación objeto de estudio también hace uso de la ventana de tiempo, a diferencia de los problemas mencionados previamente, que sólo lo hacen uso de la misma al inicio de la jornada. En los problemas como el TSP, VRP, CVRP, VRPPD, PVRP, MDVRP, SDVRP, la ventana de tiempo “No Aplica”.
- **Demanda:** La demanda será conocida tanto para la situación objeto de estudio de esta monografía, así como para cada uno de los problemas de ruteo de vehículos. La única diferencia radica en el TSP, puesto que esta característica en ese problema “*No Aplica*”, es decir, no es conocida al momento de comenzar con el recorrido.
- **Demanda Compartida:** Esta característica es propia de los problemas de Ruteo de Vehículos, SDVRP y SDVRPTW. En los demás, “No Aplica”, incluyendo la situación objeto de estudio.

- **Criterio Del Modelo De P.L.** : Tanto la situación objeto de estudio, como las variantes del problema de Ruteo de Vehículos encontradas, analizadas y comparadas, tendrán un mismo objetivo a alcanzar, el cual consiste en minimizar la distancia del recorrido y los costos del ejercicio.
- **Lugar de Salida del Vehículo:** En cuanto a la salida del depósito, todos los vehículos salen de él en cada uno de los problemas de ruteo, así como que, regresan al depósito una vez terminado el recorrido.
- **Recoge/Entrega:** De acuerdo a esta característica, la situación objeto de estudio realiza “*entrega y recolección*” de equipos y/o bienes, así como las variantes PDPTW y VRPPD; el resto de variantes del ruteo de vehículos sólo realiza “*entrega*” en sus respectivos recorridos a lo largo de la jornada.
- **Entrega – salida del depósito lleno:** Todos las variantes de los problemas de ruteo de vehículo, salen del depósito cargados de mercancías o llenos, así como la situación objeto de estudio, a diferencia del PDPTW, debido a que, aunque parte del depósito, su función es recoger productos y/o equipos de los clientes para hacer las respectivas entregas a otros usuarios de los mismos.
- **Entrega y Recolección – Recolección de productos mientras se entrega:** En esta característica, la situación objeto de estudio, puede hacer recolección de productos y/o bienes mientras está realizando la labor de entrega, asemejándose a las variantes PDPTW y VRPPD. Las demás variantes del problema de Ruteo de Vehículos no pueden realizar esta actividad, es decir, sólo pueden entregar los productos y/o bienes que llevan ellos en su recorrido.

- **Recolección – Regresa cargado al depósito:** A diferencia de las variantes de los problemas de Ruteo de Vehículos, la situación objeto de estudio, regresa lleno a la bodega al finalizar a la jornada. La situación objeto de estudio, es el único problema con esta característica, puesto que debe regresar con todos los equipos que entregó a lo largo de la jornada, al depósito.
- **Periodo para cumplir la demanda:** Esta característica es propia de las variantes PVRP y PVRPTW. Las otras variantes del problema de ruteo de vehículos, así como la situación objeto de estudio, no tiene esta característica, es decir, *“No Aplica”*.
- **Múltiples depósitos:** Esta característica es propia de los problemas de ruteo de vehículos como el MDVRP y el MDVRPTW. Las otras variantes del problema de ruteo de vehículos, así como la situación objeto de estudio, no tiene esta característica, es decir, *“No Aplica”*.

7.3 TABLA DE COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO, CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PROBLEMAS DE RUTEO DE VEHÍCULOS ESTUDIADOS EN LA REVISIÓN DE LA LITERATURA.

PROBLEMAS	CARACTERÍSTICAS																						
	Cantidad de vehículos	Tipo de Equipos	Tipo de capacidad	Ventana de tiempo						Demanda	Demanda Compartida	Objetivo	Lugar de salida del vehículo	Lugar donde finaliza el vehículo	Recoge /entrega	Entrega		Recolección		Periodo para cumplir con la demanda	Múltiples depósitos		C.C.P
				HARD/SOFT	V.T. Grande	V.T. Mediana	V.T. Pequeña	Al Entregar	Al Recoger							Sale del depósito lleno	Recoge productos mientras entrega	Regresa al depósito lleno	Utiliza múltiples depósitos		Clientes propios de cada depósito		
Situación Objeto de Estudio	1 ó n	Heterogéneo	Heterogénea	HARD/SOFT	SI	SI	SI	SI	SI	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NP-HARD	
1_TSP	1	No Aplica	No Aplica	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	No Aplica	No Aplica	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
2_VRP	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	No Aplica	No Aplica	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
3_VRPTW	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	NO	No Aplica	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
4_CVRP	1 ó n	Homogéneo	Homogéneo	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	No Aplica	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
5_CVRPTW	1 ó n	Homogéneo	Homogéneo	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	NO	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	

PROBLEMAS	CARACTERISTICAS																						
	Cantidad de vehículos	Tipo de Equipos	Tipo de capacidad	Ventana de tiempo						Demanda	Demanda Compartida	Objetivo	Lugar de salida del vehículo	Lugar donde finaliza el vehículo	Recoge /entrega	Entrega		Recolección		Periodo para cumplir con la demanda	Múltiples depósitos		C.C.P
				HARD/SOFT	V.T. Grande	V.T. Mediana	V.T. Pequeña	Al Entregar	Al Recoger							Sale del depósito o lleno	Recoge productos mientras entrega	Regresa al depósito lleno	Utiliza múltiples depósitos		Clientes propios de cada depósito		
Situación Objeto de Estudio	1 ó n	Heterogéneo	Heterogénea	HARD/SOFT	SI	SI	SI	SI	SI	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NP-HARD	
6_PDPTW	1 ó n	Homogéneo	Homogéneo	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	SI	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
7_VRPPD	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	No Aplica	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
8_PVRP	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	No Aplica	No Aplica	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NP-HARD	
9_PVRPTW	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	NO	No Aplica	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NP-HARD	
10_MDVRP	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	No Aplica	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NP-HARD	

PROBLEMAS	CARACTERÍSTICAS																						
	Cantidad de vehículos	Tipo de Equipos	Tipo de capacidad	Ventana de tiempo						Demanda	Demanda Compartida	Objetivo	Lugar de salida del vehículo	Lugar donde finaliza el vehículo	Recoge /entrega	Entrega		Recolección		Periodo para cumplir con la demanda	Múltiples depósitos		C.C.P.
				HARD/SOFT	V.T. Grande	V.T. Mediana	V.T. Pequeña	AI Entrega	AI Recoger							Sale del depósito o lleno	Recoge productos mientras entrega	Regresa al depósito lleno	Utiliza múltiples depósitos		Cientes propios de cada depósito		
Situación Objeto de Estudio	1 ó n	Heterogéneo	Heterogénea	HARD/SOFT	SI	SI	SI	SI	SI	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NP-HARD	
11_MDVRPTW	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	NO	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NP-HARD	
12_SDVRP	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	NO	Conocida	SI	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
13_SDRPTW	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	NO	Conocida	SI	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
14_DARP	1 ó n	Homogéneo	Homogéneo	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	No Aplica	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	

Tabla 1: Comparación de las Características de la Situación Objeto de Estudio (SOE), con todos los problemas de ruteo de vehículos encontrados en la revisión de la literatura

Al realizar la evaluación comparativa, entre la situación objeto de estudio y las variantes del problema de ruteo de vehículos, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- La variante del Ruteo de Vehículos que más se asemeja a la situación es el PDPTW (*Pick-up and Delivery Problem with Time Windows*) en un 72.72% de las 22 características en comparación, siguiéndole el CVRPTW (*Capacited Vehicle Routing Problem with Time Windows*) en un 63.63% de las 22 características comparadas; estos son, los dos problemas de ruteo de vehículos que tienen más características en común al nuestro, por los que se podrían tomar como base al momento de buscar una posible forma de resolver este tipo de problemas. (*Ver Anexo H*).
- Las variantes que tienen la menor cantidad de características en común, son TSP, PVRP, y el MDVRP ya que tienen la menor cantidad de características en común, es decir, un 40.9% de las 22 características en comparación.
- Cabe anotar, dentro de estas conclusiones, que existe una variante que no fue tomada en cuenta en la tabla de comparación, el CVRPPDTW¹⁴ (*Capacited Vehicle Routing Problem with Pick-up and Deliveries with Time Windows*), debido a que no fue posible encontrar información al respecto.
- No existe una variante que se asemeje con total exactitud, por lo que se podría estar frente a un nuevo problema o variante al Ruteo de Vehículos.

¹⁴ Recuperado el 22 de mayo del 2008 de la web:
http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_rutas_de_veh%C3%ADculos

8. PROPUESTA DE MODELO DE PROGRAMACION LINEAL PARA LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO.

“Un modelo de Programación Lineal (PL) considera que las variables de decisión tienen un comportamiento lineal, tanto en la función objetivo como restricciones del problema. En este sentido, la Programación Lineal es una de las herramientas más utilizadas en la Investigación Operativa debido a que por su naturaleza se facilitan los cálculos y en general permite una buena aproximación de la realidad.”¹⁵

De acuerdo a las características de la situación objeto de estudio, y después de haber realizado una exhaustiva comparación con cada uno de los problemas de ruteo de vehículos estudiados, se realizó una propuesta de modelo de programación lineal para esta situación.

8.1 ANALISIS DE LA REALIDAD DE LA ACTIVIDAD ENTREGA Y RECOLECCIÓN DE EQUIPOS AUDIOVISUALES, Y PLANTEAMIENTO DE LOS SUPUESTOS PARA EL MODELO DE P.L.E. PROPUESTO.

Una vez realizada la comparación de las características de la situación objeto de estudio, con cada una de las características de los problemas de ruteo de vehículos estudiados, se llegó a la conclusión, que ninguno de los problemas estudiados se asemeja con total exactitud a la situación objeto de estudio en esta investigación. Por lo que se propondrá un modelo matemático de Programación lineal que se aproxime a las características del problema, que permita su solución.

¹⁵ Recuperado el 26 de Agosto del 2008 de la Web:
http://www.programacionlineal.net/programacion_lineal.html

A continuación, se realizó un profundo análisis de la realidad de la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales a las aulas de clases, y se proponen supuestos que van hacer empleados en cada una de ellas, permitiendo delimitar la misma, restringiendo aún más las características de la situación objeto de estudio, con el fin de proponer un modelo matemático aproximado, y dejar plasmado un inicio en cuanto a la formulación de la misma se refiere.

✓ **Periodos de las Clases:**

Realidad:

No existen inicios de clases iguales. Las clases no inician ni finalizan en el mismo instante de tiempo.

Ej.:

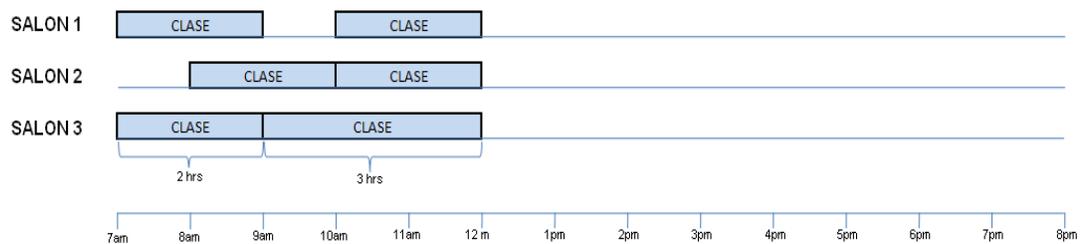


Figura 4. Horario de clases actual.

El gráfico anterior muestra la situación de las clases en la actualidad, es decir, el momento en que inician las clases en cada uno de los salones. Como es evidente en el gráfico, las clases no comienzan ni finalizan a la misma hora, por lo que la asignación del ruteo sería muy complicada al tratarlo desde este punto de vista, por lo que se proponen supuestos que restrinjan un poco esta situación, los supuestos son los siguientes

Supuesto 1: Todas las clases inician y finalizan al mismo tiempo.

Supuesto 2: Todas las clases tienen un tiempo de duración de 2 horas (Periodos)

Supuesto 3: El día o jornada está dividida en una cantidad de “L” periodos iguales.

Ej.: Supuesto 1,2 y 3:

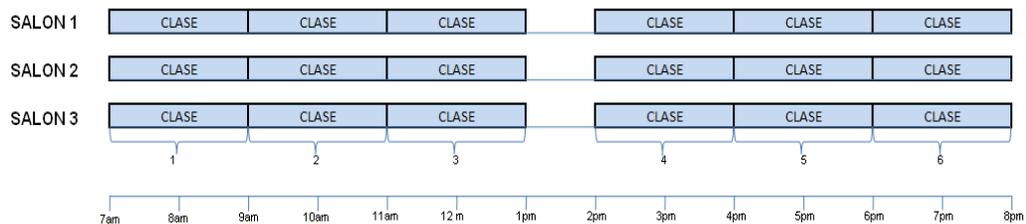


Figura 5. Periodos de clases dentro de la jornada.

