

**DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE SOPORTE A DECISIONES
DE PLANIFICACIÓN DE RUTAS PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE
DE PASAJEROS, MODELOS DE PROGRAMACIÓN DE FLOTA,
CONDUCTORES, MANTENIMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE
COMBUSTIBLE**

IVAN SAAVEDRA ANTOLINEZ



**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DEL NORTE
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA, JULIO DE 2008**

**DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE SOPORTE A DECISIONES
DE PLANIFICACIÓN DE RUTAS PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE
DE PASAJEROS, MODELOS DE PROGRAMACIÓN DE FLOTA,
CONDUCTORES, MANTENIMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE
COMBUSTIBLE**

**Proyecto de investigación y desarrollo realizado
como requisito Para optar al título de Maestría en Ingeniero Industrial**

DIRECTOR

Phd. CARLOS DANIEL PATERNINA



**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DEL NORTE
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA, JULIO DE 2008**

Nota de aceptación

Phd. Carlos D. Paternina Arboleda

Director del Proyecto

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la oportunidad que me brindo de haber trabajado en este proyecto y de haberme mostrado el camino de salida en aquellos momentos de dificultad, a mis padres y familiares por todo el apoyo brindado con el fin de salir adelante y tener éxito en el proyecto, a mi novia por su compañía y comprensión durante todo el tiempo que dedique a este trabajo, a todos mis amigos por sus ayudas y consejos, a los directores de este proyecto de tesis por su colaboración y guía para el cumplimiento de los objetivos tanto del proyecto como objetivos profesionales y personales que me conllevaron al desarrollo de esta tesis y a todos los compañeros de trabajo, investigadores que con sus aportes y conocimientos fueron de gran ayuda para un buen trabajo con tantas expectativas de éxito que nos planteamos al comienzo de este proyecto y que todos cumplimos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	6
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.2 IDENTIFICACION DEL PROYECTO	9
1.3 OBJETIVOS.....	10
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	11
1.5 MARCO DE REFERENCIA	12
1.5.1 MARCO TEORICO.....	12
1.5.2 MARCO CONCEPTUAL.....	19
2. MODELO MATEMÁTICO	22
3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFORMACION PARA APOYO A TOMA DE DECISIONES EN EL MODULO DE PROGRAMACION DE FLOTA	38
3.1 INVESTIGACION O ESTUDIO PRELIMINAR	39
3.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE SISTEMAS	39
3.3 DISEÑO DEL SISTEMA	42
3.3.1 CASO DE USO	43
3.3.2 FLUJOGRAMA.....	44
3.3.3 DIAGRAMA ENTIDAD-RELACION	45
3.3.4 DIAGRAMA RELACIONAL.....	46
3.4 DESARROLLO DEL SOFTWARE	47
3.4.1 ENFOQUE.....	47
3.4.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....	47
3.4.3 HEURISTICAS	47
3.5 PRUEBAS DEL SISTEMA	65
3.6 IMPLANTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL NUEVO SISTEMA	65
4. CONCLUSIONES.....	66

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1, Modelo general de un Sistema	13
Ilustración 2, Componentes de un sistema de información.....	14
Ilustración 3, Tipos de sistemas de información	15
Ilustración 6, Estrategia de diseño	38
Ilustración 7, Caso de uso	43
Ilustración 8, Flujograma.....	44
Ilustración 9, Diagrama entidad-relación.....	45
Ilustración 10, Diagrama relacional.....	46
Ilustración 13, Programación de buses.....	53
Ilustración 14, Detalle ruta-bus	53
Ilustración 15, Detalle ruta	54
Ilustración 16, Tipos de programación de mantenimientos.....	58
Ilustración 17, Planificación de rutinas de mantenimiento	61
Ilustración 18, Detalle de las rutinas	61
Ilustración 19, Venta esperada por ruta	63
Ilustración 20, Venta esperada por bus	64
Ilustración 21, Costos-Ventas por nivel de servicio.....	64

1. INTRODUCCION

El transporte terrestre de pasajeros es una de las actividades de mayor importancia para el desarrollo económico, social y tecnológico de una región, ya que en la medida en que las personas se puedan movilizar libremente y en óptimas condiciones por un territorio, así mismo se promueve su desarrollo y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes; por ejemplo, el transporte en Colombia se ha desarrollado en función de las necesidades que tanto población y como aparato productivo le han planteado en materia de movilización.

Los sistemas de transporte de hoy en día son el resultado de muchos años de desarrollo, gobernados por dos fuerzas principales: el acelerado progreso de las tecnologías de transporte, y el no menos rápido crecimiento y desarrollo de las redes de transporte. Muchas han sido las grandes transformaciones que han hecho evolucionar los sistemas de transporte hasta la actualidad, y siempre han sido conducidos por la búsqueda de hacer un mejor uso de los recursos disponibles, por lo que siempre ha estado vigente el objetivo de optimizar los sistemas de transporte.

En general, la planificación de un sistema de transporte proviene de transformar su diseño y su operación mediante una mejor planificación. Así, es supuesto que la mayoría de los sistemas de transporte actuales hayan concentrado esfuerzos en la planeación y programación de sus operaciones, a partir de los recursos y tecnologías disponibles para su actividad. Sin embargo, el sector del transporte muestra realmente un poco aprovechamiento del gran potencial que tiene para la optimización.

Muchas compañías de transporte, incluso locales, utilizan actualmente métodos manuales para planificación de sus operaciones, o en los mejores casos, reglas heurísticas, en lugar de técnicas de optimización realmente

apropiadas para sus necesidades. Probablemente esto se deba a que los sistemas de transporte, en el pasado, no contaban con incentivos para realizar una mejor planificación.

Note, por ejemplo, el contraste con otros sectores económicos, como la industria, donde prácticamente ninguna compañía puede sobrevivir sin emplear técnicas o herramientas como la simulación y la optimización numérica para llevar a cabo la programación de sus operaciones, asignación de recursos, etc.

Los problemas de planificación que generalmente se presentan en el ámbito de los sistemas de transporte provienen de cuestiones tan fundamentales como los pronósticos de demanda de transporte, aspectos estratégicos como decisiones sobre tamaño de las flotas vehiculares, o problemas netamente operativos como la programación del transporte y el enrutamiento de vehículos.

Así, es evidente en los sistemas de transporte, la gran variedad de situaciones problemáticas complejas que requieren el desarrollo y utilización de métodos específicos de planificación. Hasta el momento, son muchas las metodologías que operan bajo esquemas de prueba y error, y pocas las fundamentadas en un marco de referencia que provea un lenguaje preciso para formular los problemas y que conduzca al desarrollo de soluciones competitivas.

En este contexto, el presente proyecto aborda el diseño y desarrollo de un Sistema de Soporte para la Toma de Decisiones (DSS) en la actividad de transporte terrestre de pasajeros.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las empresas de transporte terrestre de pasajeros poseen actividades comerciales a nivel nacional e internacional y deben enfrentar la arremetida comercial de empresas competidoras que día a día son una mayor cantidad. En la medida que otros actores del sector se encuentren en capacidad de analizar de manera estructurada y rigurosa los escenarios presentes y proyectados, se genera una situación desventajosa para las empresas, por lo cual es necesario la búsqueda de soluciones basadas en las TICs para estandarizar, optimizar y racionalizar la utilización de los recursos disponibles, mejorando el desempeño operativo y fortaleciendo la capacidad y crecimiento de la misma.

Hoy en día, las empresas de transporte de pasajeros necesitan buscar nuevas formas de aumentar sus ingresos, mejorar la calidad de servicio y reducir sus costos operativos. Por lo tanto, un sistema de planificación de operaciones surge como la mejor solución a todas estas necesidades, soluciones que se presentan en desarrollos de sistemas de información de apoyo a decisiones, DSS (Decision support system).

Dado que existen una serie de síntomas preocupantes como son el escaso e ineficiente programación de las operaciones del proceso y poco interés en herramientas que contribuyan al mejoramiento del manejo de la información y aumento de control, es necesario un sistema de información, de análisis, diseño y evaluación de planes de rodamientos, para así fortalecer las empresas en el mercado con respecto a sus competencias, ayudando así al cumplimiento de la visión que se proponen cada una.

1.2 IDENTIFICACION DEL PROYECTO

Luego de analizar e investigar la situación actual de las empresas transportadoras terrestres de pasajeros de la región, se identificó que este sector presenta dificultades para realizar una planificación de sus operaciones y para llevar el control del mismo, como se mencionó anteriormente en el planteamiento del problema, son pocos los soportes tecnológicos que ayudan a una gestión de manera más eficiente en la programación de las operaciones de este tipo de empresas.

Por esta razón, suministrar a este sector de empresas transportadoras de pasajeros, una herramienta capaz de brindar planificaciones de los recursos asociados a la operación de la empresa con el fin de mejorar o alcanzar ciertos objetivos sujetos a restricciones de la vida diaria, de operaciones o políticas. Los cuales se verá reflejado en beneficio para todo el sector de empresas que brinde este tipo de servicio y para la comunidad entera.

Por medio de esto se espera dar a conocer a las empresas transportadoras terrestres de pasajeros la importancia que tienen los Sistemas de Información de Apoyo a Toma de Decisiones con el fin de brindar un mejor servicio, obtener mayores retribuciones económicas, mejorar la calidad de vida de la comunidad y lograr grandes impactos a nivel nacional e internacional.

1.3 OBJETIVOS

El Objetivo general de la presente investigación es diseñar y desarrollar modelos bases para el desarrollo de un sistema de información de soporte para la toma de decisiones (DSS) en la planificación del transporte terrestre de pasajeros, que permitan la programación de los recursos de transporte.

Para obtener este objetivo fue necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar **Modelos de Apoyo para la Toma de Decisiones** que sirvan de soporte para la planificación de las operaciones en transporte de pasajeros. Decisiones de planificación operativa y en forma más específica, la planificación de:
 - Flota, asignación de vehículos.
 - Conductores, asignación y control de tiempos de descanso.
 - Mantenimiento, programación de rutinas de mantenimiento a la flota vehicular.
 - Puntos de abastecimiento de combustible, programación de cantidad de abastecimiento de combustible dependiendo de la capacidad del tanque y consumo del vehículo.
- Implementación de los Modelos de apoyo a toma de decisiones en un Sistema de información DSS.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance del proyecto se encuentra limitado a la elaboración de modelos de soporte a la toma de decisiones que representen la operación del transporte terrestre de pasajeros, con relación a planificación de rutas y supeditado al manejo e integración de:

- Definición de de tipos de vehículos a trabajar en el modelo. Sin pérdida de generalidad.
- Asignación de flota a realizar los planes de rodamiento.
- Planificación cíclica de flota por cada periodo correspondiente a un plan de rodamiento.
- Programación y asignación de conductores relevo.
- Planificación de rutinas de mantenimiento informativas definidas por tipo de chasis para la flota que sea programada.
- Planificación de rutinas de mantenimiento preventivas definidas por tipo de chasis para la flota que sea programada y que generen salida de la flota de la programación si es necesario.
- Planificación de puntos de abastecimiento de combustible buscando el objetivo de minimizar costos.
- El modelo debe ser alimentado con restricciones sobre cumplimiento de la demanda, es decir el DSS no genera pronósticos de demanda, estos son datos de entrada.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

1.5.1 MARCO TEORICO

Sistemas de Información

El manejo eficiente de la información es una necesidad notable en cualquier empresa que requiera o desee desarrollar ventajas competitivas para posicionarse mejor en un mercado cada vez más competitivo. .El conocimiento que se puede adquirir de la misma empresa así como de las cinco fuerzas competitivas señaladas por Porter (1987): “la entrada de nuevos competidores, la amenaza de sustitutos, el poder de negociación de los compradores, el poder de negociación de los proveedores y la rivalidad entre los competidores existentes” facilitará el diseño y desarrollo de las estrategias adecuadas para el mejoramiento de la empresa.

Los Sistemas de Información (SI) y las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) son indispensables para el desarrollo de una Planificación Estratégica (PE). Es más, la PE de una organización requiere de un conocimiento profundo de las potencialidades de la empresa en SI y TIC así como de las posibilidades y oportunidades que ofrece el entorno para sacar ventaja de ellos.

Definición

(Sinbad2, 2007) Un Sistema es un conjunto de componentes que interactúan entre sí para lograr un objetivo común. Aunque existe una gran variedad de sistemas, la mayoría de ellos pueden representarse a través de un modelo formado por 4 bloques básicos los cuales se presentan en un determinado ambiente: elementos de entrada, elementos de salida, sección de

transformación o procesamiento y mecanismos de control o retroalimentación (evaluación de objetivos). La siguiente figura (*Ilustración 1*), muestra el modelo general de un Sistema, en donde se encuentran los recursos que acceden al sistema a través de los elementos de entrada para ser modificados en la sección de transformación. Este proceso es controlado por el mecanismo de control con el fin de lograr el objetivo marcado. Una vez se ha llevado a cabo la transformación, el resultado sale del sistema a través de los elementos de salida.



Ilustración 1, Modelo general de un Sistema

Fuente: Elaboración propia

En la sociedad actual podemos encontrar un gran número de ejemplos de sistemas como una fábrica de productos manufacturados, un automóvil, una maquina, un motor, una línea de producción de una fábrica, un sistema de información etc. En el caso de la fábrica de productos manufacturados, los elementos de entrada serian las materias prima para la fabricación de los productos, los cuales son procesados y transformados en un producto final y son evaluados para saber si cumplen los objetivos propuestos, de ser así, la salida del sistema es el producto final procesado que cumple con los requisitos de producción listos para ser distribuidos a los puntos de venta o centros de abastecimiento. De forma similar, es posible representar el resto de ejemplos mediante los bloques básicos de un sistema.

Componentes de un sistema de información

Los componentes básicos de un SI se describen en la siguiente figura:



Ilustración 2, Componentes de un sistema de información

Fuente: Sinbad2, 2007

En un sistema de información se pueden definir seis componentes: entrada, almacenamiento, procesamiento, salida de información, recursos humanos y recursos informáticos.

Tipos de Sistemas de Información desde el punto de vista empresarial

(James A. Sean, 2002) Los Sistemas de Información cumplen tres objetivos básicos dentro de las organizaciones:

1. Automatización de procesos operativos.
2. Sirven de apoyo al proceso de toma de decisiones.
3. Logran ventajas competitivas frente a sus competidores.

Desde el punto de vista de las empresas y acorde a los distintos niveles organizacionales de una empresa, los sistemas de información se pueden clasificar en tres tipos:



Ilustración 3, Tipos de sistemas de información

Fuente: James A. Sean, 2002

Características de cada nivel:

a) Nivel operativo o Control operacional: Estaría formado por todo el personal que se encuentra en la base de la pirámide y que lo formarían todos los empleados que realizan tareas rutinarias y repetitivas. Desde el punto de vista de la toma de decisiones, suelen tomar pocas y de no demasiada trascendencia.

b) Nivel de gestión o Control administrativo: Estaría formado por los encargados, jefe de proyectos, jefes de sección, es decir por los directivos de un nivel intermedio. Se encargan de desarrollar las estrategias o procedimientos más adecuados para que los objetivos planteados por el nivel superior sean asimilados por el nivel operativo. Para realizar su trabajo necesitan información más elaborada y precisa que el nivel operativo.

c) Nivel estratégico o Planeación estratégica: Es el nivel superior de una organización y formado por los altos directivos. Se encargan de fijar los objetivos de la organización en función de la situación interna y externa de la organización, de ahí la importancia que tienen sus decisiones. Para realizar su trabajo necesitan información muy precisa, concisa y significativa.

Sistemas de Apoyo o Soporte a la Toma de Decisiones (DSS)

La toma de decisiones se ha convertido en una pieza clave en el entorno económico en el que es necesario tomar decisiones de una forma rápida, precisa y en situaciones de incertidumbre. La toma de decisiones está apoyada en el juicio intuitivo humano y éste está lejos de ser óptimo, viéndose deteriorado con la complejidad y el estrés. Debido a la importancia que las decisiones de calidad tienen en muchas situaciones, ofrecer una ayuda que apague las deficiencias anteriores constituye una de las líneas principales de la ciencia a lo largo de la historia.

La toma de decisiones en una empresa es un proceso complejo que conlleva responsabilidades y riesgos que hay que asumir siendo necesario contar con tecnología en la que apoyarse para garantizar el éxito de las decisiones tomadas. Actualmente las grandes empresas cuentan con estas tecnologías que les permiten tomar decisiones de una manera más sencilla y que les permite evaluar distintos escenarios y tomar la mejor decisión de acuerdo a sus necesidades u objetivos.

Disciplinas como la estadística y la economía han desarrollado modelos y métodos para llevar a cabo tomas de decisión racionales. Más recientemente, estos métodos, se han visto potenciados por aportaciones de la informática, psicología e inteligencia artificial que han aportado aplicaciones informáticas tanto como herramientas aisladas como entornos

integrados para la toma de decisiones complejas o Sistemas de Ayuda a la Toma de Decisiones (DSS).

Los DSS han ganado popularidad en ámbitos como los económicos, ingeniería, militares y médicos. Esto es así por su utilidad para ayudar a la toma de decisiones precisas al conseguir modelar el proceso racional que siguen los seres humanos en herramientas informáticas capaces de trabajar con grandes cantidades de datos de diferente tipo y diferente procedencia. La aplicación de herramientas de ayuda a la decisión incrementa la productividad, eficiencia y competitividad, permitiendo hacer más segura la planificación de una inversión.

Características de los sistemas de soporte a la toma de decisiones.

(Sinbad2, 2007) Podemos destacar las siguientes características:

- **Interactividad:** Capacidad de interactuar con el sistema de forma amigable y obtener respuestas en tiempo real a las peticiones solicitadas.
- **Tipo de decisiones:** Apoya el proceso de toma de decisiones estructuradas y no estructuradas.
- **Variedad de Usuarios:** Puede ser utilizados por usuarios de diferentes áreas funcionales como ventas, producción, administración, finanzas y recursos humanos.
- **Flexibilidad:** Posibilidad de acoplarse a diferentes modelos de decisión (solo un experto o un grupo de expertos).
- **Interacción Ambiental:** Permite la posibilidad de interactuar con información externa como parte del proceso de decisión.

- **Comunicación Inter-Organizacional:** Facilita el flujo de información del nivel estratégico al nivel operativo y viceversa.
- **Acceso a base de Datos:** Capacidad para acceder y manipular diferentes tipos de bases de datos.
- **Simplicidad:** Fácil de aprender y utilizar por el usuario final.

Sistemas de Información para empresas transportadoras de pasajeros

JR SOFTWARE Transporte de Pasajeros (JR SOFTWARE): es un sistema de información orientado a empresas que cuentan con una flota de **colectivos, aviones**, etc., con terminales en distintos puntos del país o del mundo. Este sistema permite administrar: **Reservas de asientos** mostrando un plano de la unidad o vehículo con los lugares disponibles al momento de la venta, Compras y Gastos por unidad o vehículo, Caja Diaria, Turnos de los empleados en ventanilla, Unidades de transportes, Plan de cuentas, Configuración de viajes, etc.

FLOTAS INTEGRADAS (PARAGON): solución que constituye un sistema sofisticado de planificación de rutas e itinerarios para varios sitios, que permite administrar la explotación de varias flotas de vehículos. Con esta opción, los operadores de transporte pueden planificar automáticamente el trabajo interconectado entre las diferentes flotas. Ya que los clientes tienen exigencias cada vez más complejas en materia de planificación del transporte, existe una necesidad inherente de sistemas que manejen globalmente la función de distribución y que contribuyan a mejorar la productividad de toda la empresa.

Herramientas de Software de Gestión de Flotas de Vehículos y Herramientas de Software de Planificación de Rutas de Vehículos (SAPRASOL S.L.): Solución de SAPRASOL S.L. los cuales proveen todas las funciones necesarias para generar automáticamente los itinerarios y rutas de sus vehículos en base a su demanda de carga y descarga.

TRAPEZE GROUP TRANSPORTE PÚBLICO (TRAPEZE): Brinda soluciones para el sector del transporte de pasajeros, tanto en lo que respecta a grandes empresas de transporte urbano como a los pequeños operadores locales de transporte rural. Son proveedores de amplias soluciones tecnológicas adaptadas a las necesidades del cliente y de servicios de consultoría, que ayudan a mejorar el servicio, controlar los costes y optimizar la explotación de los recursos.

PTV TRAFFIC MOBILITY LOGISTICS (SIT): Es una herramienta de última generación en la planificación del transporte y el control del tráfico, con el más alto nivel de integración entre sus componentes. El paquete completo incluye: demanda, oferta, operación y control de un sistema. Planificación del transporte público y optimización del servicio. Simulación de alternativas analizadas.

1.5.2 MARCO CONCEPTUAL

- **OPTIMIZACION:** Un problema de optimización tiene como fin tomar una decisión óptima para maximizar o minimizar un criterio determinado sujeto a restricciones que significan que no cualquier decisión es posible.

- **HEURISTICA:** Busca encontrar o descubrir reglas prácticas utilizadas por los expertos para generar buenas soluciones sin tener que utilizar búsquedas exhaustivas. Especialmente, en el área de los algoritmos de búsqueda, se refiere a una función mediante la cual se obtiene un estimado del costo de una solución.

- **METAHEURISTICA:** Es un método heurístico para resolver un tipo de problema computacional general, usando los parámetros dados por el usuario sobre unos procedimientos genéricos y abstractos de una manera que se espera eficiente.

- **TICS:** Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

- **PE:** Planeación Estratégica.

- **TSP:** Sistemas Transaccionales o de Procesamiento de datos.

- **SIATD:** Sistemas de Información para el apoyo a toma de decisiones.

- **SE:** Sistemas Expertos.

- **EIS:** Sistemas de Información para Ejecutivos.

- **DSS:** Sistemas de apoyo a la toma de decisiones.

- **GDSS:** Sistema para la toma de decisiones en Grupo.

- **EDSS:** Sistemas expertos de soporte para la toma de decisiones.

- **SDLC:** Método del ciclo de vida para el desarrollo de sistemas, uno de los tres métodos existentes para el desarrollo de sistemas.
- **UML:** Lenguaje Unificado de Modelado, Lenguaje de modelación el cual describe la forma de modelar diferentes arquitecturas.
- **ER:** Modelo entidad-relación, diagrama que muestra todas las entidades existentes en una base de datos y las relaciones que existen entre las entidades.
- **SQL:** Structured Query Language, Lenguaje estructurado que ayuda la manipulación de información que se encuentran en bases de datos.
- **PLANIFICACION DE RUTAS:** Una planificación de rutas es el conjunto de arcos a seguir por un conjunto de vehículos en un periodo de tiempo determinado.

2. MODELO MATEMÁTICO

A continuación se presenta el modelo matemático, a través de los índices, parámetros variables y funciones que lo constituyen, para posteriormente formular el modelo con su respectiva función objetivo y restricciones.

La notación es la siguiente:

Índices y conjuntos

- o,d,nod,des : Agencias del sistema. Nodos de la red que pertenecen al conjunto **O**.
- $rec(o,d,i)$: Arcos de la red que pertenecen al conjunto **REC**. Unen a los nodos de la red que están permitidos. Los arcos $i=0$ corresponden a los arcos o trayectos regulares mientras que los demás son los adicionales que se usan en imprevistos.
- $rco(o,d)$: Arcos principales de la red. Conformado por las rutas que son vendidas y que pertenecen al conjunto **RCO**.
- t,q : Tiempo que está discretizado en períodos de 5 minutos, que pertenecen al conjunto **T**.
- b,z : Código de bus (placa) que pertenecen al conjunto **B**.
- c,drv : Conductor (número de documento de identificación) que pertenecen al conjunto **C**.
- r : Rol del conductor que pertenece al conjunto **R** /titular, relevo, tarjetón/
Relevo: Asignado al bus, Tarjetón: No está asignado. Cada rol tiene un costo asociado.
- $con(c,r)$: Conductor c que es contratado en rol r , que pertenece al conjunto **CON**.

- n : Nivel de servicio (tipo de bus) que pertenece al conjunto **N**
- $nsb(b,n)$: Nivel de servicio n del bus de código b que pertenece al conjunto **NSB**.
- dfk : Elementos generadores de costo fijos evaluados por kilometraje que pertenecen al conjunto DFK.
- dfm : Elementos generadores de costo fijos evaluados por mes que pertenecen al conjunto DFM.
- dvk : Elementos generadores de costo variables evaluados por kilometraje que pertenecen al conjunto DVK.
- dvm : Elementos generadores de costo variables evaluados por mes que pertenecen al conjunto DVM.

Parámetros

- $r_{di}(o,d,t)$: Si el arco o,d está activo en el momento t .
- $b_{di}(b,t)$: Si el bus de código b está activo en el momento t .
- $c_{di}(c,t)$: Si el conductor c está activo en el momento t .
- $tie(a,o,d)$: Tiempo del tipo a requerido para que un bus cubra el arco del nodo o al nodo d que existe en el conjunto **REC**.
- $dis(o,d)$: Distancia a recorrer en el arco del nodo o al nodo d que existe en el conjunto **REC**.
- fco : Factor de requerimiento de combustible por km de recorrido.
- $ant(o,d,t,q)$: Valor del anticipo entregado en o para cubrir el recorrido hasta d cuando llega a d en el momento t para salir en el momento q .
- $csa(c)$: Salario del conductor c , incluidas prestaciones sociales.
- $ppc(r)$: Porcentaje de participación del conductor de rol r en los ingresos totales.
- tdc : Tiempo de descanso para conductores en viaje.