El gráfico anterior, después de los supuestos 1, 2, y 3, muestra el horario de clases en cada uno de los salones, es decir, todas las clases comenzarán y finalizarán a la misma hora, permitiendo realizar una mejor asignación de visitas a los clientes, logrando satisfacerlos.

Supuesto 4: Se tiene un total de 6 periodos en una jornada

Por lo que, “ I ” es el número de periodos encontrados en una jornada, tal que $I = \{1, \dots, 6\}$; $\text{card}(I) = L = 6$

Supuesto 5: hay una (1) hora de almuerzo (1pm – 2pm), para poder disminuir la complejidad de tener jornadas de 13 horas/día, y facilitar el “Supuesto 2” y el “Supuesto 3”.

✓ **Tipos de Equipos en la Bodega:**

Realidad:

En la bodega, existen equipos de naturaleza heterogénea, es decir, existen varios tipos de equipos que pueden ser entregados a los clientes.

Supuesto 6: se utilizarán “ p ” tipo de equipos que pueden ser solicitados por los clientes.

Sea “ p ” el tipo de equipos en la bodega que pueden ser entregados, tal que $p =$ tipo de equipos; $p = \{1, 2\}$

Realidad:

Cada tipo de equipos “ p ” tiene una cierta cantidad de existencias; no es posible saber la exacta ubicación de cada uno de ellos, por lo que esto dificulta la construcción del modelo.

Supuesto 7: Se le asignará a cada tipo de equipos una identidad “ q ”, de modo que pueda conocer la ubicación de cada uno de ellos.

Ej.:

$p = 1 =$ Videobeam; tiene 10 existencias en bodega, por lo que es necesario darle a cada existencia de cada equipo una identidad, que estaría dada por otro subíndice asociado a cada uno de los valores que pueda tomar “ p ”, este subíndice podría ser “ q ”.

p	EQUIPO	EXISTENCIA	 q 									
1	Videobeam	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	PC	6	1	2	3	4	5	6	—	—	—	—
3	XYZ	4	1	2	3	4	—	—	—	—	—	—
.	.	.						.				
.	.	.						.				
.	.	.						.				
P	Cámara	2	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 2. Ejemplo de Tipos de equipos y existencia de los mismos

En la que “ q ” podría tomar los valores de 10, 6, 4,..., 2 dependiendo del valor que tome “ p ”, como en el ejemplo anterior, $p = 1$, entonces, $q = 10 = Q$

✓ **Capacidad del vehículo:**

Realidad:

La capacidad de carga de los vehículos, es un parámetro asociado a las características físicas del mismo (Personas), debido a que todos ellos no poseen la misma capacidad de carga, puede existir la eventualidad de que unos puedan cargar más equipos que otros.

Supuesto 8: El supuesto a emplear en esta característica, es, que todos los vehículos tendrán la misma capacidad de carga, es decir, no se tomará en cuenta las características físicas del vehículo, por lo que se asumirá que es homogénea.

✓ **Ventana de Tiempo:**

Realidad:

Los equipos se entregan al inicio de cada clase, no existe ventana de tiempo.

Supuesto 9: Se quiere atender la demanda entregando o retirando los equipos dentro de una ventana de tiempo pequeña, la cual inicia con el periodo, y dura lo que los clientes establecieron en las encuestas, 10 min, de acuerdo con las encuestas realizadas a los clientes. (Véase, Punto 8.6.2, Definición de la Ventana de Tiempo.).

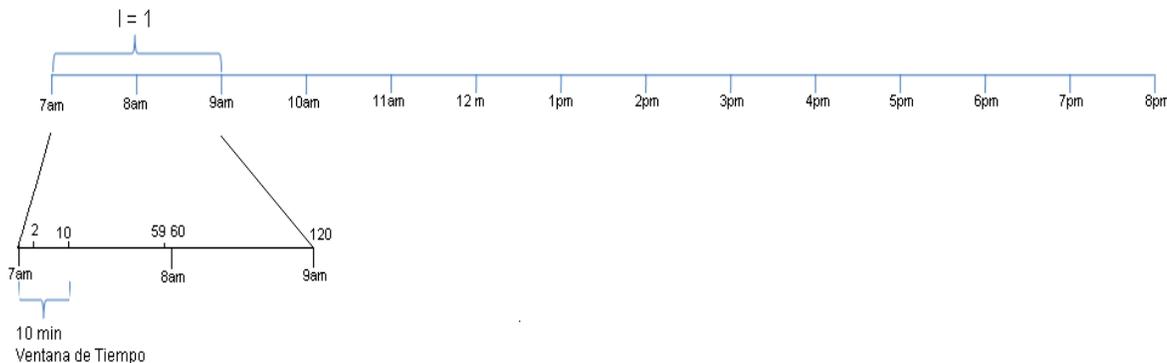


Figura 6. Ventana de Tiempo pequeña dentro de un periodo.

El gráfico anterior muestra la Ventana de Tiempo pequeña encontrada dentro de un periodo, es decir, es el lapsus de tiempo en que los vehículos deben llegar a atender al cliente.

Se pretende atender varias demandas, con el mismo vehículo, en el mismo periodo, SIN violar la restricción de la ventana de tiempo.

Ej.:

Si $D = \text{demanda} = 3$, Significa que se debe atender o visitar 3 salones, partiendo de la bodega, para entregar e instalar los equipos.

Tiempo Total de Atención (TTA) ≤ Duración Ventana de tiempo

$$TTA = \begin{array}{l} \text{Tiempo de entregar o} \\ \text{instalar los equipos} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Tiempo de recorrido desde} \\ \text{"m" hasta "k" o su distancia} \\ \text{expresada en tiempo} \end{array} \leq \begin{array}{l} \text{Ventana de} \\ \text{Tiempo} \end{array}$$

$$TTA = \left[\left(3 * 2 \text{ min} / \text{equipo} \right) + d_{0 \rightarrow 1,2,3} \right] \leq 10 \text{ min}$$

✓ **Tiempo de Atención:**

Realidad: En la actualidad el tiempo de atención, es decir, la cantidad de tiempo que demora el vehículo instalando y/o desinstalando los equipos no está establecido.

Supuesto 10: El tiempo de atención de los vehículos debe estar en el rango de 2 a 4 minutos.

(Véase, Punto 8.6.1.3, Tabulación y Análisis de los Resultados de las Encuestas).

8.2 TABLA DE COMPARACIÓN DE LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO (S.O.E) RESTRINGIDA, CON LOS PROBLEMAS QUE MÁS ASEMEJARON EN LA ANTERIOR COMPARACION.

Después de haber elaborado los supuestos correspondientes a cada situación en concreto, se procedió a realizar una nueva tabla de comparación, entre las características de la situación objeto de estudio restringido, con los problemas de ruteo de vehículos que más se asemejaron en la tabla anterior. (Véase, tabla 1)

PROBLEMAS	CARACTERISTICAS																						
	Cantidad de vehículos	Tipo de Equipos	Tipo de capacidad	Ventana de tiempo						Demanda	Demanda Compartida	Objetivo	Lugar de salida del vehículo	Lugar donde finaliza el vehículo	Recoge /entrega	Entrega		Recolección		Periodo para cumplir con la demanda	Múltiples depósitos		C.C. P.
				HARD/SOFT	V.T. Grande	V.T. Mediana	V.T. Pequeña	AI Entregar	AI Recoger							Sale del depósito lleno	Recoge productos mientras entrega	Regresa al depósito lleno	Utiliza múltiples depósitos		Cientes propios de cada depósito		
Situación Objeto de Estudio	1 ó n	Heterogéneo	Homogéneo	HARD/SOFT	SI	SI	SI	SI	SI	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NP-HARD	
PDPTW	1 ó n	Homogéneo	Homogéneo	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	SI	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
CVRPTW	1 ó n	Homogéneo	Homogéneo	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	NO	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
VRPPD	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	No Aplica	NO	NO	NO	No Aplica	No Aplica	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	
VRPTW	1 ó n	Homogéneo	No Aplica	HARD/SOFT	NO	NO	SI	SI	NO	No Aplica	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NP-HARD	

Tabla 3. Comparación de la S.O.E. restringida con los problemas más parecidos del ruteo de vehículos.

Al realizar la comparación se llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ El problema que más se asemeja a la situación objeto de estudio, sigue siendo el PDPTW, con 17 características similares, una más que en la comparación anterior, pasando del 73% de coincidencias a un 77,2%. (Ver, Anexo I)
- ✓ A pesar que, el PDPTW es el problema de ruteo de vehículos que más se parece a la situación objeto de estudio, esta última aun se diferencia en 5 características únicas, que imposibilitan la utilización de supuestos para simplificar u obviarlas.
- ✓ Todo esto, puede sugerir, que la situación objeto de estudio, es un problema que podría ser considerado como un nuevo problema de ruteo de vehículos, aun no descrito por la literatura especializada y por ende se hace necesario la construcción de un modelo de Programación Lineal que lo solucione.

8.3 CARACTERÍSTICAS DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.

La revisión de la literatura, muestra que un problema de Programación Lineal, debe estar compuesto por las siguientes características:

- Índices o conjuntos
- Variables y Parámetros de decisión,
- Función Objetivo,
- Las restricciones del problema, y
- Cumplir la condición de No Negatividad.

Es por esto, que en esta sección, se proponen dichas características, de tal forma que, puedan ser utilizadas para la formulación y resolución de esta situación en concreto

8.4 INDICES A EMPLEAR EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.

A continuación, se presentan los índices que van hacer parte de las variables utilizadas en la propuesta del Modelo de Programación lineal:

✓ Vehículos:

Sea “ n ” el conjunto de vehículos disponibles, tal que $n = \{1, \dots, N\}$ donde N es la cantidad de vehículos totales existentes.

✓ Salones:

Sea “ m ” el conjunto de Salones/Origen a atender, tal que $m = \text{Salón/Origen} = \{0, 1, \dots, M\}$ donde M es número de salones/origen a atender.

Donde, $m = 0 =$ Bodega de donde salen los vehículos.

Sea “ k ” el conjunto de salones/Destino a atender, tal que

$k = \text{Salón/Destino} = \{0, 1, \dots, M\}$

Donde, $k = 0 =$ Bodega

$|m| = |k| = M+1$

✓ Periodos:

Sea “ l ” el número de periodos en una jornada, tal que $l = \{1, \dots, L\}$ donde L es el número de periodos encontrados dentro de la jornada (*véase, 8.1 Análisis de la realidad de la actividad entrega y recolección de equipos audiovisuales, y planteamiento de los supuestos para el modelo de P.L.E. propuesto, Periodos de clases, Supuestos 1, 2, y 3*).

✓ Tipos de equipo:

Sea “ p ” el número de equipos existentes en la bodega, tal que $p = \{1, \dots, P\}$ donde P es el número de tipos de equipos existentes en la bodega.

Sea “ q ” el número de existencia de c/u de los equipos “ p ”, tal que $q = \{1, \dots, Q\}$ donde Q es el número de existencia de cada uno de los tipos de equipos en Depósito. (Véase, 8.1 *Análisis de la realidad de la actividad entrega y recolección de equipos audiovisuales, y planteamiento de los supuestos para el modelo de P.L.E. propuesto, Tipos de equipos en la Bodega, Supuestos 6 y 7*)

8.5 TIPO DE VARIABLES A UTILIZAR EN LA PROPUESTA DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.

Las Variables son incógnitas que deben buscársele solución al momento de resolver el modelo de programación lineal. Como propuesta a las variables que se podrían utilizar y, de acuerdo a los índices explicados con anterioridad, expresamos la variable binaria en función de los mismos:

- Variable Binaria: Este tipo de variable es importante utilizarla en este problema, puesto que se debe tomar una decisión, si se realiza o no la misma. Es por esto que la variable binaria para este problema se podría dar como:

$$X_{n,m,k,p,q}^+$$

Si el Vehículo “ n ” sale del origen “ m ” al destino “ k ” en el período “ l ” entregando el tipo de equipo “ p ”, ítem “ q ”.

El signo “+” en la parte superior de la variable binaria, indica que se está entregando el equipo, y cuando se está recogiendo se expresara la variable con el signo “-”. Quedando así:

$$X_{n,m,k,l,p,q}^-$$

Si el Vehículo “ n ” sale del origen “ m ” al destino “ k ” en el período “ l ” recogiendo el tipo de equipo “ p ”, ítem “ q ”.

Cabe resaltar, que esta variable está incompleta, puesto que ésta debe ser completada teniendo en cuenta aspectos como el tiempo de instalación y desinstalación de los equipos, el tiempo de traslado de un lugar a otro, y la ventana de tiempo.

8.6 PARÁMETROS DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL.

Los Parámetros son los valores que describen la relación entre las variables de decisión, ellos son los valores que permanecen constantes en cada problema de programación lineal, y varían de acuerdo a las características y especificaciones de cada uno de ellos. Los parámetros más comunes empleados en un problema son los siguientes:

- Coeficientes de costo
- Coeficientes tecnológicos
- Término independiente o Lados Derechos

El parámetro de coeficiente de costo, está dado por la siguiente expresión y dependerá de la variable binaria explicada a continuación, quedando así:

$$C_{n,m,k,l,p,q}$$

Costos del recorrido al entregar/recoger con el vehículo “ n ” del origen “ m ” al destino “ k ” en el periodo “ l ” el tipo de equipo “ p ”, ítem “ q ”

A continuación, se presentarán aquellos valores que permanecerán constantes en el modelo de Programación Lineal propuesto para la Situación Objeto de Estudio.

8.6.1 Nivel de Servicio de la Actividad de Entrega y Recolección de Equipos Audiovisuales.

El Nivel de Servicio juega un papel importante en la entrega y recolección de equipos audiovisuales en los centros educativos, puesto que los materiales de apoyos deben llegar en el tiempo estipulado a cada una de las aulas de clase, para así cumplir con las especificaciones impuestas por el cliente a lo largo de la jornada, logrando que ellos se encuentren satisfechos con el servicio prestado.

Para poder cumplir con las necesidades que tiene el cliente, y alcanzar el nivel de servicio deseado por ellos, se realizaron encuestas a una muestra significativa de la población estudiantil de la UTB, para revelar cómo se encuentra el nivel de servicio en la actualidad prestado por la institución (Universidad Tecnológica de Bolívar) y así establecer el grado de satisfacción de los clientes con el servicio suministrado.

Se han identificado los elementos que le permiten al usuario establecer si el servicio prestado por el departamento de audiovisuales es bueno o no y

posteriormente se estableció El nivel de servicio actual y deseado por ellos, el cual fue medido a través de los datos arrojados en las encuestas que se practicaron.

8.6.1.1 Encuestas Realizadas

Para lograr determinar el nivel de servicio actual y deseado por cada uno de los clientes, de la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales, se realizaron 160 encuestas que demostraron el estado actual de la prestación de servicio en la universidad Tecnológica de Bolívar dentro de las dos sedes (Manga y Ternera).

8.6.1.2 Cálculo de Tamaño de Muestra

Para poder aceptar la validez estadística de los resultados obtenidos, primero es necesario demostrar que la muestra escogida es representativa de la población total. Para este caso en particular, la población era finita, y se buscaba determinar cuántas personas del total habría que encuestar para poder realizar conclusiones representativas de la población total.

La población (Universidad Tecnológica de Bolívar) a la cual se encuestó fue la siguiente:

POBLACION ESTUDIANTIL DE PREGRADO		
No	PROGRAMA	2P
1	INGENIERIA INDUSTRIAL	500
2	INGENIERIA ELECTRICA	66
3	INGENIERIA MECANICA	249
4	INGENIERIA ELECTRONICA	309

5	INGENIERIA DE SISTEMAS	158
6	INGENIERIA MECATRONICA	90
7	INGENIERIA CIVIL	63
8	INGENIERIA AMBIENTAL	39
9	INGENIERIA GENERAL (EDUCACION PERMANENTE)	24
10	INGENIERIA QUIMICA (EDUCACION PERMANENTE)	15
11	ADMINISTRACION DE EMPRESAS	248
12	ECONOMIA	41
13	PSICOLOGIA	222
14	CONTADURIA PUBLICA	155
16	FINANZAS Y NEGOCIOS INTERNACIONALES	534
17	COMUNICACION SOCIAL	248
18	ADMINISTRACION MODALIDAD DUAL	54
19	TECNOLOGIA EN SISTEMAS	434
20	CIENCIA POLITICA Y RELACIONES INTERNACIONALES	47
	TOTAL	3496

Tabla 4.¹⁶

Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * p * q * (z_{\alpha/2})^2}{p * q * (z_{\alpha/2})^2 + (N - 1) E^2}$$

Donde:

N: Tamaño de la población

¹⁶ Tabla de población. Fuente: departamento de admisiones y registro académico .datos correspondientes al primer periodo del 2008.

$(1-\alpha)$: Nivel de seguridad/confianza – probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad.

$Z_{\alpha/2}$: Coeficiente dado un nivel de seguridad/confianza (De la distribución Normal Estándar)

p : Probabilidad de ocurrencia

q : $(1-\alpha)$

E : Precisión/error máximo permitido

Para este caso, se tomaron los siguientes valores:

N	3496
$(1 - \alpha)$	0.95
$Z_{0.05}$	1.96
$(Z_{0.05})^2$	3.8416
p	0.96
q	0.04
E	0.03
E^2	0.0009
$N - 1$	3495

$$n = \frac{(3496)(1.96)(0.96)(0.04)}{(0.0009)(3495) + (1.96)(0.96)(0.04)} = 156 \text{ Encuestas}$$

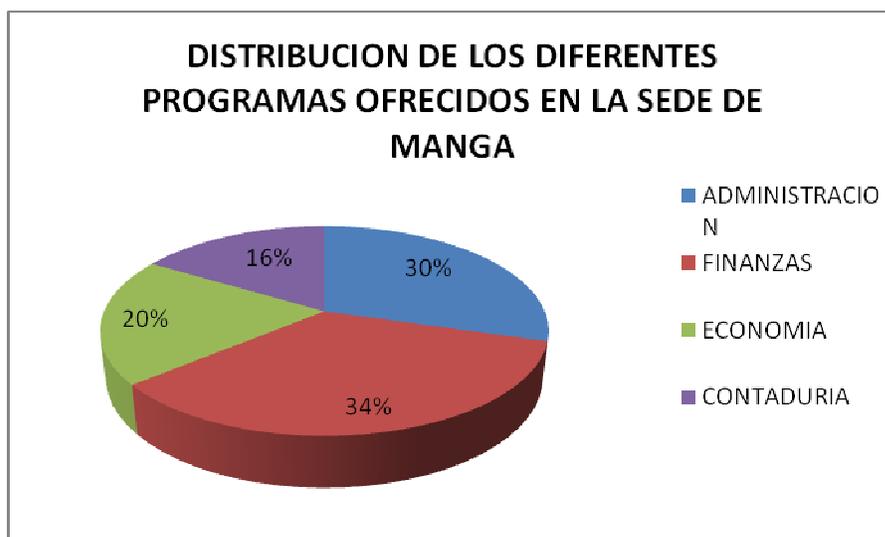
8.6.1.3 Tabulación y Análisis de los Resultados de las Encuestas

En el transcurso del estudio realizado sobre la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales se realizaron encuestas (ver formato anexo a) a una muestra representativa de 160 personas en las dos sedes de la Universidad Tecnológica de Bolívar, en la sede de ternera y en la de manga.

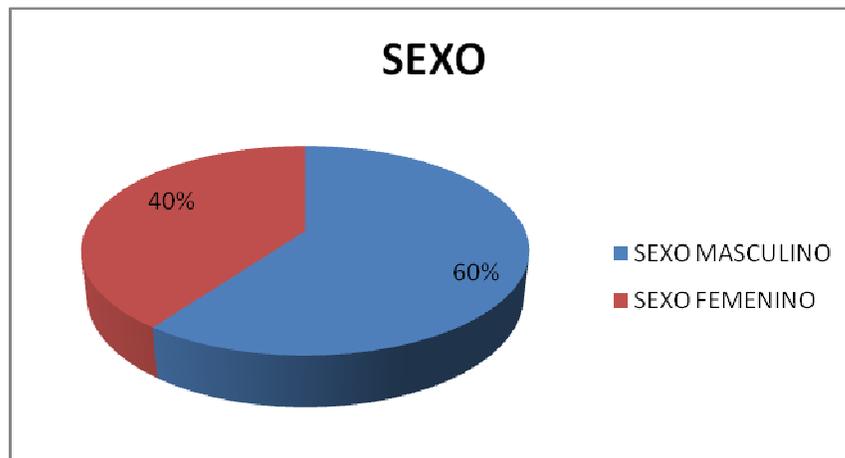
A continuación se ilustran los resultados que arrojaron tanto las encuestas realizadas en la sede de manga, como la de ternera.

- Sede de Manga:

En esta sede fueron encuestado 60 personas de todas las carreras ofrecidas, tanto de sexo femenino como masculino.

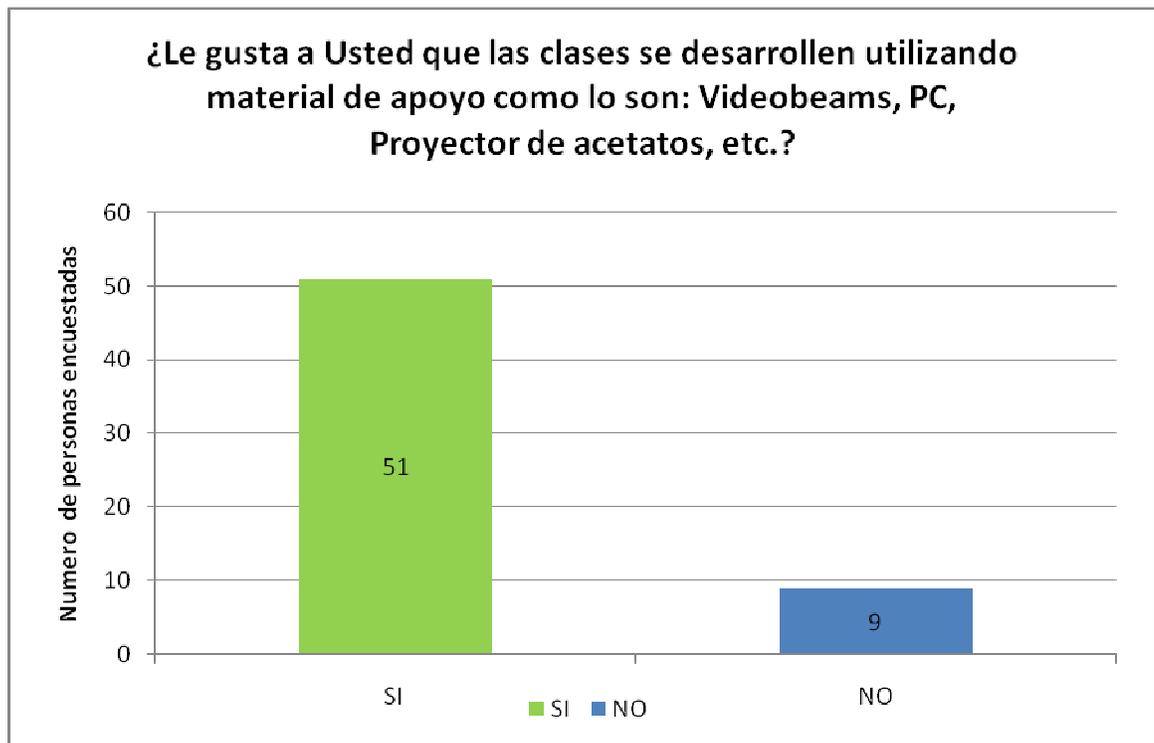


De las personas encuestadas en la sede de manga, 34% de ellas fueron del programa de finanzas, siguiéndole administración con un 30%, economía con 20% y contaduría pública con un 16%.



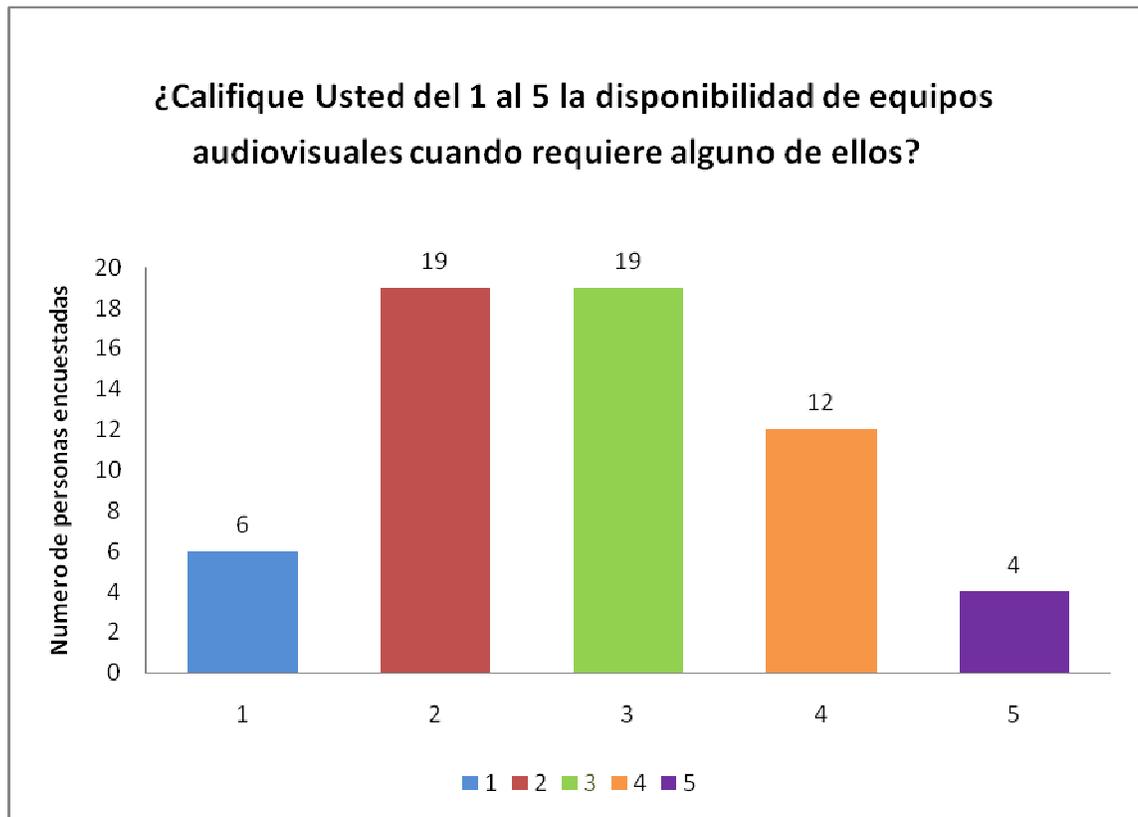
En esta sede encontramos que el número de personas encuestadas del sexo femenino fue superior por 2 al del sexo masculino, no habiendo mucha diferencia entre estos dos géneros.