- $rel(o,d)$: Si el arco del nodo o al nodo d que existe en el conjunto **REC** debe llevar relevo. $\{0,1\}$ Comentario: Debe ser manejado por tiempo de viaje. Si el tiempo de viaje es mayor a 10 horas se debe colocar relevo.
- $cab(b)$: Capacidad del bus b.
- $pdb(n)$: Porcentaje de buses del nivel de servicio n que deben ser reservados para emergencias.
- $pve(o,d,nod,des)$: Precio de venta del recorrido del nodo o al nodo d que pertenece al conjunto **REC** cuando hace parte del recorrido principal entre el nodo nod y el nodo des que pertenece al conjunto **RCO**.
- $prr(o,d,nod,des)$: Probabilidad de que recorrer del nodo o al nodo d que pertenece al conjunto **REC** haga parte del recorrido principal entre el nodo nod y el nodo des que pertenece al conjunto **RCO**.
- wtn : Cantidad de tiempo que se estima una persona está dispuesta a esperar por un transporte.
- ret : Máxima cantidad de tiempo que puede durar un bus sin regresar a su ciudad de origen.
- $dem(o,d,t)$: Cantidad de pasajeros que demandan servicio en el nodo o para trasladarse al nodo d en el periodo t. El par (o,d) debe existir en el conjunto **REC**.
- $vfk(dfk,n)$: Valor de unidad de elemento generador de costo fijo dfk evaluado por km para el nivel de servicio n.
- $vfm(dfm,n)$: Valor de unidad de elemento generador de costo fijo dfm evaluado por mes para el nivel de servicio n.
- $vvk(dvk,n)$: Valor de unidad de elemento generador de costo variable dvk evaluado por km para el nivel de servicio n.
- $vvm(dvm,n)$: Valor de unidad de elemento generador de costo variable dvm evaluado por mes para el nivel de servicio n.
- $cfk(dfk,n)$: Cantidad de unidades por cambio de elemento generador de costo fijo dfk evaluado por km para el nivel de servicio n.

- $cfm(dfm,n)$: Cantidad de unidades por cambio de elemento generador de costo fijo dfm evaluado por mes para el nivel de servicio n .
- $cvk(dvk,n)$: Cantidad de unidades por cambio de elemento generador de costo variable dvk evaluado por km para el nivel de servicio n .
- $cvm(dvm,n)$: Cantidad de unidades por cambio de elemento generador de costo variable dvm evaluado por mes para el nivel de servicio n .
- $ffk(dfk,n)$: Frecuencia de cambio de elemento generador de costo fijo dfk evaluado por km. (cambios cada 10.000 Km) para el nivel de servicio n .
- $ffm(dfm,n)$: Frecuencia de cambio de elemento generador de costo fijo dfm evaluado por mes. (cambios cada mes) para el nivel de servicio n .
- $fvk(dvk,n)$: Frecuencia de cambio de elemento generador de costo variable dvk evaluado por km. (cambios cada 10.000 Km) para el nivel de servicio n .
- $fvm(dvm,n)$: Frecuencia de cambio de elemento generador de costo variable dvm evaluado por mes. (cambios cada mes) para el nivel de servicio n .

Costo Fijo por Km para bus de nivel_n =

$$\sum_{dfk \in DFK} (vfk_{dfk,n} * cfk_{dfk,n} * ffk_{dfk,n})$$

(1)

Costo Fijo por mes para bus de nivel_n =

$$\sum_{dfm \in DFM} (vfm_{dfm,n} * cfm_{dfm,n} * ffm_{dfm,n})$$

(2)

$$\begin{aligned} \text{Costo variable por Km para bus de nivel}_n = \\ \sum_{dvk \in DVK} (vvk_{dvk,n} * cvk_{dvk,n} * \\ fvk_{dvk,n}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Costo variable por mes para bus de nivel}_n = \\ \sum_{dvm \in DVM} (vvm_{dvm,n} * \\ cvm_{dvm,n} * fvm_{dvm,n}) \end{aligned} \quad (4)$$

Variables

- PAS(o,d,c,b,t): Cantidad de pasajeros que lleva el bus de código b cubriendo el arco (o,d) del conjunto **REC** cuando parte en el momento t mientras es manejado por el conductor c.
- PAS(o,d,c,b,t) = {0, 1, 2, 3, ...}
- RUT(o,d,c,b,t): Variable binaria que indica si el bus de código b cubre el arco (o,d) del conjunto **REC** cuando parte en el momento t mientras es manejado por el conductor c.
- CRE(o,d,c,b,t): Variable binaria que indica si el bus de código b que cubre el arco (o,d) del conjunto **REC** cuando parte en el momento t lleva el conductor relevo c.
- ARR(o,d,c,b,t): Variable binaria que indica si el bus de código b al cubrir el arco (o,d) del conjunto **REC** llega en el momento t mientras es manejado por el conductor c.
- ARE(o,d,c,b,t): Variable binaria que indica si el bus de código b al cubrir el arco (o,d) del conjunto **REC** llega en el momento t mientras lleva el conductor relevo c.

- $DIS(c,o,t)$: Variable binaria que indica si hay disponibilidad del conductor c en el nodo de origen o o en el periodo t .
- $DIC(b,o,t)$: Variable binaria que indica si hay disponibilidad del bus b en el nodo de origen o o en el periodo t .
- $CU(c)$: Variable binaria que indica si el conductor c es efectivamente utilizado en todo el horizonte.
- $BU(b)$: Variable binaria que indica si el bus b es efectivamente usado en el horizonte.

Funciones Objetivo

$$ZMax_n = \text{Utilidades por nivel de servicio} \quad (5)$$

$$ZMax_n =$$

$$\text{Ingresos por nivel de servicio} -$$

$$\text{Costos Anticipados por nivel de servicio} -$$

$$\text{Costos Operacion por nivel de servicio}$$

(6)

$$ZMin_n = \text{Costos totales por nivel de servicio} \quad (7)$$

$$Z_{\min} = \sum_{n \in N} \left\{ \sum_{(c,n) \in NSB} \left[\begin{aligned} & \sum_{(o,d) \in REC} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} \text{ant}_{o,d} * RUT_{o,d,c,b,t} \\ & + \sum_{\text{rec,con}(p,r),t} \left[\left(RUT_{\text{rec,con}(p,r),c,t} * \frac{csa_p}{20 * 8 * 60} * \sum_a e_{a,\text{rec}} \right) \right. \\ & \quad \left. + \left(ppc_r * \sum_{rco} \text{ve}_{\text{rec,rco}} * \text{pr}_{\text{rec,rco}} * PAS_{\text{rec,con},c,t} \right) \right] \\ & + \sum_{\text{rec,con},t} \left[\text{dis}_{\text{rec}} * RUT_{\text{rec,con},c,t} * \left(\sum_{dfk} \text{fk}_{dfk,n} * \text{cfk}_{dfk,n} * \text{ffk}_{dfk,n} \right) \right. \\ & \quad \left. + \sum_{dvk} \text{vk}_{dvk,n} * \text{cvk}_{dvk,n} * \text{fvk}_{dvk,n} \right] \\ & + cu_c * \frac{T * 5}{30 * 24 * 60} * \left[\sum_{dfm} \text{fm}_{dfm,n} * \text{cfm}_{dfm,n} * \text{ffm}_{dfm,n} \right. \\ & \quad \left. + \sum_{dvm} \text{vm}_{dvm,n} * \text{cvm}_{dvm,n} * \text{fvm}_{dvm,n} \right] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$Z_{\min_n} = \text{varianza Utilidades por bus del mismo nivel de servicio}$ (9)

$$Z_{\max_n} = \text{mín} \left(\begin{aligned} & \sum_{\text{rec,con},t} \left(\sum_{rco} \text{ve}_{\text{rec,rco}} * \text{pr}_{\text{rec,rco}} * PAS_{\text{rec,con},c,t} \right) \\ & - \sum_{\text{rec,con},c,t} \text{ant}_{\text{rec}} * RUT_{\text{rec,con},c,t} \\ & - \sum_{\text{rec,con}(p,r),t} \left[\left(RUT_{\text{rec,con}(p,r),c,t} * \frac{csa_p}{20 * 8 * 60} * \sum_a e_{a,\text{rec}} \right) \right. \\ & \quad \left. + \left(ppc_r * \sum_{rco} \text{ve}_{\text{rec,rco}} * \text{pr}_{\text{rec,rco}} * PAS_{\text{rec,con},c,t} \right) \right] \\ & - \sum_{\text{rec,con},t} \left[\text{dis}_{\text{rec}} * RUT_{\text{rec,con},c,t} * \left(\sum_{dfk} \text{fk}_{dfk,n} * \text{cfk}_{dfk,n} * \text{ffk}_{dfk,n} \right) \right. \\ & \quad \left. + \sum_{dvk} \text{vk}_{dvk,n} * \text{cvk}_{dvk,n} * \text{fvk}_{dvk,n} \right] \\ & - cu_c * \frac{T * 5}{30 * 24 * 60} * \left[\sum_{dfm} \text{fm}_{dfm,n} * \text{cfm}_{dfm,n} * \text{ffm}_{dfm,n} \right. \\ & \quad \left. + \sum_{dvm} \text{vm}_{dvm,n} * \text{cvm}_{dvm,n} * \text{fvm}_{dvm,n} \right] \end{aligned} \right) \quad (10)$$

$\forall \text{nsb}(c,n)$

Estas funciones fueron obtenidas de:

Ingresos:

Estos son obtenidos vía recaudo de las ventas sobre los recorridos.

$$\begin{aligned} \text{Ingresos de bus}_b &= \\ \sum_{(o,d) \in \text{REC}} \sum_{c,t} (\sum_{(nod,dess) \in \text{RCO}} (pve_{o,d,nod,dess} * prr_{o,d,nod,dess}) * PAS_{o,d,c,b,t}) \end{aligned} \quad (11)$$

Costos Anticipados:

Los costos que son cubiertos como anticipo son:

- Combustible
- Peaje
- Alojamiento de tripulación
- Alimentación de tripulación
- Lavado Parcial
- Lavado General
- Parqueo
- Tasa Terminal
- Alcoholimetría

$$\text{Costos Anticipados para bus}_c = \sum_{rsc,con,c,t} (ant_{rsc} * RUT_{rsc,con,c,t}) \quad (12)$$

Costos de Operación:

Como costos de operación se incluyen los siguientes elementos:

- Salarios de conductores
- Prestaciones sociales de conductores
- Participación de conductores en ventas
- Seguros de automóviles (costo fijo de administración)
- Seguro obligatorio de automóviles
- Seguro de vida de tripulación
- Póliza Andina (para viajes internacionales)
- Certificado de emisión de gases
- Costos de mantenimiento del vehículo (cambio de aceite del motor, cambio de aceite de transmisión, cambio de aceite de caja de velocidades, cambio de aceite hidráulico de dirección, cambio de llantas, revisión de frenos, líquido de frenos, revisión de motor, lavado del aire acondicionado, revisión del sistema eléctrico, revisión del equipo de radiocomunicación).

Conductor

Costo Fijo Conductor $c_c = csa_c$ Mensual

$$\begin{aligned} \text{Costo Fijo por Conductor de bus}_b = \sum_{(o,d) \in REC} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} \left(RUT_{o,d,c,b,t} * \right. \\ \left. \frac{csa_c}{20*8*60} * \sum_a tie_{a,o,d} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{Costo Variable Conductor}_{o,d,c,b,t} = ppc_r * \text{Ventas en viaje} = ppc_r * \\ \sum_{(nod,dess) \in RCO} (pve_{o,d,nod,dess} * prr_{o,d,nod,dess}) * PAS_{o,d,c,b,t} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
& \text{Costo variable por conductor de bus}_c = \\
& \sum_{rec,con,t} (\text{Costo Variable Conductor}_{rec,con,c,t}) = \sum_{rec,con(p,r),t} (ppc_r * \\
& \sum_{rco} (pve_{rec,rco} * prr_{rec,rco}) * PAS_{rec,con,c,t})
\end{aligned}
\tag{15}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Costo Variable Conductor}_p = \\
& \sum_{rec,con(p,r),t} (\text{Costo Variable Conductor}_{rec,con(p,r),c,t}) = \sum_{rec,con(p,r),c,t} (ppc_r * \\
& \sum_{rco} (pve_{rec,rco} * prr_{rec,rco}) * PAS_{rec,con,c,t})
\end{aligned}
\tag{16}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Costo Conductor en bus}_c = \\
& \text{Costo fijo Conductor de bus}_c + \text{Costo Variable por conductor de bus}_c = \\
& \sum_{rec,con(p,r),t} \left[\left(RUT_{rec,con(p,r),c,t} * \frac{csa_p}{20*8*60} * \sum_a (tie_{a,rec}) \right) + ppc_r * \right. \\
& \left. \sum_{rco} (pve_{rec,rco} * prr_{rec,rco}) * PAS_{rec,con,c,t} \right]
\end{aligned}
\tag{17}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Costo Conductores} = \sum_p \left[pu_p * \left[\frac{T*5}{30*24*60} (csa_p) + \sum_{rec,con(p,r),c,t} (ppc_r * \right. \right. \\
& \left. \left. \sum_{rco} (pve_{rec,rco} * prr_{rec,rco}) * PAS_{rec,rco,c,t}) \right] \right]
\end{aligned}
\tag{18}$$