1. ¿Le gusta a Usted que las clases se desarrollen utilizando material de apoyo como lo son: Videobeams, PC, Proyector de acetatos, etc.?



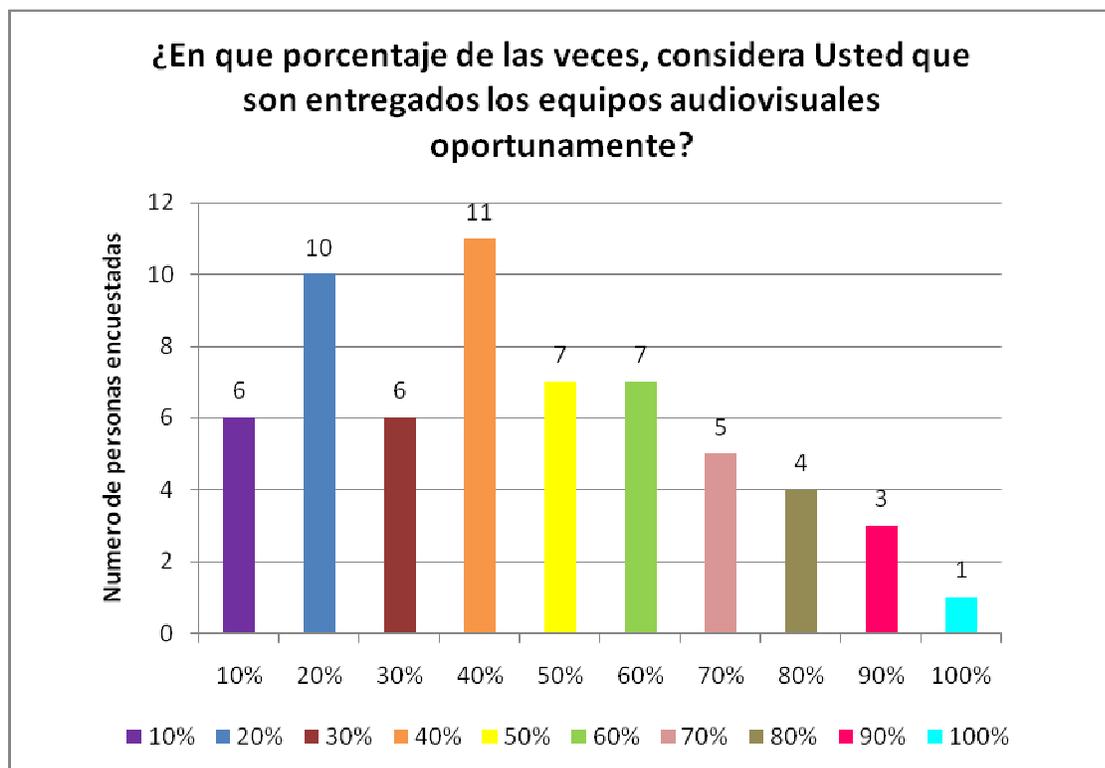
Al analizar la respuesta que dieron los diferentes encuestados con respecto a esta pregunta se logra evidenciar que el número de personas que prefieren recibir sus clases con alguna ayuda audiovisual es de un 91%, siendo estos equipos preferidos por la mayoría.

2. ¿Califique Usted del 1 al 5 la disponibilidad de equipos audiovisuales cuando requiere alguno de ellos?



Al analizar los resultados arrojados por esta pregunta se observa que el 73.33% de las personas encuestadas califican con 1 (10% de los encuestados), 2 (31.66% de los encuestados) y 3 (31.66% de los encuestados) la disponibilidad de los equipos cuando requieren de ellos, dando a entender que no los encuentran disponibles en el momento que lo solicitan y por ende se hace necesario mejorar este servicio.

3. ¿En qué porcentaje de las veces, considera Usted que son entregados los equipos audiovisuales oportunamente?

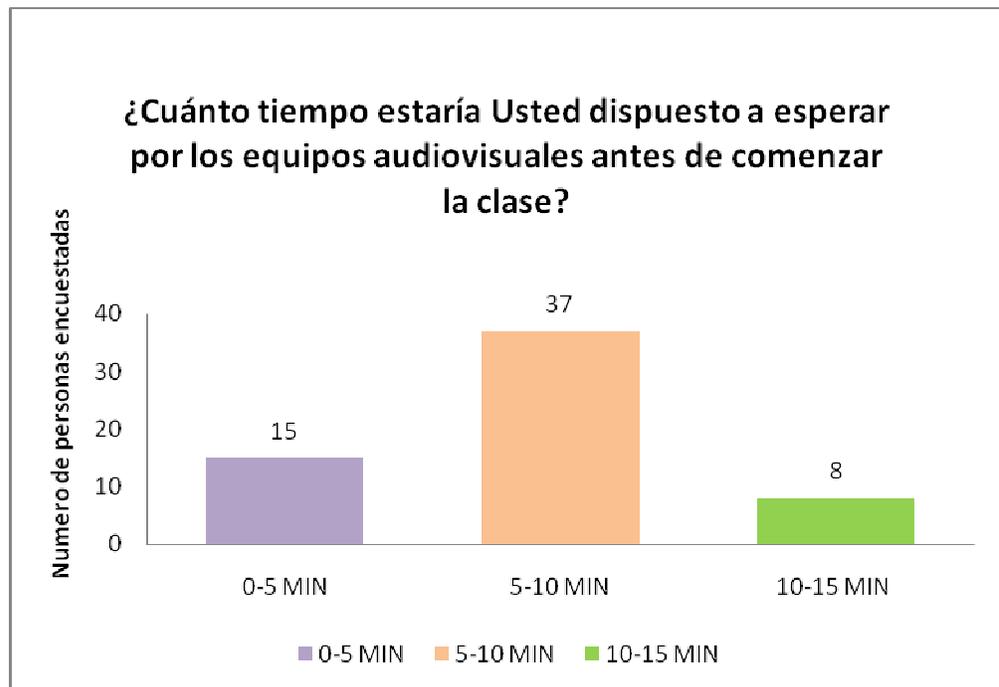


Al analizar los resultados de esta pregunta se observa que el mayor número de personas encuestadas (78.33%) consideran que los equipos audiovisuales no se entregan en el tiempo oportuno en que se solicitan para el desarrollo de las clases.

4. ¿Cuánto tiempo estaría Usted dispuesto a esperar por los equipos audiovisuales antes de comenzar la clase?

0 – 5 min. _____ 5 – 10 min. _____ 10 - 15 min. _____

Si es más, cuanto?

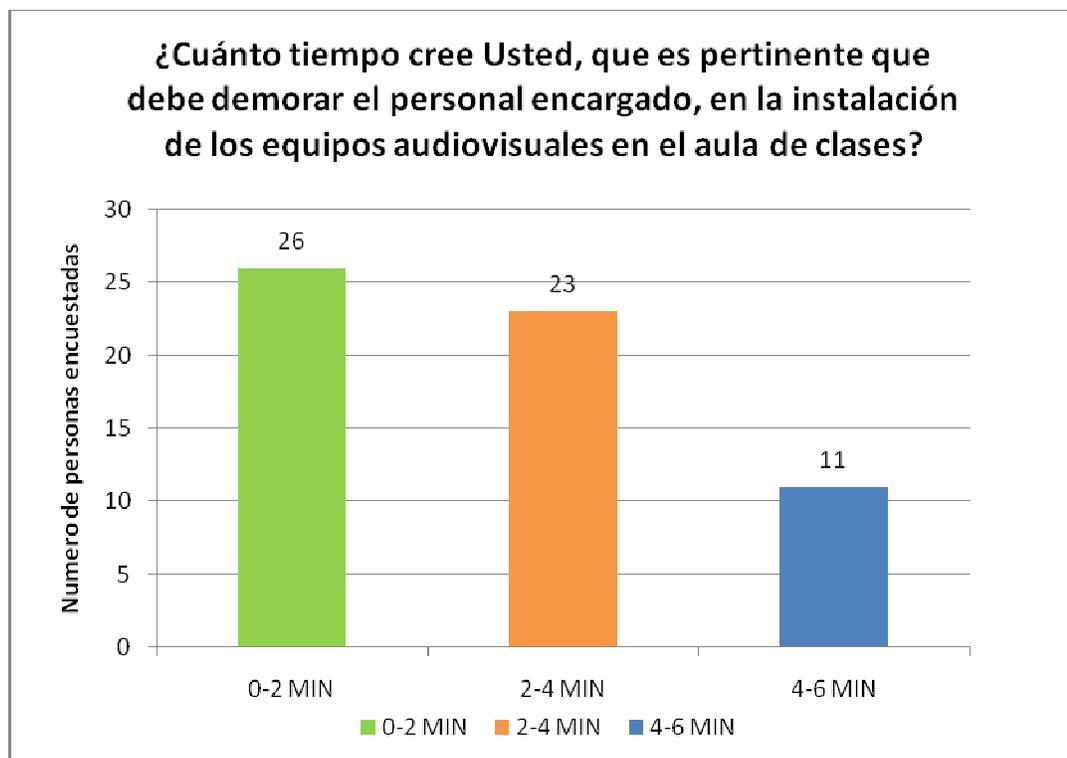


En esta respuesta nos damos cuenta que el tiempo que estan dispuestos los clientes a esperar los equipos al cominzo de cada clase es de 5 a 10 minutos, ya que 61.66% de las personas encuestadas prefieren este lapsus de tiempo.

5. ¿Cuánto tiempo cree Usted, que es pertinente que debe demorar el personal encargado, en la instalación de los equipos audiovisuales en el aula de clases?

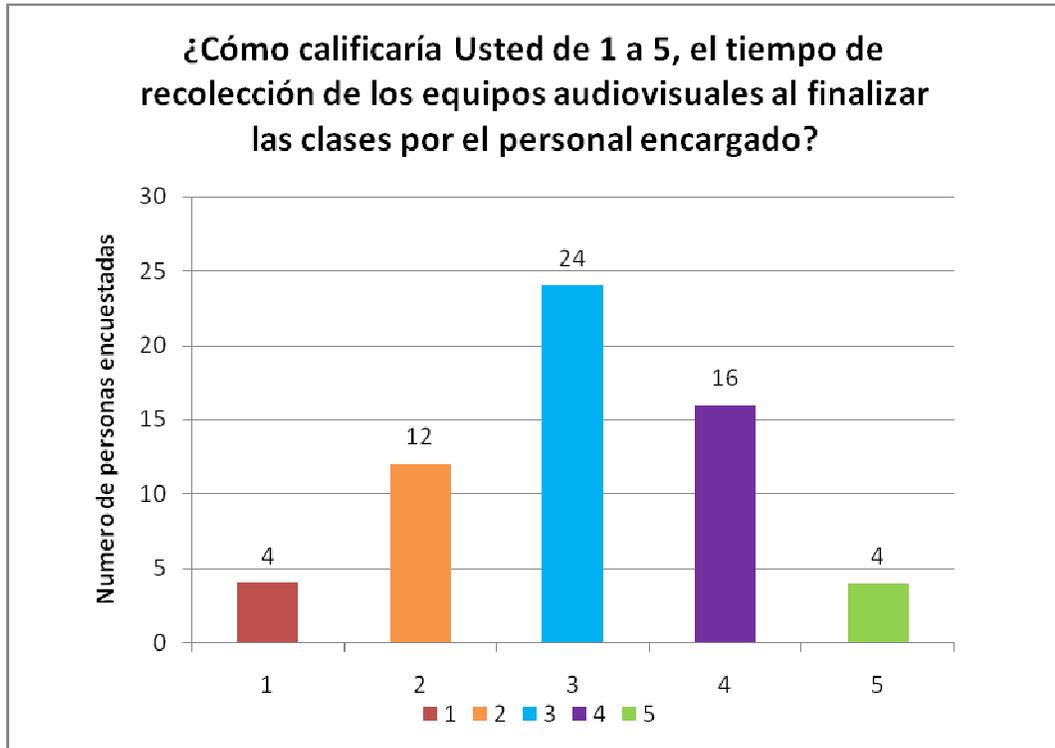
0 – 2 min. _____ 2 – 4 min. _____ 4 – 6 min. _____

Si es mas, cuanto? _____



En esta pregunta hubo 26 personas encuestadas que creen, que el personal encargado debe demorar de 0 a 2 minutos en instalar los equipos audiovisuales, seguido de la opcion 2, la cual 23 personas dicen que debe ser de 2 a 4 minutos. No habiendo una gran diferencia entre estas dos, lo que quiere decir que la mayoria de las personas creen que es pertinente que el personal encargado debe demorarse en la instalacion de los equipos de 0 a 4 minutos.

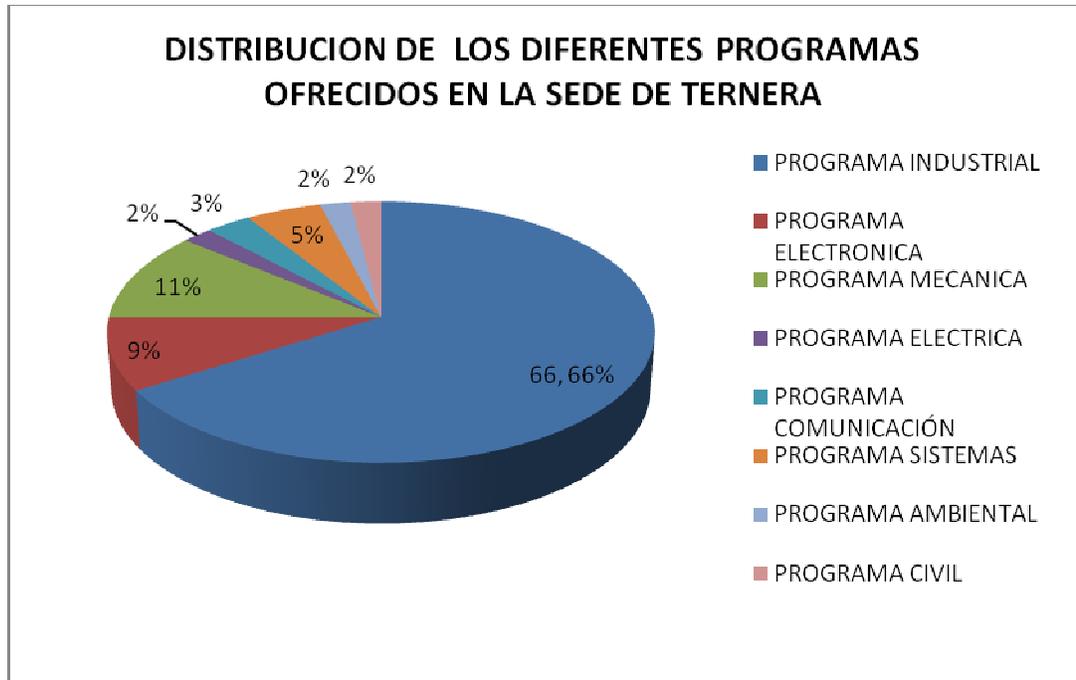
6. ¿Cómo calificaría Usted, de 1 a 5, el tiempo de recolección de los equipos audiovisuales al finalizar las clases por el personal encargado?



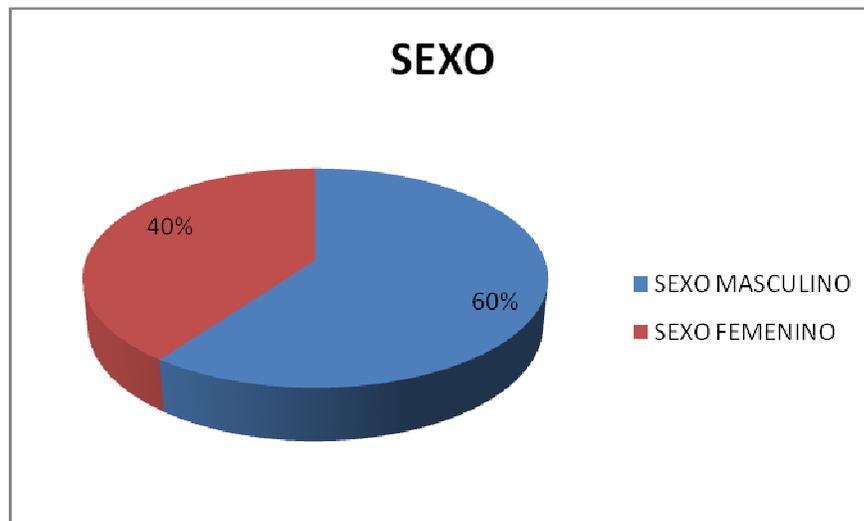
Al analizar esta respuesta vemos que el 66.66% de las personas encuestadas se ubicaron dentro de las calificaciones 1,2 y 3, dejando entre dicho que el tiempo de recolección de los equipos audiovisuales al finalizar las clases por el personal encargado es regular.

- Sede de ternera:

En esta sede fueron encuestados 100 personas de todas las carreras ofrecidas, tanto de sexo femenino como masculino.

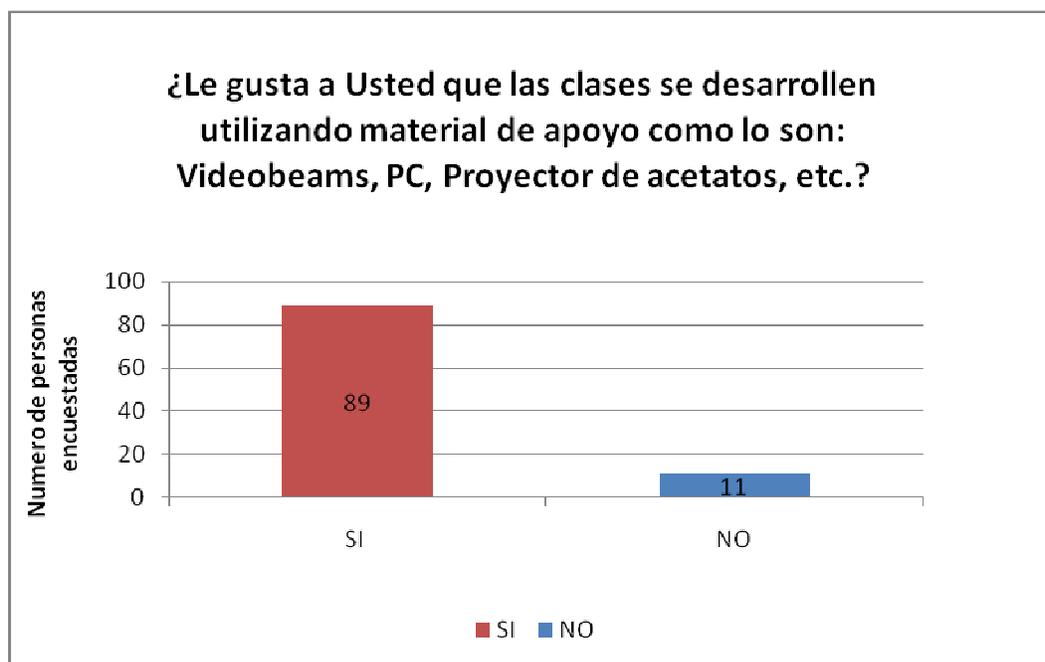


En esta sede, el 66% de las personas encuestadas pertenecen al programa de Ingeniería Industrial, seguido de ingeniería mecánica con el 11%, ingeniería electrónica con el 9%, tecnología en sistema con el 5%, comunicación social con el 3% y de último ingeniería eléctrica, ingeniería civil, ingeniería ambiental, con el 2%.



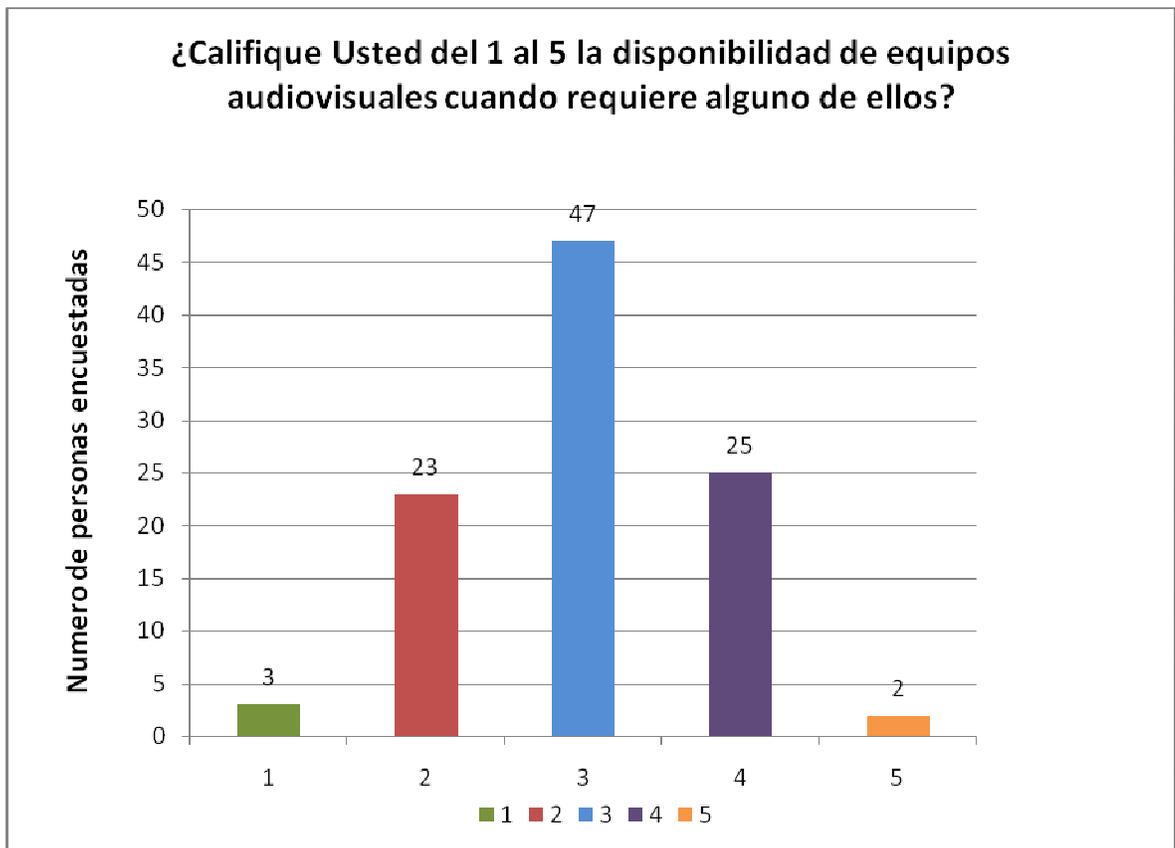
En esta sede encontramos que el 60% de las personas encuestadas fueron del sexo masculino, superando así al genero femenino.

1. ¿Le gusta a Usted que las clases se desarrollen utilizando material de apoyo como lo son: Videobeams, PC, Proyector de acetatos, etc.?



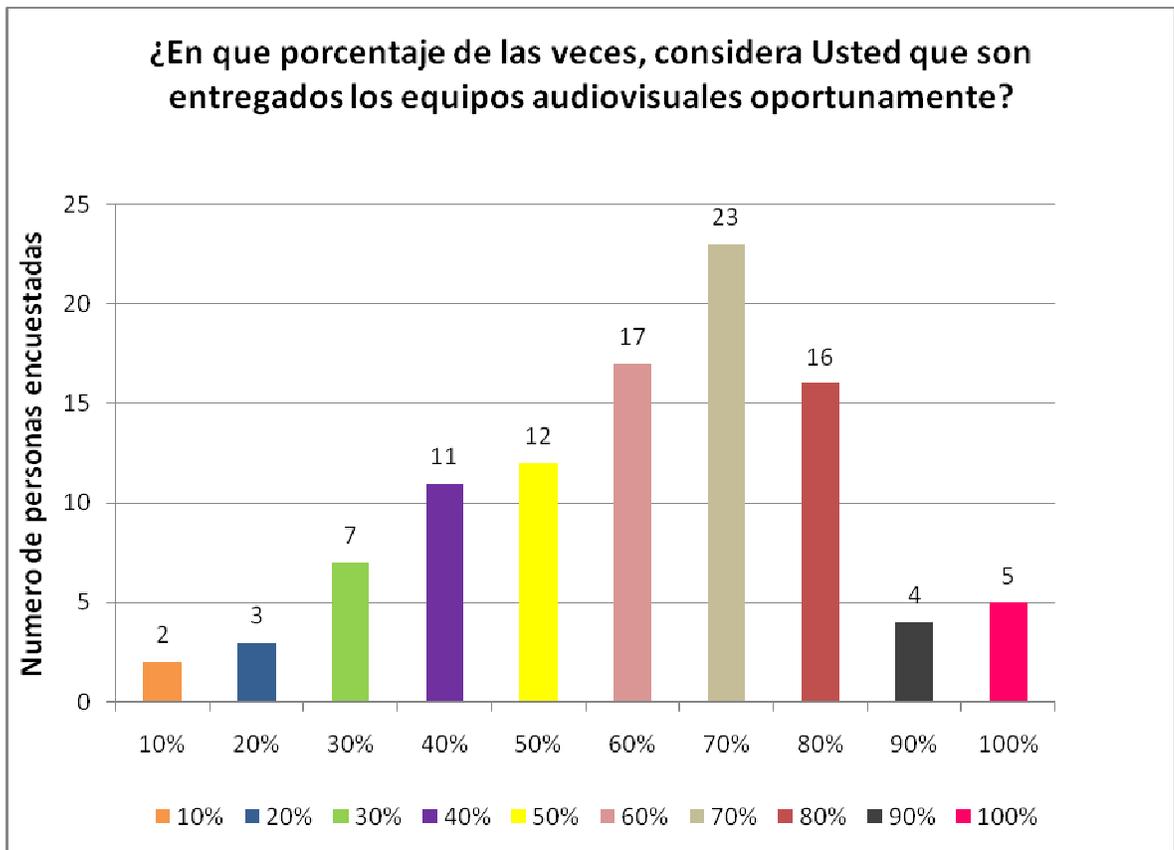
Al analizar la respuesta nos damos cuenta que al igual que en la sede de manga las personas prefieren uso de equipos audiovisuales en el desarrollo de sus clases. En esta sede se obtuvo que el 89% de las personas encuestadas, se encuentran a favor que se desarrollen las clases con ayuda de los equipos audiovisuales.