Bus

$$\begin{aligned}
& \text{costo por mes para bus de nivel}_n = \text{Costo Fijo por mes para bus de nivel}_n + \\
& \text{Costo Variable por mes para bus de nivel}_n = \sum_{dfm} (vfm_{dfm,n} * cfm_{dfm,n} * \\
& ffm_{dfm,n}) + \sum_{dvm} (vvm_{dvm,n} * cvm_{dvm,n} * fvm_{dvm,n})
\end{aligned}
\tag{19}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Costo por Km para bus de nivel}_n = \text{Costo Fijo por Km para bus de nivel}_n + \\
& \text{Costo Variable por Km para bus de nivel}_n = \sum_{dvk} (vvk_{dvk,n} * cvk_{dvk,n} * \\
& fvk_{dvk,n})
\end{aligned}
\tag{20}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Costo de bus}_c = \\
& \sum_{rec,con,t} (dis_{rec} * RUT_{rec,con,c,t} * \text{Costo por Km para bus de nivel}_n) + cu_c * \\
& \frac{T*5}{30*24*60} * \text{Costo por mes para bus de nivel}_n = \sum_{rec,con,t} [dis_{rec} * RUT_{rec,con,c,t} * \\
& (\sum_{dfk} (vfk_{dfk,n} * cfk_{dfk,n} * ffk_{dfk,n}) + \\
& \sum_{dvk} (vvk_{dvk,n} * cvk_{dvk,n} * fvk_{dvk,n}))] + cu_c * \frac{T*5}{30*24*60} * [\sum_{dfm} (vfm_{dfm,n} * \\
& cfm_{dfm,n} * ffm_{dfm,n}) + \sum_{dvm} (vvm_{dvm,n} * cvm_{dvm,n} * fvm_{dvm,n})]
\end{aligned}
\tag{21}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Costo buses} = \sum_c \left[\sum_{rec,con,t} [dis_{rec} * RUT_{rec,con,c,t} * (\sum_{dfk} (vfk_{dfk,n} * \\
& cfk_{dfk,n} * ffk_{dfk,n}) + \sum_{dvk} (vvk_{dvk,n} * cvk_{dvk,n} * fvk_{dvk,n}))] + cu_c * \frac{T*5}{30*24*60} * \right. \\
& \left. [\sum_{dfm} (vfm_{dfm,n} * cfm_{dfm,n} * ffm_{dfm,n}) + \sum_{dvm} (vvm_{dvm,n} * cvm_{dvm,n} * \right. \\
& \left. fvm_{dvm,n})] \right]
\end{aligned}
\tag{22}$$

$$\begin{aligned}
Costos Operacion_c = Anticipo_c + Costo Conductores_c + Costo Buses_c = \\
\sum_{rec,con,c,t} (ant_{rec} * RUT_{rec,con,c,t}) + \sum_{rec,con(p,r),t} \left[\left(RUT_{rec,con(p,r),c,t} * \frac{csa_p}{20*8*60} * \right. \right. \\
\left. \left. \sum_a (tie_{a,rec}) \right) + ppc_r * \sum_{rco} (pve_{rec,rco} * prr_{rec,rco}) * PAS_{rec,con,c,t} \right] + \sum_{rec,con,t} * \\
\left[dis_{rec} * RUT_{rec,con,c,t} * \left(\sum_{dfk} (vfk_{dfk,n} * cfk_{dfk,n} * ffk_{dfk,n}) + \sum_{dvk} (vfk_{dvk,n} * \right. \right. \\
\left. \left. cvk_{dvk,n} * fvk_{dvk,n}) \right) \right] + cu_c * \frac{T*5}{30*24*60} * \left[\sum_{dfm} (vfm_{dfm,n} * cfm_{dfm,n} * \right. \\
\left. ffm_{dfm,n}) + \sum_{dvm} (vvm_{dvm,n} * cvm_{dvm,n} * fvm_{dvm,n}) \right]
\end{aligned}
\tag{23}$$

Restricciones

Demanda

El número de tiquetes vendidos para un recorrido o-d, en el bus b, llevado por el conductor c, que sale en el periodo t no debe ser superior a la demanda acumulada (incluyendo la no satisfecha en wtn periodos anteriores que puede esperar), siempre y cuando se haya autorizado la salida.

$$\begin{aligned}
PAS_{o,d,c,b,t} \leq [dem_{o,d,t} + \sum_{q=t-wtn}^{t-1} (dem_{o,d,t} - \sum_{drv \in C} \sum_{z \in B} PAS_{o,d,drv,z,q})] * \\
RUT_{o,d,c,b,t} \quad \forall (o,d) \in REC, c \in C, b \in B, t \in T
\end{aligned}
\tag{24}$$

Capacidad de buses

El número de tiquetes vendidos para un recorrido o-d, en el bus b, llevado por el conductor c, que sale en el periodo t no debe ser superior a la capacidad del bus asignado.

$$PAS_{o,d,c,b,t} \leq cab_b \quad \forall (o,d) \in REC, c \in C, b \in B, t \in T
\tag{25}$$

Disponibilidad de buses (incluyendo reserva para emergencias)

El número total de buses disponibles en el periodo t debe ser por lo menos un porcentaje de los buses de ese nivel de servicio n.

$$\sum_{(b,n) \in NSB} \sum_{o \in O} DIC_{b,o,t} \geq pnb_n * \sum_{b \in B} nsb_{b,n} \quad \forall n \in N, t \in T \quad (26)$$

Uso exclusivo de bus para un solo recorrido en todo el período de recorrido

Para cada periodo t, el número total de rutas asignadas (o, d, c, b) debe ser 1 o 0.

$$\sum_{(o,d) \in REC} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} RUT_{o,d,c,b,t} \leq 1 \quad \forall t \in T \quad (27)$$

Uso exclusivo de bus para un solo recorrido y conductor en todo el periodo de recorrido

Durante el tiempo de recorrido ($\Delta t(o, d)$) posterior a t, no puede ser asignada ninguna ruta adicional para el bus c asignado en t.

$$\begin{aligned} & \exists (o', d') \in REC, c' \in C, b' \in B, t \in T | RUT_{o',d',c',b',t=1} = \\ & 1 \Rightarrow \sum_{q=t+1}^{t+\Delta t(o',d')} RUT_{o',d',c',b',q} = 0 \wedge \sum_{c \in C} \sum_{(o,d) \in REC} \sum_{q=t+1}^{t+\Delta t(o',d')} RUT_{o,d,c,b',q} = \\ & 0 \quad \forall b \in B - \{b'\}, \forall (o, d) \in REC - \{(o', d')\} \end{aligned} \quad (28)$$

Uso exclusivo de conductor para un solo recorrido y bus en todo el periodo de recorrido

Durante el tiempo de recorrido ($\Delta t(o, d)$) posterior a t , no puede ser asignada ninguna ruta adicional para el conductor con asignado en t .

$$\begin{aligned} & \exists (o', d') \in REC, c' \in C, b' \in B, t \in T | RUT_{o', d', c', b', t=1} = \\ & 1 \Rightarrow \sum_{q=t+1}^{t+\Delta t(o', d')} RUT_{o', d', c', b', q} = 0 \wedge \sum_{b \in B} \sum_{(o, d) \in REC} \sum_{q=t+1}^{t+\Delta t(o', d')} RUT_{o, d, c, b', q} = \\ & 0 \quad \forall c \in C - \{c'\}, \forall (o, d) \in REC - \{(o', d')\} \end{aligned} \quad (29)$$

Llegada de buses, conductores al destino

El periodo de llegada de un conjunto bus, conductor en el recorrido (o, d) debe ser $t + \square t(o, d)$ periodos después de la autorización de salida en el periodo t . Para el relevo también

$$\begin{aligned} & ARR_{o, d, c, b, t + \Delta t(o, d)} = RUT_{o, d, c, b, t} \\ & ARE_{o, d, c, b, t + \Delta t(o, d)} = CRE_{o, d, c, b, t} \quad \forall (o, d) \in REC, c \in C, b \in B, t \in T \end{aligned} \quad (30)$$

Precedencia conductores (disponibilidad en cada nodo)

La disponibilidad de un conductor con en el nodo o de origen, en el periodo t debe ser igual a la disponibilidad del mismo en el periodo anterior más las llegadas de ese conductor con desde cualquier origen y bus, menos su salida hacia cualquier destino des , en cualquier bus c , en el periodo t .

$$\begin{aligned} & DIS_{c, o, t} = DIS_{c, o, t-1} + \sum_{b \in B} \sum_{nod \in O} ARR_{nod, o, c, b, t-1} - \sum_{b \in B} \sum_{des \in O} RUT_{o, des, c, b, t} + \\ & \sum_{b \in B} \sum_{nod \in O} ARE_{nod, o, c, b, t-1} - \sum_{b \in B} \sum_{des \in O} CRE_{o, des, c, b, t} \quad \forall c \in C, t \in T \end{aligned} \quad (31)$$

Precedencia buses

La disponibilidad de un bus c en el nodo o de origen, en el periodo t debe ser igual a la disponibilidad del mismo en el periodo anterior más las llegadas de ese bus c desde cualquier origen y conductor, menos su salida hacia cualquier destino des , con cualquier conductor con, en el periodo t .

$$DIC_{b,o,t} = DIC_{b,o,t-1} + \sum_{c \in C} \sum_{nod \in O} ARR_{nod,o,c,b,t-1} - \sum_{c \in C} \sum_{des \in O} RUT_{o,d,es,c,b,t} \quad \forall b \in B, t \in T \quad (32)$$

Relevo

Para los recorridos establecidos rec se debe definir un conductor relevo.

$$\sum_{c \in C} (CRE_{o,d,c,b,t}) = \sum_{c \in C} (RUT_{o,d,c,b,t}) * REL_{o,d} \quad \forall b \in B, t \in T, (o,d) \in REC \quad (33)$$

Rutas bloqueadas

Las rutas deben ser asignadas en rutas que durante el periodo t a $t+\Delta t$ estén disponibles.

$$RUT_{o,d,c,b,t} \leq \frac{\sum_{q=t}^{t+\Delta t(o,d)} rdi_{o,d,q}}{\Delta t+1} \quad \forall (o,d) \in REC, c \in C, b \in B \quad (34)$$

Buses bloqueados

Las rutas deben ser asignadas a buses que durante el periodo t a $t+\Delta t$ estén disponibles.

$$RUT_{o,d,c,b,t} \leq \frac{\sum_{q=t}^{t+\Delta t(o,d)} rdi_{o,d,q}}{\Delta t+1}$$

$$RUT_{o,d,c,b,t} \leq \frac{\sum_{q=t}^{t+\Delta t(o,d)} bdi_{b,q}}{\Delta t+1}$$

$$\forall (o, d) \in REC, c \in C, b \in B \quad (35)$$

Conductores bloqueados

Las rutas deben ser asignadas a conductores que durante el periodo t a t+Δt estén disponibles.

$$RUT_{o,d,c,b,t} \leq \frac{\sum_{q=t}^{t+\Delta t(o,d)} cdi_{c,q}}{\Delta t+1} \quad \forall (o, d) \in REC, c \in C, b \in B \quad (36)$$

Relación buses y buses efectivamente usados

Un bus se considera efectivamente usado cuando ha sido programado para alguna ruta en algún recorrido (o,d), con cualquier conductor c en cualquier tiempo t.

$$BU_b = \sum_{(o,d) \in REC} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} RUT_{o,d,c,b,t} \quad \forall b \in B \quad (37)$$

Relación conductores y conductores efectivamente usados

Un conductor se considera efectivamente usado cuando ha sido programado para alguna ruta en algún recorrido (o,d), con cualquier bus b en cualquier tiempo t.

$$CU_c = \sum_{(o,d) \in REC} \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} RUT_{o,d,c,b,t} \quad \forall c \in C \quad (38)$$

3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFORMACION PARA APOYO A TOMA DE DECISIONES EN EL MODULO DE PROGRAMACION DE FLOTA

(James A. Sean, 2002) Dentro de los conceptos del diseño y desarrollo de Sistemas de Información, encontramos tres estrategias a seguir para un desarrollo de un SI, El método del ciclo de vida de desarrollo de sistemas, el método del análisis estructurado y el método del prototipo de sistemas. La estrategia utilizada para el desarrollo de este proyecto fue el Método del Ciclo de Vida de Desarrollo de Sistemas (SDLC), el cual para su completo desarrollo se siguieron los siguientes pasos propuestos por esta estrategia:

- 1- Investigación o estudio preliminar.
- 2- Determinación de los requerimientos de sistemas.
- 3- Diseño del Sistema.
- 4- Desarrollo del Software.
- 5- Prueba del Sistema.
- 6- Implantación y Evaluación del nuevo Sistema.



Ilustración 4, Estrategia de diseño

Fuente: Elaboración propia

3.1 INVESTIGACION O ESTUDIO PRELIMINAR

Para conocer el problema de manera profunda se recurrió a:

- Reuniones con un grupo de ingenieros pertenecientes a empresas de la región dedicada al transporte terrestre de pasajeros, de nivel gerencial y operativo, quienes explicaron el funcionamiento del sistema de operaciones y sus formas de toma de decisiones de planeación y programación de buses.
- El levantamiento de datos sobre elementos del sistema de transporte (flota, conductores, agencias, rutas, horarios, etc.) de la base de datos de una empresa del sector.
- El levantamiento de la información histórica de las operaciones de transporte de la base de datos operativa de una empresa transportadora de pasajeros y archivos suministrados por la Gerencia de Operaciones de la misma empresa.