2. ¿Califique Usted del 1 al 5 la disponibilidad de equipos audiovisuales cuando requiere alguno de ellos?



Al analizar los resultados arrojados en esta pregunta, nos damos cuenta que al igual que en la sede de manga el 73% de las personas piensan que los equipos no se encuentran disponibles en el momento que ellos los solicitan. Dando a entender que la oferta de equipos audiovisuales no es suficiente para la demanda.

3. ¿En qué porcentaje de las veces, considera Usted que son entregados los equipos audiovisuales oportunamente?



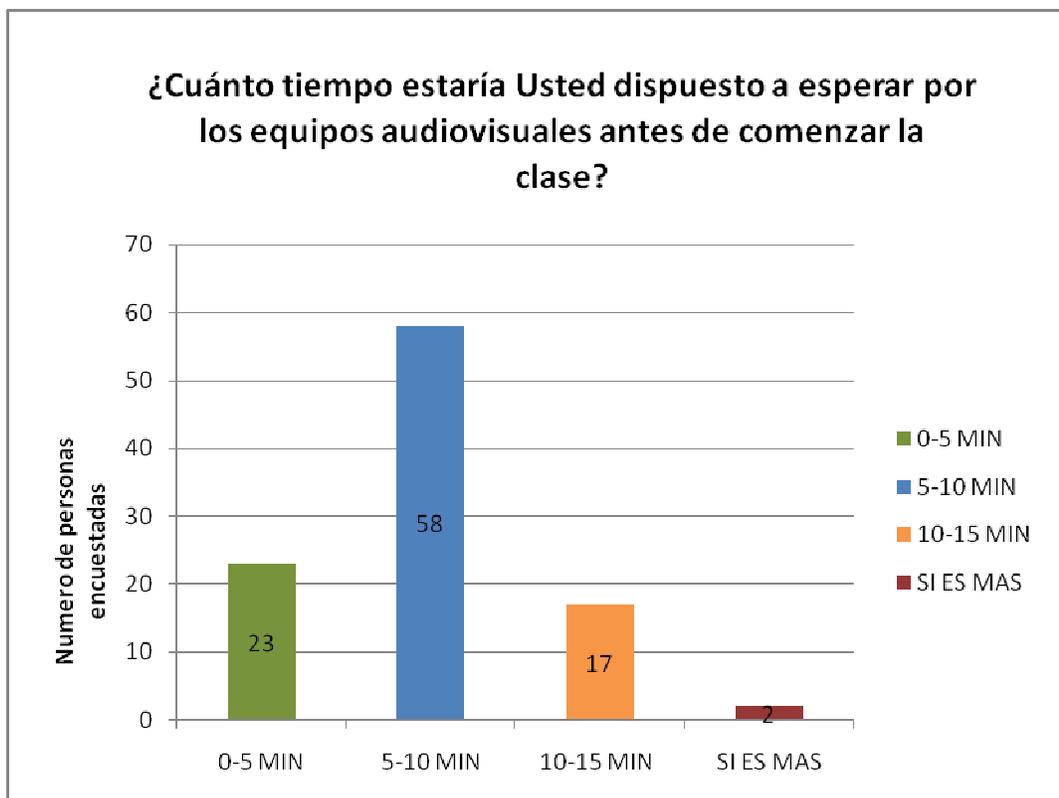
En los resultados obtenidos en esta repuesta encontramos, que al sumar las respuestas de las personas insatisfechas muestra que el 52% de la población considera que los equipos audiovisuales no son entregados oportunamente. Al

comparar este resultado de esta sede con los encuestados en manga vemos que el porcentaje en esta sede es menor 20%.

4. ¿Cuánto tiempo estaría Usted dispuesto a esperar por los equipos audiovisuales antes de comenzar la clase?

0 – 5 min. _____ 5 – 10 min. _____ 10 - 15 min. _____

Si es más, cuanto?

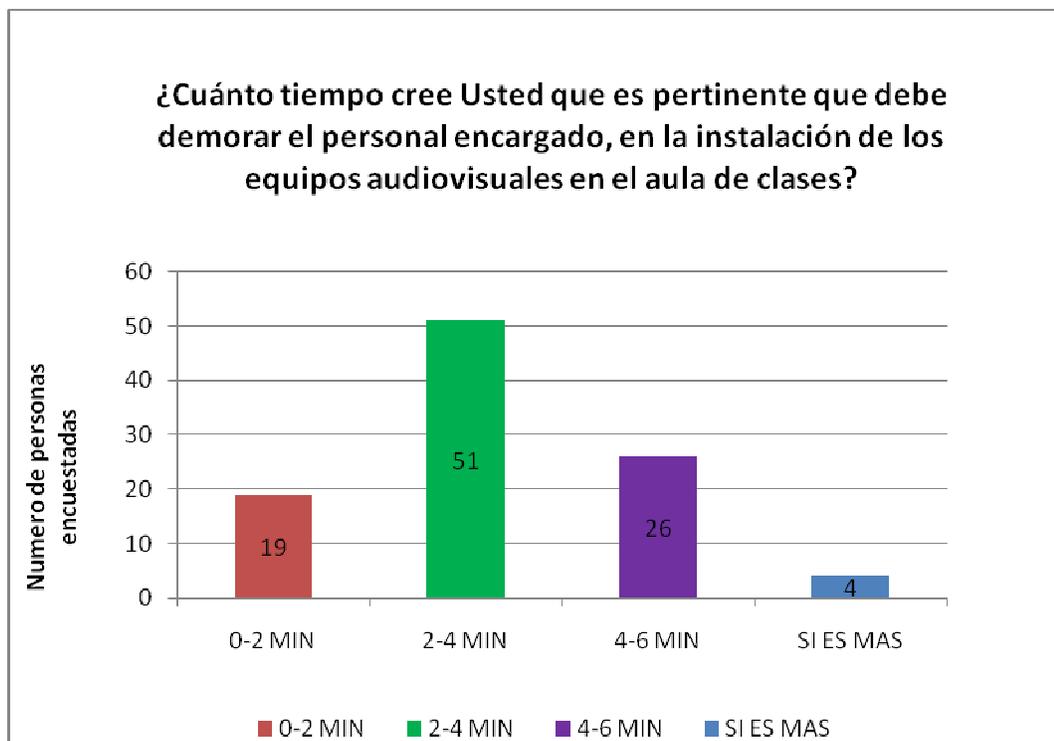


En esta sede al igual que en la de manga las personas encuestadas están dispuestas a esperar los equipos audiovisuales antes de comenzar la clase de 5 a 10 minutos.

5. ¿Cuánto tiempo cree Usted que es pertinente que debe demorar el personal encargado, en la instalación de los equipos audiovisuales en el aula de clases?

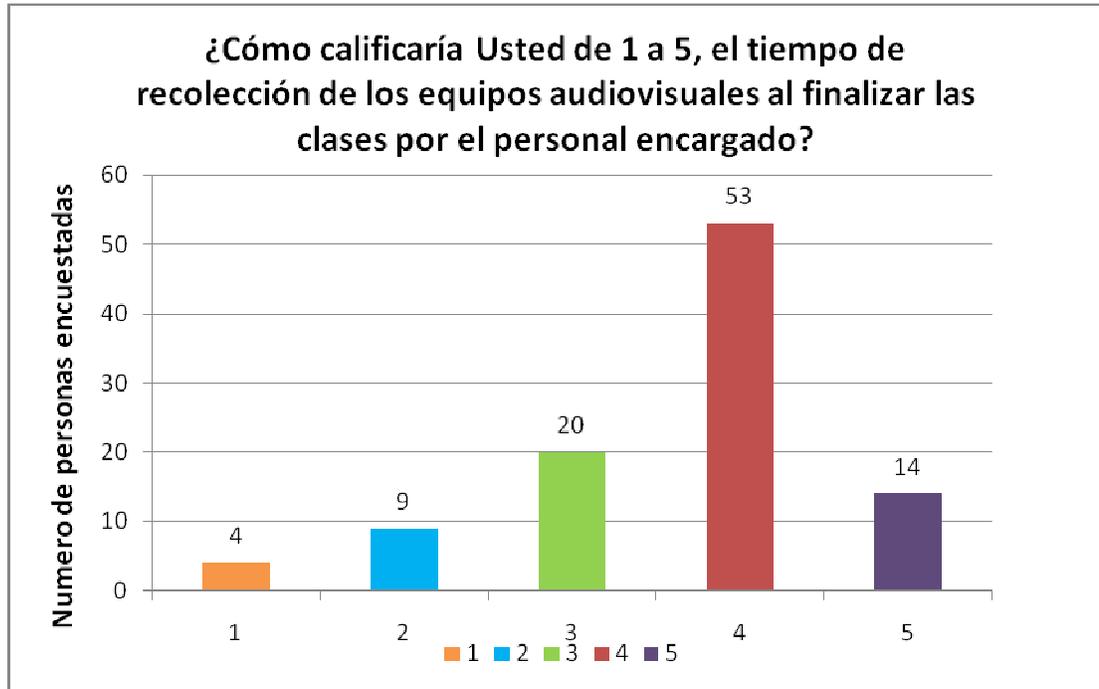
0 – 2 min. _____ 2 – 4 min. _____ 4 – 6 min. _____

Si es mas, cuanto? _____



Al analizar los resultados se observa que el 51% de la poblacion encuestada cree que es pertinente que el personal encargado de los equipos se demore en su instalacion de 2 a 4 minutos.

6. ¿Cómo calificaría Usted de 1 a 5, el tiempo de recolección de los equipos audiovisuales al finalizar las clases por el personal encargado?



Los resultados arrojados en la respuesta a esta pregunta muestra que el 67% de los encuestados en esta sede califican el tiempo de recolección de los equipos audiovisuales como muy bueno, siendo estos resultados totalmente opuestos a los obtenidos en la sede de manga con un 66.66% que piensan que es regular.

8.6.1.4 Nivel de servicio actual y deseado por los clientes

- Sede de manga

Al analizar los datos obtenidos de las encuestas realizadas a los clientes del servicio de entrega y recolección de equipos audiovisuales, se concluye que en la actualidad el nivel de servicio es deficiente, visto que en los resultados se muestra claramente que los equipos no se encuentran disponibles cuando son requeridos además no llegan en el tiempo oportuno antes de comenzar cada clase y al momento de recoger los equipos tampoco llegan en el instante indicado. Dejando entre ver que el servicio necesita ser mejorada para lograr que los clientes se encuentren contentos.

El nivel de servicio que desean los clientes, es totalmente diferente al actual, ellos quieren un servicio que al momento de requerir los equipos los encuentren disponibles para el desarrollo de sus actividades, que lleguen en el momento indicado, se instalen con mayor rapidez y se recojan en el instante indicado a la hora de finalizar la clase.

- Sede de Ternera

A diferencia de la sede de manga, los clientes encuestados en esta sede creen que el servicio suministrado se encuentra un poco mejor en algunos aspectos como es en la recolección oportuna de los equipos al finalizar las clases y en algunas ocasiones ellos consideran que los equipos son entregados en el tiempo oportuno.

Pero esto no quiere decir que el servicio esté en las mejores condiciones, visto que en el momento de los clientes requerir los equipos audiovisuales no los encuentran disponibles. Concluyendo que en la actualidad el nivel de servicio es regular en esta sede.