3.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE SISTEMAS

Para determinar los requerimientos del sistema, se realizaron reuniones con expertos en la operación de transporte terrestre de pasajeros y con el ingeniero de operaciones de una empresa del sector, en donde se estudiaron los procesos que hacen parte del DSS para dar respuesta a las siguientes preguntas que nos ayudan a definir los requerimientos:

Las respuestas que encontramos a las siguientes preguntas las dio un ingeniero industrial¹, encargado de la planeación operativa de una empresa transportadora terrestre de pasajeros del sector.

- ¿Qué es lo que hace?

Se realiza la programación de buses, en donde se busca equitativamente asignar y distribuir de una manera aleatoria (o sujeta al criterio del analista) los vehículos que requiere cada ruta que compone el plan de rodamiento y una vez asignados los vehículos se proyectan las secuencias de los mismos durante la ejecución del plan.

- ¿Cómo se hace?

Luego de haber desarrollado, creado o consultado un plan de rodamientos, se determina el período de tiempo en el cual se quiere desarrollar la programación de los vehículos y se realiza la programación de buses.

Se escoge de manera aleatoria los vehículos que comenzaran la ejecución de los planes de rodamiento, se asigna el número de vehículos para los cuales está desarrollado el plan de rodamiento, es decir, este cumple unas indicaciones que se deben tener en cuenta al principio para la elaboración de planes y el número de buses que se dejan sin programar del inventario total de vehículo.

Los vehículos asignados deben recorrer todo el plan de rodamiento que se ha creado, cada vez que un vehículo culmine el plan de rodamiento debe pasar al estado de espera y el que estaba en la primera posición de este grupo entra a recorrer el plan de rodamiento, esto siempre y cuando aun exista disponibilidad de tiempo (todo debe ser de acuerdo al lapso de tiempo en el que se proyectó la programación).

¹ Jan Paul Gonzalez, Ingeniero Industrial, Expreso Brasilia S.A.

La programación tiene características de la operación inherentes a cada ruta que se esté cumpliendo, esto es: la ruta recorrida, la hora de salida, si requiere relevo y cuál es el código del relevo, el valor del anticipo de viaje, el costo del combustible (según la cantidad que deba agregársele al tanque y el valor del combustible según la agencia donde se realiza el tanqueo) si la ruta lo requiere. Al planificar la operación de los buses, se realiza la programación del mantenimiento preventivo del vehículo.

- ¿Con que frecuencia se realiza esta planificación?

Esta operación se realiza de acuerdo a la frecuencia con que se realicen los planes de rodamiento y su puesta en ejecución, ya que todo plan de rodamiento debe ir acompañado por una programación de vehículos.

- ¿Qué tan grande es el volumen de transacciones o decisiones realizadas en la planificación?

El volumen de transacciones es grande y se vuelve más complejo dependiendo del número de vehículos que exista, además se tienen en cuenta aspectos como: cambio de día, secuencia diaria de cada vehículo, cálculo del costo de combustible dependiendo del tiempo de recorrido de la ruta, el valor del combustible en la agencia originadora del despacho, el tipo de chasis del vehículo (no todos los chasis tienen un mismo consumo ni un mismo tamaño del tanque de combustible). Existe otra gran cantidad de información que se debe procesar dependiendo de si se quiere desarrollar la programación del mantenimiento preventivo o si se quiere saber cuáles fueron los costos de operación con lo producido de cada ruta.

¿Existe algún problema? ¿Qué tan serio es? ¿Cuál es la causa que lo origina?

Existen problemas operativos que influyen en una ejecución 100% de lo planificado, estos problemas son tanto internos como externos, y su repercusión son lo suficientemente serias. Algunos casos para mostrar son:

- La escasa demanda de pasajeros en una o varias rutas
- Vehículo que se le cierra el despacho por problemas de mantenimiento
- Problemas en la vía que impiden la llegada a tiempo de los buses

Todas estas respuestas dieron base para realizar la definición de requerimientos de software y hardware, de software se tomó como requerimiento de codificación el lenguaje de programación C++ Builder, debido al alto potencial de este lenguaje para responder ante los altos procesamientos que se proyectan realizar en el desarrollo del DSS.

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño del DSS referencia los detalles que establecen la forma en la que el sistema cumplirá con los requerimientos identificados durante las etapas anteriores. Este es el diseño lógico del sistema, a continuación veremos los diferentes diagramas realizados para aclarar y establecer el desarrollo del DSS.

3.3.1 DIAGRAMA DE CASO DE USO

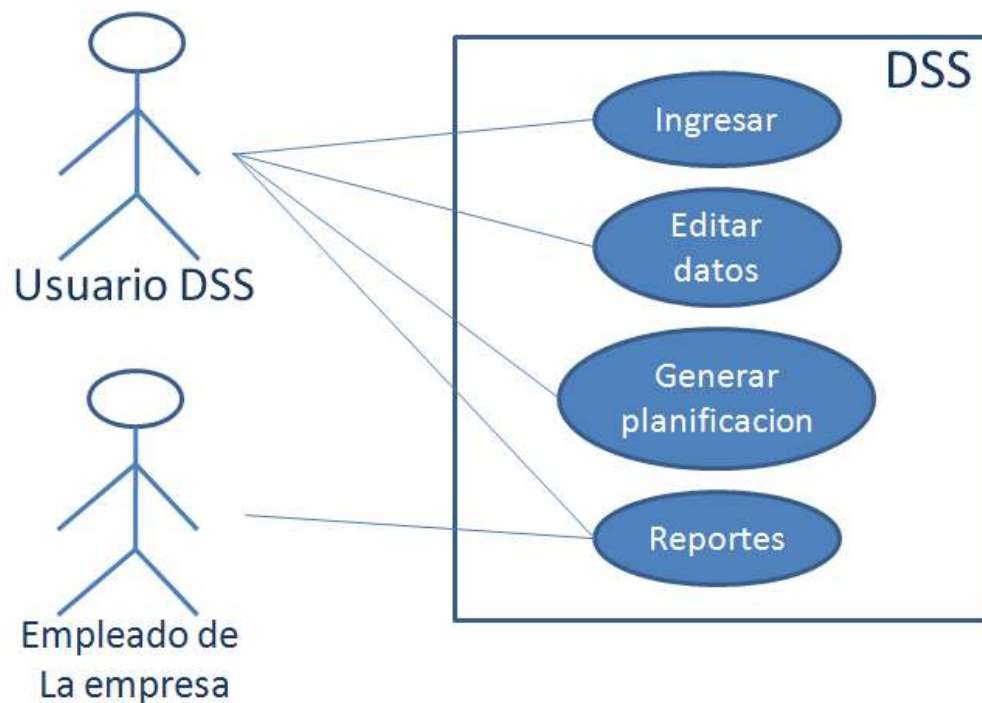


Ilustración 5, Caso de uso

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de caso de uso, muestra de forma general el funcionamiento del DSS, muestra los actores, los módulos o funciones que realiza el sistema de información y como estos se relacionan con cada uno de los actores.

Se encuentra el actor principal el cual es el usuario final del DSS, quien tiene permiso de realizar todas las operaciones que brinda el sistema de información (ingreso, editar datos, generar planificación de buses y recursos, y generar y ver los reportes), en cambio que el segundo actor, quien sería cualquier empleado de la empresa con disponibilidad de red y permisos, solo podría observar los reportes generados por el primer actor.

3.3.2 FLUJOGRAMA

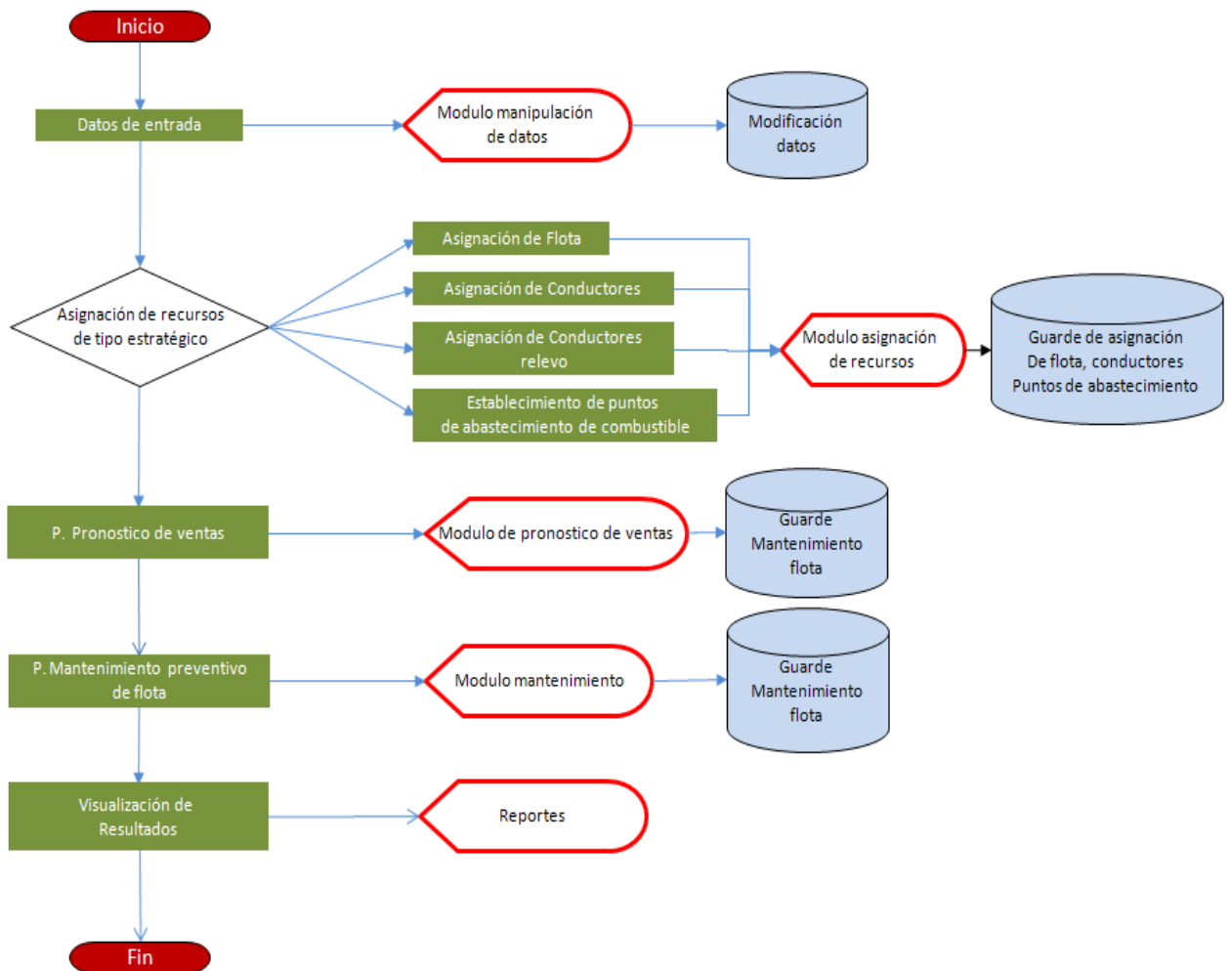


Ilustración 6, Flujoograma

Fuente: Elaboración propia

Este flujoograma visualiza de forma general el funcionamiento del sistema de información, en donde muestra cada uno de los módulos que se encuentran en el DSS, la forma de visualización y si permite interactuar con la base de datos.

3.3.3 DIAGRAMA ENTIDAD-RELACION

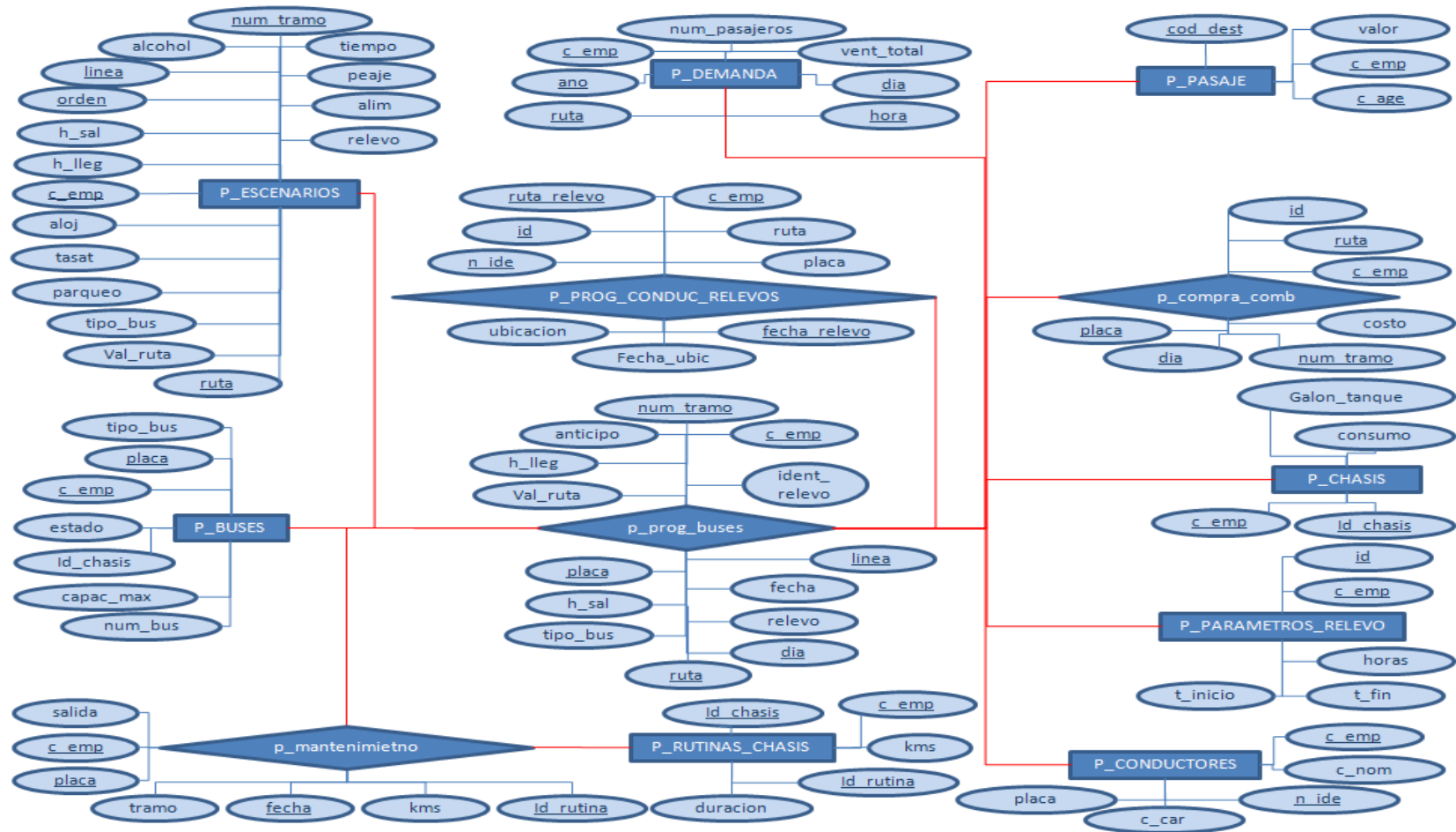


Ilustración 7, Diagrama entidad-relación

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 DIAGRAMA RELACIONAL

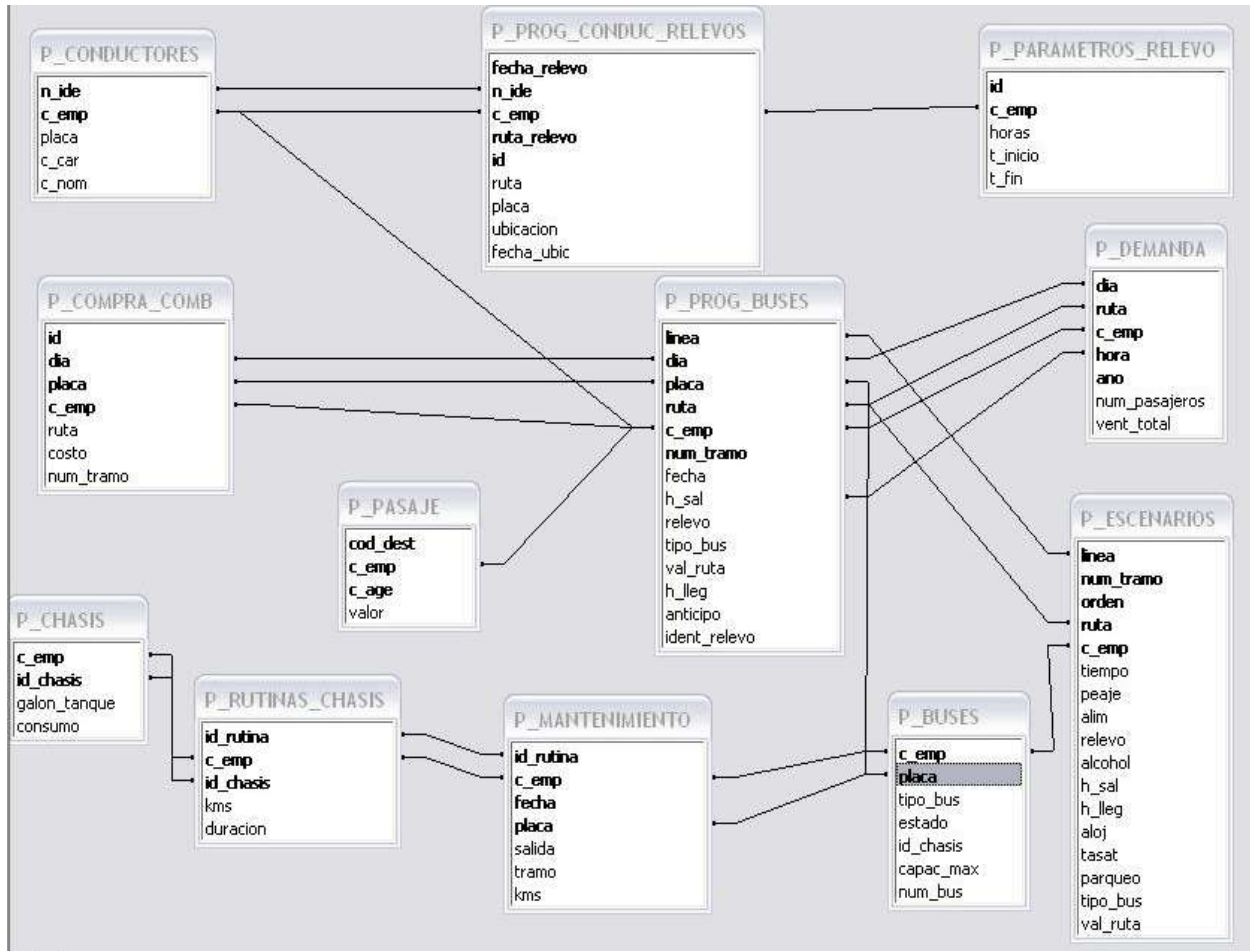


Ilustración 8, Diagrama relacional

Fuente: Elaboración propia

Por medio del diagrama relacional podemos observar cómo se encuentra la base de datos, la información que ahí se aloja y las relaciones que existen entre cada uno de las entidades que fueron definidas.

3.4 DESARROLLO DEL SOFTWARE

3.4.1 ENFOQUE

Para el desarrollo del sistema, se tuvo un enfoque híbrido, el cual combina el enfoque estructurado, el CVC, los enfoques iterativo-circular y el espiral, donde se definió los módulos a trabajar y por cada uno de estos se fueron realizando prototipos. Prototipos que generaban retroalimentaciones positivas y negativas que se convertían en la modificación de los modelos y por consiguiente en el código realizado.

3.4.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

El lenguaje de programación utilizado fue C++Builder el cual tiene un alto rendimiento y potencial en el momento de ejecución y una gran cantidad de paquetes y componentes que facilitan la programación y la iteración con otros programas y/o componentes Windows. Cada uno de los módulos del DSS accede vía ODBC con la Base de Datos. El sistema DSS muestra los resultados en pantalla por medio del mismo sistema y también se apoya en reportes que fueron realizados bajo el lenguaje PHP y que están ubicados en un servidor Apache.

3.4.3 HEURISTICAS

Programación de buses

En este modulo del DSS se crea y se planifica la programación de los buses con el fin de llevar un seguimiento día a día a lo largo de todo el plan de rutas, como primera medida se toma el cuerpo del plan de rutas y se realiza la programación de los buses, llevando como registro los conductores titulares de los buses, se evalúa el código de

generación de servicio de relevo, en donde se identifican todas aquellas rutas que necesiten relevo y se elige el conductor relevo a cubrir el servicio, también se evalúa la heurística de compra de combustible en donde se le indica a los buses donde tienen que realizar la compra y la cantidad de abastecimiento de combustible, otra función que se evalúa es la de pronóstico de demanda en donde teniendo en cuenta la historia de las ventas realizadas años anteriores, se realiza una predicción de ventas para las rutas del nuevo plan de rodamiento que seguirían los buses, así sacando los valores de costos totales, ventas totales y utilidades totales por nivel de servicio.

En la programación de los buses también se evalúa el mantenimiento que es generado por el rodamiento de los buses, teniendo en cuenta el kilometraje que van sumando los buses a lo largo de la ejecución del plan de rodamiento y se comparan con las rutinas de mantenimiento pertenecientes al mismo chasis de los buses, así generando los reportes de mantenimiento de los buses por nivel de servicio.

Heurística Identificar Servicios Relevo

Esta subrutina verifica los tiempos de salida y llegada de cada ruta, los compara con la cantidad hora de los intervalos de tiempo en donde se puede encontrar la ruta, para verificar si excede o no esta cantidad, de ser verdadera, es decir que si excede el tiempo, es necesario que al bus le sea asignado un conductor relevo para esta ruta.

Variables

$R =$ Numero de arcos (o,d) que pertenecen al conjunto REC

IDENTIFICAR RELEVOS (b, t, RUT)

Para $rco(o,d)=1$ hasta $rco(o,d)<R$

Si $RUT(o,d,c,b,t) = 1$

Si $Tie(o,d) > Tdc$

$CRE(o,d,c,b,t)=1$

Sino

$CRE(o,d,c,b,t)=0$

Fin-Si

Fin-Si

Fin-Para

FIN

Heurística Salida Buses

En esta subrutina se evalúa las salida de los buses el primer día de su operación, en donde se le asigna a cada bus el punto de salida y se va recorriendo tramo por tramo y se evalúan las horas de salida y llegada para así determinar en qué tramos se genera un punto de salida de buses, dejando indicado estos tramos para que en el momento de realizar la programación de los buses, saber dónde empieza cada bus su operación.

Indices, variables

$R=$ Numero de arcos (o,d) que pertenecen al conjunto REC

$Hora_Salida(o,d,t)=$ Hora de salida del bus para el arco $o-d$ en el tiempo t

$Hora_Llegada(o,d,t)=$ Hora de llegada del bus para el arco $o-d$ en el tiempo t

$NB=$ Numero de buses que pertenecen al conjunto BU

$s=$ Índice para indicar las salida de los buses

$IndicadorSalida(b,t,servicio)=$ Guarda los arcos que generan la salida de un bus b

SALIDA BUSES (b, t)

$s=0$

Para $rco(o,d)=0$ hasta $rco(o,d)< R$

Si $(Hora_Salida(o,d,t) > Hora_Llegada(o,d,t) \parallel Hora_Salida(o,d,t) > Hora_Salida((o,d,t) + 1)$

$\parallel Hora_Llegada(o,d,t) > Hora_Salida((o,d,t)a+1))$

$Numb= Numb+1$

$IndicadorSalida(b,t,s)= rco(o,d)$

$s=s+1$

Fin-Si

Fin-Para

FIN

Esta subrutina verifica si el siguiente tramo del que se está evaluando puede ser o no cubierto por el mismo bus que cubriría el tramo evaluado. También nos va indicando el número de buses requeridos por nivel de servicio.

Heurística Programar Buses

En esta subrutina se lleva a cabo la programación de los buses, primero se realizó la asignación de los buses por nivel de servicio que van a participar en el plan de rodamiento, para esto se lleva un registro de los buses que van siendo seleccionados.

Al comenzar ningún bus ha sido seleccionado, solamente fueron seleccionados los que se encontraban disponibles, después se escogen al azar los buses, por medio de una función aleatoria, simultáneamente se actualiza el arreglo de buses seleccionados hasta que el número de buses seleccionados sea igual al número de buses requeridos arrojado por la subrutina anterior, buses que entrar a pertenecer al conjunto BU.

Después de asignar los buses, se empieza la programación, se recorre el arreglo que nos indica donde se realiza una salida, al identificar este tramo, se empieza por bus a programar todo su plan de rodamiento, esta programación se dividió en dos partes, primero se recorre desde el tramo de inicio hasta el último tramo del plan de rodamiento, y después desde el inicio del plan hasta el tramo anterior de donde se le indicó la salida al bus, al momento de que un bus termina este ciclo, otro bus que se encuentre disponible del mismo nivel de servicio tomara su programación y el bus que sale esperara la salida de otro bus, esto se realiza para darle rotación, participación a todos los buses que tiene la empresa.