El nivel de servicio deseado por los clientes, es igual al de la sede de manga, requieren de una entrega a tiempo al inicio de las clases, una recolección en el instante indicado a la hora de finalizar y de una disponibilidad diaria de los equipos audiovisuales en el momento de solicitarlos.

8.6.2 Definición de la ventana de tiempo

Para lograr definir la ventana de tiempo, se tuvo en cuenta la respuesta de los clientes con respecto a cuánto tiempo estaban ellos dispuestos a esperar los equipos audiovisuales a la hora de empezar cada clase.

Al analizar la respuesta a esta pregunta, se obtuvo que la mayoría de las personas encuestadas, tanto en la sede de ternera (58 personas de 100 encuestadas) como en la de manga (37 personas de 60 encuestadas), respondieron que el tiempo que ellos estaban dispuestos a esperar los equipos, es de 5 a 10 minutos al inicio de cada clase.

Al sumar el total de las personas que respondieron esta opción en las dos sedes, se obtiene un total de 95 personas a favor de este rango, lo cual equivale al 59,37% de la población, permitiendo concluir que la ventana de tiempo deseada por los clientes de este servicio, a la hora de entregar los equipos va desde 5 a 10 minutos.

8.6.3 Otros Parámetros

1. Periodo

Cada período va a tener una duración de dos horas, por lo que la jornada estará dividida en seis periodos iguales y con una hora destinada para el almuerzo, es decir, $L = 6$. (Véase, 8.1 Realidad y Supuestos, Periodos).

2. Tipos de equipos

De acuerdo al supuesto en este ítem, los tipos de equipos serán dos los que se repartirán a lo largo de la jornada y en cada uno de los periodos, esto es $P = 2$. (Véase, 8.1 Análisis de la realidad de la actividad entrega y recolección de equipos audiovisuales, y planteamiento de los supuestos para el modelo de P.L.E. propuesto, Tipo de Equipos).

3. Tiempo de Servicio

Al analizar los resultados arrojados por las encuestas se logra evidenciar que el tiempo de servicio que desean los clientes es de 2 a 4 minutos, siendo esta la duración en que el personal encargado de los equipos audiovisuales debe demorar al instalarlos.

4. Capacidad del vehículo:

La capacidad de los vehículos (B) será homogénea, e igual para cada uno de ellos, es decir, se utilizará un valor constante en cuanto a la cantidad de equipos que podrán transportar los mismos, al momento de realizar su recorrido. (Véase, 8.1, Análisis de la realidad de la actividad entrega y recolección de equipos audiovisuales, y planteamiento de los supuestos para el modelo de P.L.E. propuesto, Capacidad del Vehículo).

8.7 CRITERIO DE LA FUNCIÓN OBJETIVO PARA LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO DENTRO DE LA PROPUESTA DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.

La Función objetivo define la efectividad del problema, como una formulación matemática del mismo y sus variables de decisión. Para la situación objeto de estudio, la Función Objetivo se podría dar de acuerdo al objetivo, este es, Minimizar los costos del recorrido del vehículo, y se podría expresar así:

Min $Z =$ (Costos del recorrido al entregar/recoger con el vehículo “ n ” del origen “ m ” al destino “ k ” en el periodo “ l ” el tipo de equipo “ p ”, ítem “ q ”)*(Variable binaria: Si el Vehículo “ n ” sale del origen “ m ” al destino “ k ” en el período “ l ” entregando el tipo de equipo “ p ”, ítem “ q ”).

Esto es,

$$Min Z = \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^M \sum_{k=0}^M \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q (C_{n,m,k,l,p,q}) * (X_{n,m,k,l,p,q})$$

Como se había mencionado antes, es común de todos los problemas de Ruteo de Vehículos poseer el mismo objetivo, minimizar costos y distancias del ruteo, es por esto que la función objetivo estaría expresada en los mismos términos.

8.8 RESTRICCIONES DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

El modelo de Programación lineal debe considerar restricciones que restrinjan las variables de decisión a un rango de valores factibles. De acuerdo a la Situación Objeto de Estudio, las restricciones que serán propuestas, estarán basadas en las características de la Situación Objeto de Estudio y sus supuestos que limitaran aun más dichas características.

Las restricciones que serán propuestas y que deben ser elaboradas al momento de construir el modelo de PLE, son las siguientes:

- a. Las demandas de Recolección y entrega por parte de los vehículos no debe exceder la capacidad de carga de los mismos (B), es decir:

$$\text{Total de demandas del periodo "l"} \leq B \quad (1)$$

- b. El vehículo debe salir del origen "m" hacia el destino "k" en el periodo "l", sólo una vez, es decir, el recorrido de "m" a "k" en "l" debe ser = 1.
- c. Los recorridos realizados a los vehículos deben ser realizados por "n" vehículos a lo largo de la jornada, es decir, se debe hacer uso de todos los vehículos disponibles.
- d. El recorrido del vehículo debe terminar en el depósito, es decir, en $k = 0$.
- e. Todos vehículos en el sistema deben ser programados para hacer recorridos, es decir, ninguno debe estar en tiempo ocioso.
- f. Todos los clientes que van hacer atendidos en el periodo "l", deben hacerlo dentro de la ventana de tiempo.
- g. La definición de cuántos clientes deberá atender un vehículo, debe estar en función del tiempo en que estos se demoran al momento de trasladarse del depósito a un salón o de un salón a otro, el tiempo de instalación de los equipos o en su defecto desinstalar los mismos,

debido a que es necesario conocer con exactitud dichos tiempos para asignarle un número determinado de clientes a atender, dentro de la ventana de tiempo.

- h. Es importante no olvidar las condiciones de “No Negatividad” y Binarias de las variables existentes.

CONCLUSIONES

- A pesar que, el PDPTW es el problema de ruteo de vehículos que más se parece a la situación objeto de estudio, esta última aun se diferencia en 5 características únicas, que imposibilitan la utilización de supuestos para simplificar u obviarlas.
- La variante del Ruteo de Vehículos que más se asemeja a la situación es el PDPTW (*Pick-up and Delivery Problem with Time Windows*) en un 72.72% de las 22 características en comparación, siguiéndole el CVRPTW (*Capacited Vehicle Routing Problem with Time Windows*) en un 63.63% de las 22 características comparadas; estos son, los dos problemas de ruteo de vehículos que tienen más características en común al nuestro, por los que se podrían tomar como base al momento de buscar una posible forma de resolver este tipo de problemas.
- Las variantes que tienen la menor cantidad de características en común, son TSP, PVRP, y el MDVRP ya que tienen la menor cantidad de características en común, es decir, un 40.9% de las 22 características en comparación.
- Cabe anotar, dentro de estas conclusiones, que existe una variante que no fue tomada en cuenta en la tabla de comparación, el CVRPPDTW¹⁷ (*Capacited Vehicle Routing Problem with Pick-up and Deliveries with Time Windows*), debido a que no fue posible encontrar información al respecto.

¹⁷ Recuperado el 22 de mayo del 2008 de la web:
http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_rutas_de_veh%C3%ADculos

- Al realizar la propuesta del modelo de programación lineal de la situación objeto de estudio, se pudo concluir que la función objetivo además de incluir en su estructura los costos por la variable de decisión, debe contemplar las distancias que el vehículo recorre al momento de hacer entrega o recolección de equipos audiovisuales.
- Al realizar la propuesta de programación lineal, que para lograr establecer las restricciones, en cuanto al tiempo de atención al cliente por parte de los vehículos, se deben calcular las distancias (distancia empleada por el vehículo a la hora de trasladar los equipo; puede ser desde el depósito a salón de clases o de salón de clases a salón de clases) y de tiempo (tiempo que demora el vehículo en instalar o desinstalar los equipos en cada salón de clases).
- Al analizar los resultados de las encuestas se logro definir la ventana de tiempo (5 a 10 minutos) al comienzo de cada clase, establecida por los clientes.
- Al examinar los resultados arrojados por las encuestas se logra evidenciar que el Tiempo de Servicio que desean los clientes es de 2 a 4 minutos, siendo esta la duración en que el personal encargado de los equipos audiovisuales debería demorar al instalarlos o retirarlos.
- Mediante la realización de este estudio se logró identificar el estado actual, de la percepción de los clientes, en que se encuentra el servicio de entrega y recolección de equipos audiovisuales en la UTB, y además, de que es lo que el cliente quiere obtener de la prestación del mismo, permitiendo ver en qué elementos se encuentran fallas, para así dar pautas de solución que ayuden a mejorar y lograr un nivel de servicio que cumpla con los requisitos del cliente.

- A pesar de que los clientes califican el servicio de entrega y recolección de equipos audiovisuales como de regular, se logra evidenciar que, en la sede de ternera (52%) el porcentaje de los clientes que creen que los equipos no se entregan a tiempo es menor que en la sede de manga (78.33%), concluyendo así que el nivel de servicio de en esta sede es un poco más alto.
- A partir del análisis y comparación de cada uno de los problemas de ruteo de vehículos existentes versus la situación objeto de estudio, se llega a la conclusión de que, se podría estar frente a un nuevo problema de ruteo de vehículos.
- Al lograr identificar un nuevo problema de ruteo de vehículo dentro de los existentes, permitirá dar pautas de solución a situaciones de la vida real donde se encuentra este problema.
- La propuesta de las características del modelo de PLE que se presenta en este proyecto, facilitará estudios futuros que permitirán la construcción definitiva del modelo de PLE que solucione la situación objeto de estudio y las demás similares.
- Se recomienda para trabajos futuros, incorporar el factor “instante de tiempo” dentro de las variables del modelo, para así poder evaluar la cantidad de tiempo que se consume al prestar el servicio y cumplir con los niveles de servicio deseados por los clientes.

RECOMENDACIONES

- Se requiere para la realización de trabajos futuros sobre este tema, el desarrollo a fondo de un muestro aleatorio simple para determinar la muestra de las personas que serán encuestadas, para la determinación de el nivel de servicio en que se encuentra actualmente la actividad de entrega y recolección de equipos audiovisuales.
- Se recomienda la toma de cada uno de los instantes de tiempos en que se desarrolla la actividad, tales como la instalación y desinstalación de los equipos en las aulas de clase.
- Para la lograr dar solución a este problema es necesario la complementación de las variables del modelo de programación lineal, siendo así necesario medir las distancias que recorre el vehículo a la hora de entregar los equipos.

BIBLIOGRAFIA

- BALLOU, Ronald H. Logística: Administración de la cadena de suministro, Cap. 4 “El servicio al cliente en la logística y cadena de suministros”. 5a edición. México D. F.: Pearson, 2004. 789 p.
- CHASE, Richard.; AQUILANO, Nicholas.; y JACOBS, Robert. Administración de producción y operaciones, ED. McGraw Hill, 8 edición.
- WINSTON, Wayne L. Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos. México, D. F : Iberoamericana, 1994
- Investigación de Operaciones. 2da Edición. México D.F.: Alfaomega, 1991
- PICAZO, MANRIQUEZ, Luis; MARTINEZ, VILLEGAS, Fabián. Ingeniería de servicio: Naturaleza de la Ingeniería de Servicio. México, Ed. McGraw-HILL 1991
- TRIOLA, Mario F. “Estadística”. México D.F., Ed. Pearson, 9 Edición 2004.
- GONZALEZ, José Luis. RIOS, Roger Z. “investigación de Operaciones en acción: Aplicación del TSP en problemas de manufactura y logística”. Recuperado de la Web: http://ingenierias.uanl.mx/4/pdf/4_Jose_L_Gonzalez_investigacion_de_operaciones.pdf

- AGUILERA, Jorge. “Calculo de rutas de Vehículos con Ventana Temporal”. Recuperado de la página Web: http://io.us.es/Cursos/Doctorado/Trabajos_pdf/Jorge_Aguilera_VRPTW.pdf
- BARAJAS, Nicolás. “Estado del Arte del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)” (online). Recuperado de la pagina WEB: www.geocities.com/nicolasbarajaseminario/Archivos/EstadoDelArteFinal.pdf
- BARROS, H. “Optimización de Ruteo de Vehículos Empleando Búsqueda Tabú” (Online). Universidad de los Andes. Recuperado de la Web: http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/775/1/MI_IIND_2005_022.pdf
- OLIVERA, Alfredo. “Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos”. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay – Agosto del 2004. Recuperado el día 10 de Septiembre del 2008 de la pagina web: <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>
- ROPKE, Stefan; CORDEAU, Jean-François, “Branch-and-Cut-and-Price for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows. HEC Montreal – Julio del 2008. Recuperado el día 12 de Septiembre de 2008 de la pagina web: www.crt.umontreal.ca/en
- CORDEAU, Jean-François; LAPORTE, Gilbert. “The Dial a Ride Problem”. Diciembre del 2006. HEC Montreal – Diciembre del 2006. Recuperado el día 12 de Septiembre de la pagina Web: www.crt.umontreal.ca/en

CIBERGRAFIA

- http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_del_viajante
- http://www.programacionlineal.net/programacion_lineal.html
- <http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html>
- <http://the-geek.org/docs/algen/>
- <http://ccp.servidores.net/genetico.html>
- <http://www.crt.umontreal.ca/en>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_rutas_de_veh%C3%ADculos
- http://es.wikipedia.org/wiki/Programaci%C3%B3n_lineal
- <http://cuentame.inegi.gob.mx/glosario/s.aspx?tema=G>
- <http://www.optimizanet.com/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=210&IDCompany=123>

ANEXOS

ANEXO A. Encuesta para alumnos y profesores de la Universidad Tecnológica de Bolívar sobre el nivel de satisfacción del servicio de recolección y entrega de material de apoyo para clases.