1. Se recorre el plan desde el tramo donde se indica una salida hasta el fin del plan de rodamiento
2. Se recorre desde el inicio del plan hasta el tramo anterior donde se realizó la salida

3. Se reemplaza el bus que acaba de cumplir el ciclo por otro que se encuentre disponible esperando a entrar a la programación

Estos dos procesos se repiten para todos los buses creando la programación total de los buses, dentro de estos procesos se evalúan las siguientes sentencias:

Indices, variables

<i>R=</i>	<i>Numero de arcos (o,d) que pertenecen al conjunto REC</i>
<i>Hora_Salida(o,d,t)=</i>	<i>Hora de salida del bus para el arco o-d en el tiempo t</i>
<i>Hora_Llegada(o,d,t)=</i>	<i>Hora de llegada del bus para el arco o-d en el tiempo t</i>
<i>NB=</i>	<i>Numero de buses que pertenecen al conjunto BU</i>
<i>s=</i>	<i>Índice para indicar las salida de los buses</i>
<i>IndicadorSalida(b,t,servicio)=</i>	<i>Guarda los arcos que generan la salida de un bus b</i>
<i>dia_inicio(b,t)=</i>	<i>día de inicio de programación para el bus</i>
<i>T=</i>	<i>Fecha de finalización de la programación</i>

Funciones

ProgramarRodamientoBus(b, t, IndicadorSalida(b,t,s), rco(o,d))

PROGRAMAR BUSES (b, t)

Mientras Que (no sea ciclo final)

Para rco(o,d)=1 hasta rco(o,d)<R

Si IndicadorSalida(b,t,s) == rco(o,d)

ProgramarRodamientoBus(b, t, IndicadorSalida(b,t,s), rco(o,d))

Fin-Si

Fin-Para

Ciclo=ciclo+1

Fin-Mientras que

FIN

PROGRAMAR RODAMIENTO BUS (b, t, IndicadorSalida(b, t, s), rco(o,d))

Para $rco(o,d) = \text{IndicadorSalida}(b, t, s)$ hasta $rco(o,d) < R$

$t=1$

Si $t \leq T$

Si $\text{Hora_Salida}(rco(o,d), t-1) > \text{Hora_Llegada}(rco(o,d), t-1)$

$t=t+1$

$RUT(o,d,c, b, t)=1$

Sino

Si $\text{Hora_Llegada}(rco(o,d), t-1) > \text{Hora_Salida}(rco(o,d), t)$

$t=t+1$

$RUT(rco(o,d)+1, c, b, t)=1$

Sino

$RUT(o, d, c, b, t)=1$

Fin-Si

Fin-Si

Fin-Si

Fin-Para

FIN

Como resultado a la programación de buses y sus recursos, se visualizan dos tablas en donde la tabla situada en la parte izquierda de la ventana muestra la asociación de cada bus con el conductor asignado y la fecha de inicio de operaciones para el plan de rodamiento en evaluación. La segunda tabla en la parte derecha de la ventana, nos muestra la programación de los buses, en donde se puede observar todo el cuerpo del plan de rodamiento y el bus asignado para cada una de las rutas del plan en una fecha determinada.

Ilustración 9, Programación de buses

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

En la tabla de la programación de los buses, se puede ver el detalle de cualquier celda en donde se encuentre el número de un bus y nos muestra una pequeña ventana en donde nos permite ver el detalle de esa referencia a la cual hace la celda y también nos permite ver el rodamiento solo para el bus seleccionado.

	Llegada	01/01/2008	02/01/2008	03/01/2008	04/01/2008
-SIN	14	1105	1115	1111	1100
MON	16	1105	1115	1111	1100
I-SIN	6,75	1116	1105	Ver Anticipo Ver Rodamiento	1111
3AQ	10,75	1116	1105	1115	1111
-CTG	20	1116	1105	1115	1111
-BAQ	23,5	1116	1105	1115	1111
-SIN	9	1119	1116	1105	1115
MON	11	1119	1116	1105	1115
I-SIN	15,5	1119	1116	1105	1115

Ilustración 10, Detalle ruta-bus

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

Si se escoge la opción de Anticipo, se muestra el detalle de la ruta, la hora de salida del viaje, el código de la ruta, la descripción de la ruta, la hora de llegada esperada, el numero del bus que ejecutara esa ruta, el conductor titular asociado, si lleva relevo o no, los costos de anticipo, el valor de combustible a comprar en la agencia de donde parte.



Ilustración 11, Detalle ruta

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

Heurística Combustible

La subrutina de combustible es una heurística que tiene como fin indicar a los buses donde deben abastecerse de combustible dependiendo del costo del mismo en cada agencia que visitan los buses. Primero se tiene la información del costo de combustible en las agencias principales y en aquellas agencias donde sea permitido comprar combustible debido a su bajo costo, después se toma la programación realizada en la subrutina anterior y se hace el seguimiento de los tramos por los cuales tiene que pasar cada bus y se va evaluando el coste del combustible en cada una de ellas, la heurística va a tratar de indicar los puntos más baratos de combustible para que los buses se

abastezcan completamente o sino que traten de llenar lo necesario para llegar hasta una agencia con coste de combustible más bajo.

La heurística puede realizar esto debido a que tiene en cuenta el chasis de cada bus, el cual le indica cual es la capacidad del tanque de combustible y su consumo.

Heurística 1

Indices, variables

$R=$	<i>Numero de arcos (o,d) que pertenecen al conjunto REC</i>
$fco(b)=$	<i>Factor de requerimiento de combustible por kilometro recorrido</i>
$dis(o,d)=$	<i>Distancia de recorrido del arco a</i>
$ccom(o)=$	<i>Costo del combustible en la agencia o</i>
$CC(b,t)=$	<i>Valor de la compra de combustible para el bus b en el tiempo t</i>

COMPRA COMBUSTIBLE (b, c, t, RUT)

Para $rco(o,d)=0$ hasta $rco(o,d)<A$

Si $RUT(o,d,c,b,t) = 1$

*$CC(b,t) = fco(b) * dis(o,d) * Ccom(o)$*

Fin-Si

Fin-Para

FIN

Heurística 2

Indices, variables

$ccom(o)=$	<i>Costo de combustible la agencia o</i>
$tie(o,d)=$	<i>Tiempo de recorrido del arco o,d.</i>
$fco(b)=$	<i>Consumo en galones/kms del bus</i>
$capc(b)=$	<i>Capacidad en galones del bus</i>

$rco(o',d')$ =	Arco o',d' pivote para comparación de costo de combustible
$capusada$ =	Capacidad usada del tanque
$faltante$ =	Capacidad no usada del tanque
$compra(o,d,t)$ =	Valor de la compra de combustible en el arco o,d en el tiempo t

Nota: El consumo de ningún tramo puede superar la capacidad del bus.

COMBUSTIBLE (b)

$$rco(o',d') = 0$$

$$rco(o,d) = 0$$

$$capusada = 0$$

$$faltante = 0$$

Mientras que $(rco(o,d) < A)$

$$\text{Si } ((capusada + fco(b)/60 * tie(rco(o,d))) \geq capc(b))$$

$$\text{Si } ((ccom(rco(o',d')) < ccom(rco(o,d))) \text{ o } (rco(o',d') = rco(o,d)))$$

$$faltante = capusada + fco(b)/60 * tie(rco(o,d)) - capc(b)$$

$$capusada = capc(b)$$

$$compra(rco(o',d')) = capusada * ccom(rco(o',d'))$$

$$rco(o',d') = rco(o',d') + 1$$

$$capusada = faltante$$

sino

$$compra(rco(o',d')) = capusada * ccom(rco(o',d'))$$

$$rco(o',d') = rco(o,d)$$

$$capusada = fco(b)/60 * tie(rco(o,d))$$

Fin-Si

sino

$$\text{Si } ((ccom(rco(o',d')) < ccom(rco(o,d))) \text{ o } (rco(o',d') = rco(o,d)))$$

$$capusada = capusada + fco(b)/60 * tie(rco(o,d))$$

sino

$$\text{compra}(\text{rco}(\text{o}', \text{d}')) = \text{capusada} * \text{ccom}(\text{rco}(\text{o}', \text{d}'))$$

$$\text{rco}(\text{o}', \text{d}') = \text{rco}(\text{o}, \text{d})$$

$$\text{capusada} = \text{fco}(\text{b})/60 * \text{tie}(\text{rco}(\text{o}, \text{d}))$$

Fin-Si

Fin-Si

$$\text{rco}(\text{o}, \text{d}) = \text{rco}(\text{o}, \text{d}) + 1$$

Fin-Mq

$$\text{Compra}(\text{rco}(\text{o}', \text{d}')) = \text{capusada} * \text{ccom}(\text{rco}(\text{o}', \text{d}'))$$

Heurística Mantenimiento

Para desarrollar la programación de mantenimiento de los buses, fue necesario determinar las rutinas de mantenimiento a seguir dado que se tienen buses que poseen diferentes tipos chasis que implican rutinas diferentes de mantenimiento. Para conocer esta información, se visitaron varios talleres en la ciudad de Barranquilla que atienden buses de este tipo. De estos talleres se recolectó información que se pudo emplear para formular las rutinas de mantenimiento.

En estas rutinas se detallan las actividades a realizar en cada una de las salidas del vehículo al mantenimiento, así como la frecuencia con la que estas actividades deben ser realizadas, de acuerdo al kilometraje de los mismos. A su vez, se incluye un estimado de la duración de las rutinas, de tal manera que se tengan en cuenta para la programación de los vehículos.

Una vez que se obtuvieron estas rutinas de mantenimiento, fueron incluidas en la Base de Datos. Dado que en la mayoría de empresas de transporte terrestre de pasajeros no cuenta con una flota vehicular propia sino tercerizada, no es fácil llevar un control o realizar seguimiento al cumplimiento de estas rutinas. Los dueños de los buses no se encuentran obligados a cumplir con estos planes de mantenimiento y las empresas no están en poder de obligarlos a seguir estas rutinas. A partir de este hecho, dentro del DSS en el módulo de Programación de Buses, se tiene la opción de realizar esta operación teniendo en cuenta el plan de mantenimiento, la frecuencia y duración del

mismo lo que implica en algunos casos la salida de los buses que les sean asignadas rutinas en instantes de tiempo de la planificación de su operación, o realizar la programación del mantenimiento de forma informativa, en donde se visualiza cuando les tocarían a los vehículos realizar cada una de las rutinas.



Ilustración 12, Tipos de programación de mantenimientos

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

- **Mantenimiento sin alterar la programación de los buses.**

En esta subrutina se toman cada uno de los buses que fueron programados anteriormente y se recorre toda su programación evaluando en cada tramo que recorre si este excede alguno de los kilometrajes que indican una rutina de mantenimiento dependiendo del chasis del bus, cuando esto sucede se guarda el día que le toca la rutina, la rutina que le toca, el tramo donde paso el kilometraje de la rutina y el bus que se evalúa, generando un reporte de mantenimiento, esta subrutina solo indica el día en que a un bus le toca el mantenimiento, es decir solo es una subrutina informativa. Si al bus le llegara a tocar una rutina de mantenimiento estando fuera de su centro de operativo, se espera a que el bus llegue a su centro operativo origen para realizar el mantenimiento, esto es debido a que la mayoría de buses se encuentran ligados a talleres que se encuentran en sus ciudades de origen.

- **Mantenimiento alterando la programación de los buses.**

En esta subrutina se toman cada uno de los buses que fueron asignados anteriormente y se recorre todo el plan por día, se evalúa en cada tramo que recorre si excede alguno

de lo kilometrajes que indican rutina de mantenimiento dependiendo del chasis del bus, se verifica si la agencia de salida del tramo corresponde a su centro operativo, de no serlo se espera a que el bus llegue a su centro operativo para realizar el mantenimiento, en ese momento se evalúa el tiempo que demora de la rutina que le toca y se determina si el bus puede seguir su rodamiento como venia, o si el bus no alcanza a terminar su mantenimiento antes de la hora de su próximo salida, de ser así, el bus es sacado de la programación y se escoge un nuevo bus al azar de los que estén disponibles y se le asigna la programación que traía el bus anterior, apenas termine el mantenimiento el bus que fue sacado queda como disponible para poder entrar próximamente a tomar una programación de otro bus que tenga que salir a mantenimiento o que haya terminado su ciclo.

De esta manera se genera un reporte en la cual indica el día en que los buses tienen que realizar una rutina de mantenimiento y se dice si el bus tiene que salir de su programación para poder realizar la rutina.