A continuación se presentan un conjunto de preguntas que busca evaluar el servicio prestado por la Universidad en cuanto a la actividad de recolección y entrega de material de apoyo a las distintas aulas de clases. Le pedimos Usted responder con veracidad asegurándole la completa confidencialidad de sus respuestas. Su participación es muy valiosa en este proceso de evaluación.

PROGRAMA: _____ SEXO: M ___ F ___ EDAD: _____

1. ¿Le gusta a Usted que las clases se desarrollen utilizando material de apoyo como lo son: Videobeams, PC, Proyector de acetatos, etc.?

SI _____

NO _____

2. ¿Califique Usted del 1 al 5 la disponibilidad de equipos audiovisuales cuando requiere alguno de ellos? _____

3. ¿En qué porcentaje de las veces, considera Usted que son entregados los equipos audiovisuales oportunamente?

_____ %

4. ¿Cuánto tiempo estaría Usted dispuesto a esperar por los equipos audiovisuales antes de comenzar la clase?

0 – 5 min. _____

5 – 10 min. _____

10 - 15 min. _____

Si es más, cuanto? _____

5. ¿Cuánto tiempo cree Usted, que es pertinente que debe demorar el personal encargado, en la instalación de los equipos audiovisuales en el aula de clases?

0 – 2 min. _____ 2 – 4 min. _____ 4 – 6 min. _____

Si es más, cuanto? _____

6. ¿Cómo calificaría Usted de 1 a 5, el tiempo de recolección de los equipos audiovisuales al finalizar las clases por el personal encargado? _____

7. ¿Considera Usted que existe algún otro aspecto, relacionado con el proceso de prestación de servicio de la instalación de equipos audiovisuales que afecte su percepción sobre la calidad del servicio que recibe?

ANEXO B. Modelo Matemático del TSP¹⁸.

Función objetivo:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}$$

S.A:

$$\sum_{j \in \Delta+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (1)$$

$$\sum_{i \in \Delta-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta+(i) \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

Donde, la función objetivo es minimizar el costo total del recorrido, que es la suma de los costos de cada una de las rutas utilizadas por los vehículos.

Las restricciones (1) y (2), significan que los clientes deben visitar y dejar al cliente una vez exactamente; La restricción (3) indica la eliminación de sub-tours, es decir, eliminación de rutas infociosas.

¹⁸ OLIVERA, Alfredo. "Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos". Universidad de la República, Montevideo, Uruguay – Agosto del 2004. Recuperado el día 10 de Septiembre del 2008 de la pagina web: <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>

ANEXO C. Modelo Matemático del VRP¹⁹.

Función Objetivo:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}$$

S.A.

$$\sum_{j \in \Delta+(0)} x_{0j} = m \quad (1)$$

$$\sum_{i \in \Delta-(0)} x_{i0} = m \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta+(i) \setminus S} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subset V \setminus \{0\} \quad (5)$$

$$m \geq 1$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

Donde, la función objetivo es minimizar el costo total del recorrido, que es la suma de los costos de cada una de las rutas utilizadas por los vehículos.

Las Restricciones (1) y (2) indican que todos los vehículos que parten del depósito deben regresar, y que “m” es la cantidad de vehículos utilizados en el problema; las restricciones (3) y (4) indican que los clientes deben ser atendidos y dejados una sola vez en el recorrido; la restricción (5) indica la eliminación de sub-tours, es decir, eliminación de rutas inoficiosas.

¹⁹ OLIVERA, Alfredo. “Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos”. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay – Agosto del 2004. Recuperado el día 10 de Septiembre del 2008 de la pagina web: <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>

ANEXO D. Modelo Matemático del VRPTW²⁰.

Función Objetivo:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k$$

S.A.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\} \quad (1)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k - \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ij}^k = 0 \quad \forall k \in K, i \in V \setminus \{0, n+1\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0, n+1\}} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k \leq q^k \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$y_j^k - y_i^k \geq s_i + t_{ij}^k - M(1 - x_{ij}^k) \quad \forall i, j \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (5)$$

$$e_i \leq y_i^k \leq l_i \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (6)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E, k \in K$$

$$y_i^k \geq 0 \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K$$

En donde, la función objetivo es minimizar el costo total del recorrido, que es la suma de los costos de cada una de las rutas utilizadas por los vehículos.

La restricción (1) indica que todos los clientes deben ser visitados; las restricciones (2) y (3) indican que los vehículos realizan el recorrido partiendo del origen, y que todos los clientes deben ser atendidos sin excepción; la restricción (4) indica la capacidad del vehículo; la restricción (5) indica la eliminación de subtours y que el vehículo “k” no puede llegar donde el cliente antes del tiempo establecido; y la restricción (6) se refiere al uso de la ventana de tiempo.

²⁰ OLIVERA, Alfredo. “Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos”. Recuperado el día 10 de Septiembre del 2008 de la pagina web: <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>

ANEXO E. Modelo Matemático del CVRP²¹.

Función Objetivo:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}$$

S.A.

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0j} = m \quad (1)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(0)} x_{i0} = m \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subset V \setminus \{0\} \quad (5)$$

$$m \geq 1$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

$$r(S) = \min \sum_{k \in K} y_k$$

S.A.

$$\sum_{i \in S} d_i x_{ik} \leq C y_k \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in S$$

²¹ OLIVERA, Alfredo. "Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos". Universidad de la República, Montevideo, Uruguay – Agosto del 2004. Recuperado el día 10 de Septiembre del 2008 de la pagina web: <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>

$$\begin{aligned}
 x_{ik} &\in \{0,1\} && \forall i \in S, \forall k \in K \\
 y_k &\in \{0,1\} && \forall k \in K
 \end{aligned}$$

La función objetivo de este problema de ruteo de vehículos, así como los demás, es minimizar el costo total del recorrido, que es la suma de los costos de cada una de las rutas utilizadas por los vehículos.

Las Restricciones (1) y (2) indican que todos los vehículos que parten del depósito deben regresar, y que “ m ” es la cantidad de vehículos utilizados en el problema; las restricciones (3) y (4) indican que los clientes deben ser atendidos y dejados una sola vez en el recorrido; la restricción (5) indica la eliminación de sub-tours, y a su vez, toma en consideración la capacidad del vehículo, en la que los clientes a visitar por cada uno de ellos está sujeto a la capacidad del mismo.

ANEXO F. Modelo Matemático del PDPTW²².

Función Objetivo

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

S.A.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in P \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k - \sum_{j \in N} x_{n+i,j}^k = 0 \quad \forall i \in P, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ji}^k - \sum_{j \in N} x_{ij}^k = 0 \quad \forall i \in P \cup D, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,2n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$B_j^k \geq (B_i^k + t_{ij})x_{ij}^k \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (7)$$

$$Q_j^k \geq (Q_i^k + q_j)x_{ij}^k \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (8)$$

$$B_i^k + t_{i,n+i} \leq B_{n+i}^k \quad \forall i \in P \quad (9)$$

$$a_i \leq B_i^k \leq b_i \quad \forall i \in N, k \in K \quad (10)$$

$$\max\{0, q_i\} \leq Q_i^k \leq \min\{Q, Q + q_i\} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (11)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (12)$$

²² ROPKE, Stefan; CORDEAU, Jean-François, "Branch-and-Cut-and-Price for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows. HEC Montreal – Julio del 2008. Recuperado el día 12 de Septiembre de 2008 de la pagina web: www.crt.umontreal.ca/en

En donde, la función objetivo (1) es minimizar el costo total del recorrido, que es la suma de los costos de cada una de las rutas utilizadas por los vehículos.

Las restricciones (2) y (3) indican que los requerimientos de los clientes deben ser satisfechos por un mismo vehículo, quien es capaz de entregar y recoger productos en cada uno de ellos. Las restricciones de la (4) a la (6) garantizan que cada vehículo sale del depósito y después de su recorrido regresa al mismo. En las restricciones (7) y (8) se aseguran de la variabilidad del tiempo y la carga del vehículo, es decir, se aseguran que cumplan con los requisitos propuestos por el cliente. La restricción (9) expresa que para cada requerimiento del cliente “ i ” debe recogerlo antes de hacer cualquier entrega. Y las últimas dos restricciones, la (10) y (11) indican el uso de la ventana de tiempo y la capacidad del mismo, respectivamente.

ANEXO G. Modelo Matemático del DARP²³.

Función Objetivo

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

S.A.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in P \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} x_{0i}^k = \sum_{i \in V} x_{i,2n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij}^k - \sum_{j \in V} x_{n+i,j}^k = 0 \quad \forall i \in P, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ji}^k - \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 0 \quad \forall i \in P \cup D, k \in K \quad (5)$$

$$u_j^k \geq (u_i^k + d_i + t_{ij})x_{ij}^k \quad \forall i, j \in V, k \in K \quad (6)$$

$$w_j^k \geq (w_i^k + q_i)x_{ij}^k \quad \forall i, j \in V, k \in K \quad (7)$$

$$r_i^k \geq u_{n+i}^k - (u_i^k + d_i) \quad \forall i \in P, k \in K \quad (8)$$

$$u_{2n+1}^k - u_0^k \leq T_k \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$e_i \leq u_i^k \leq l_i \quad \forall i \in V, k \in K \quad (10)$$

$$t_{i,n+i} \leq r_i^k \leq L \quad \forall i \in P, k \in K \quad (11)$$

$$\max\{0, q_i\} \leq w_i^k \leq \min\{Q_k, Q_k + q_i\} \quad \forall i \in V, k \in K \quad (12)$$

$$x_{ij}^k = 0 \text{ o } 1 \quad \forall i, j \in V, k \in K \quad (13)$$

²³ CORDEAU, Jean-François; LAPORTE, Gilbert. "The Dial a Ride Problem". Diciembre del 2006. HEC Montreal – Diciembre del 2006. Recuperado el día 12 de Septiembre de la pagina Web: www.crt.umontreal.ca/en

La función objetivo (1) es minimizar el costo total del recorrido, que es la suma de los costos de cada una de las rutas utilizadas por los vehículos.

Las restricciones (2) y (4) indican que cada cliente es atendido una vez por el mismo vehículo, mientras que las restricciones (3) y (5) garantizan que cada vehículo comienza y terminan su ruta en el depósito. Las restricciones de la (6) a la (8) definen el comienzo del tiempo de servicio, la capacidad de carga del vehículo y el tiempo de paseo del usuario, respectivamente. Mientras las restricciones de la (9) a la (12) indican que todo lo anterior sea factible, la ventana de tiempo, y la no negatividad.

ANEXO H. Cálculo del porcentaje de las características semejantes de la Situación Objeto de Estudio Versus los problemas de ruteo de vehículos estudiados.

Situación Objeto de Estudio	1 ó n	Heterogéneo	Heterogénea	HARD/SOFT	SI	SI	SI	SI	SI	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NP-HARD	TOTAL	Porcentaje
TSP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	9	40,91%
VRP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	10	45,45%
VRPTW	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	13	59,09%
CVRP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	11	50,00%
CVRPTW	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	15	68,18%
PDPTW	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	16	72,73%
VRPPD	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	13	59,09%
PVRP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	9	40,91%
PVRPTW	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	12	54,55%
MDVRP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	9	40,91%
MDVRPTW	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	12	54,55%
SDVRP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	10	45,45%
SDVRPTW	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	13	59,09%
DARP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	11	50,00%

La tabla anterior muestra la comparación una a una de las características de la Situación Objeto de Estudio con las características de los problemas de ruteo de vehículos. Se coloca 1 cuando las características son iguales, y 0 cuando no se parecen. Al final, se muestra el porcentaje de similitud al realizar la comparación.

ANEXO I. Cálculo del porcentaje de las características semejantes de la Situación Objeto de Estudio, después de los supuestos, Versus los problemas de ruteo de vehículos que más se asemejan a la S.O.E.

Situación Objeto de Estudio	1 ó n	Heterogéneo	Homogéneo	HARD/SOFT	SI	SI	SI	SI	SI	Conocida	NO	Min. Distancia Y costo	Depósito	Depósito	Entrega y recoge	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NP-HARD	TOTAL	Porcentaje
PDPTW	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	17	77,27%
CVRPTW	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	15	68,18%
VRPPD	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	13	59,09%
VRPTW	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	13	59,09%

La tabla anterior muestra la comparación una a una de las características restringidas de la Situación Objeto de Estudio con las características de los problemas de ruteo de vehículos. Se coloca 1 cuando las características son iguales, y 0 cuando no se parecen. Al final, se muestra el porcentaje de similitud al realizar la comparación.