Indices, variables

<i>R=</i>	<i>Numero de arcos (o,d) que pertenecen al conjunto REC</i>
<i>irutina=</i>	<i>índice de rutinas de mantenimiento</i>
<i>rutinarealizada=</i>	<i>índice de la ultima rutina de mantenimiento realizada por el bus</i>
<i>RUTINAS(b)=</i>	<i>Numero de rutinas de cada bus b</i>
<i>KMS(b,irutina)=</i>	<i>Kilometro de la rutina irutina que pertenece al bus b</i>
<i>KmsRecorridos(b)=</i>	<i>Kilómetros recorridos por un busb</i>
<i>CENTRO_OPERATIVO=</i>	<i>Agencia principal llamada centro operativo</i>
<i>mantenimiento=</i>	<i>Variable booleana que indica si se realiza el mantenimiento o no.</i>
<i>Intervalo=</i>	<i>Rango de tiempo Δt permitido para realizar un rutina</i>

MANTENIMIENTO(*rco(o,d), b, KmsRecorridos(b), t*)

Mientras que (CriterioParada == true && irutina < RUTINAS(b))

Si KmsRecorridos(b) > KMS(b,irutina)

```

Si KmsRecorridos < KMS(b,irutina+1)
    Si KmsRecorridos < KMS(b,irutina)+Intervalo
        Si irutina > rutinarealizada
            Si o == CENTRO_OPERATIVO
                mantenimiento= true
                CriterioParada= false
                rutinarealizada= irutina
            Fin-Si
        Fin-Si
    Fin-Si
Fin-Si
Fin-Si
Fin-Si
Fin-Mq
FIN

```

En la siguiente figura se visualiza la planificación del mantenimiento seleccionado anteriormente, se muestra por nivel de servicio y la tabla despliega la información referente al Bus, la rutina de mantenimiento, los kilómetros recorridos hasta ese momento, el día, y el tramo donde le toca realizar la rutina.

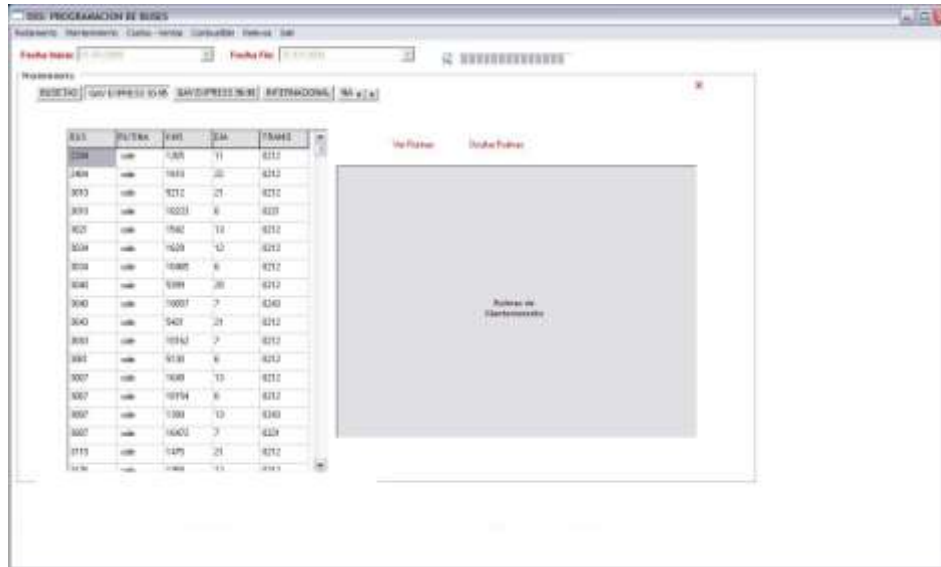


Ilustración 13, Planificación de rutinas de mantenimiento

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

También se permite la visualización del detalle de cada una de las rutinas que son asignadas.

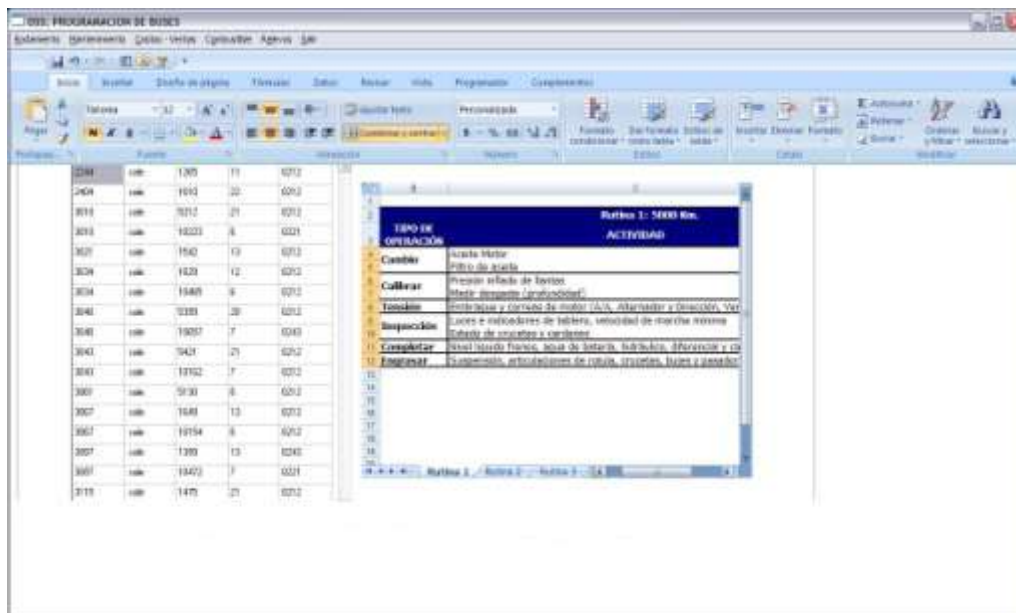


Ilustración 14, Detalle de las rutinas

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

Heurística Pronóstico de Ventas

Después de esto se hace un llamado a la función de pronóstico de ventas el cual con la información mencionada anteriormente, función de pronósticos basado en el procedimiento de la linealización trapezoidal, para el manejo de volúmenes masivos de información, la función devuelve el número de pasajeros esperados a movilizarse en una ruta en especifica y el porcentaje de descuento que se realizo en todas las ventas anteriores, con este número de pasajeros esperados a movilizarse para una ruta determinada y con el valor del tiquete actual para esa ruta, podemos tener la venta esperada para cada ruta que pertenezca a la planificación del rodamiento.

Indices, variables

$R=$	Numero de arcos (o,d) que pertenecen al conjunto REC
$PAS(o,d,c,b,t)=$	Numero de pasajeros movilizados por el arco $rco(o,d)$ cuando está siendo recorrido por el bus b conducido por un conductor c en un tiempo t
$Cab(b)=$	Capacidad máxima de pasajeros para el bus
$f=$	factor de descuento
$R=$	Numero de arcos (o,d) que pertenecen al conjunto REC
$NB=$	Numero de buses que pertenecen al conjunto BU

PRONOSTICO VENTAS (c)

Para $b=1$ hasta NB

Para $rco(o,d)=1$ hasta $rco(o,d)<R$

$PAS(o, d, c, b, t) = \text{PronosticoVenta}(o, d, t)$

Si $PAS(o, d, c, b, t) < Cab(b)$

$Venta(o,d) = PAS(a,b,t) * pve(o,d,nod,des) * f$

Sino

$Venta(o,d) = Cap(b) * pve(o,d,nod,des) * f$

Fin-Si

Fin-Para

Fin-Para

FIN

Este pronóstico de ventas y pasajeros movilizados es calculado para cada ruta que ha sido asignada a cada bus perteneciente a la programación y es organizada en diferentes reportes, utilidades esperadas por ruta, por buses y por nivel de servicio.

The screenshot shows a software window titled "DSS: PROGRAMACION DE BUSES". It contains a menu bar with options: "Sistema", "Mantenimiento", "Cuentas-ventas", "Cronograma", "Reportes", and "Salir". Below the menu bar, there are two date selection fields: "Fecha Inicio" and "Fecha Fin". The main area is titled "Cuentas y Reportes" and contains a sub-menu with "Ventas por Ruta", "Ventas por Bus", "Costos y Utilidad", and "Ventas". The primary data is presented in a table with the following columns: "Ruta", "Man. Bus", "Dia", "Ruta", "Kms. Sq", "Pas. Pasajero", "Vale. Ticket", "Vale. Ticket/Dia", "Ventas", and "Gasto. Bus". The table lists 14 rows of data for route "05" on bus "1100" for days 1 through 14.

Ruta	Man. Bus	Dia	Ruta	Kms. Sq	Pas. Pasajero	Vale. Ticket	Vale. Ticket/Dia	Ventas	Gasto. Bus
05	1100	1	0230	11,75	0	2000	2000	0	0
05	1100	1	3002	17,75	0	1500	2400	0	0
05	1100	03	0244	7	0,400	2700	3400	10.800	2.170
05	1100	03	4433	11	0	0	0	0	0
05	1100	03	2344	15,5	0	2400	3000	0	0
05	1100	03	4402	17,5	0	0	0	0	0
05	1100	11	0212	4,5	20	900	1200	180.000	30.400
05	1100	11	1202	6,75	4.500	9000	10000	36.750	7.940
05	1100	11	0244	12	20	2700	3400	544.000	108.000
05	1100	11	4433	18	0	0	0	0	0
05	1100	12	2344	6,75	9	2400	3000	216.000	43.300
05	1100	12	4402	9,75	0	0	0	0	0
05	1100	13	0230	6,25	5.500	20000	26000	115.000	23.170
05	1100	13	3002	13	15,75	15000	24000	300.500	70.020
05	1100	14	0230	7,75	7	2000	3000	145.000	29.130
05	1100	14	3002	14	12,25	15000	24000	234.240	46.040

Ilustración 15, Venta esperada por ruta

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

DSS: PROGRAMACION DE BUSES
 Submenú: Horario/venta Costo-ventas Combustible Reparo Sal
 Fecha Inicio: 01-01-2000 Fecha Fin: 31-12-2000

Costos y Decesos

Ventas por Ruta | Ventas por Bus | Costo/Utilidad | Ventas

Bus	Núm. Bus	Venta
BUSSETAS	1100	\$4.798.713
BUSSETAS	1104	\$4.972.814
BUSSETAS	1105	\$2.246.200
BUSSETAS	1106	\$9.533.691
BUSSETAS	1110	\$8.793.470
BUSSETAS	1111	\$4.703.856
BUSSETAS	1112	\$7.830.940
BUSSETAS	1113	\$9.862.937
BUSSETAS	1114	\$9.862.265
BUSSETAS	1115	\$2.919.736
BUSSETAS	1116	\$10.093.460
BUSSETAS	1117	\$8.290.101
BUSSETAS	1118	\$7.605.510
BUSSETAS	1119	\$9.806.256
DAY EXPRESS 93-95	2044	\$3.488.304
DAY EXPRESS 93-95	2044	\$3.429.791
DAY EXPRESS 93-95	3010	\$5.579.477

Ilustración 16, Venta esperada por bus

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

DSS: PROGRAMACION DE BUSES
 Submenú: Horario/venta Costo-ventas Combustible Reparo Sal
 Fecha Inicio: 01-01-2000 Fecha Fin: 31-12-2000

Costos y Decesos

Ventas por Ruta | Ventas por Bus | Costo/Utilidad | Ventas

	BUSSETAS	DAY EXPRESS 93-95	DAY EXPRESS 96-99	INTERNACIONAL
Costo Total	\$40.636.000	\$37.676.700	\$132.406.528	\$159.136.268
Costo Combustible	\$4.962.938	\$3.629.320	\$2.383.215	\$19.999.979
Ventas Totales	\$124.799.824	\$100.167.504	\$464.426.612	\$491.346.488
Gancho Actual	\$23.947.874	\$20.437.188	\$99.099.328	\$88.269.088
Comision Total	\$3.741.285	\$3.894.725	\$13.624.368	\$12.040.360
Costo Total	\$11.247.057	\$11.031.578	\$44.144.967	\$44.073.655
Comision Rotativa	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo Rotativo	\$0	\$0	\$0	\$0
Utilidad Total	\$149.149.528	\$137.096.676	\$149.476.064	\$126.941.872

Ilustración 17, Costos-Ventas por nivel de servicio

Fuente: DSS, Sistema de Información de soporte a toma de decisiones

3.5 PRUEBAS DEL SISTEMA

Durante la prueba del sistema, el Sistema de Información se instaló en un computador con comunicación con la Base de Datos donde se encontraba toda la información necesaria para la ejecución del software.

Para cada verificación establecida, se realizan las pruebas con los casos de pruebas asociados, efectuando el correspondiente análisis y evaluación de los resultados, verificando si estos eran los resultados esperados, para esta etapa de pruebas, se contó con la colaboración de un grupo de ingenieros de una empresa dedicada al transporte terrestre de pasajeros del país, en donde se encontraban un ingeniero de sistemas y dos ingenieros industriales.

Al final de un número de sesiones de pruebas, se evaluaban los resultados obtenidos para obtener retroalimentación de los ellos. Estas retroalimentaciones, no siempre eran positivas por lo que conllevaban a cambios no esperados y revisiones de los modelos y del Sistema de Información.

Después de intensas sesiones de pruebas, el DSS superó las pruebas realizadas.

3.6 IMPLANTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL NUEVO SISTEMA

En la implantación se realizó el proceso de verificación de resultados, las diferentes transferencias tecnológicas, y construcción de todos los archivos de datos necesarios como manuales para la utilización del sistema de información.

De igual forma el DSS sigue en etapas de observación y posibles mejoras. Sin embargo, las organizaciones y los usuarios cambian con el paso del tiempo, incluso el ambiente es diferente con el paso de las semanas y los meses. Por consiguiente, es indudable que debe existir cierto mantenimiento al sistema.

4. CONCLUSIONES

Esta investigación se realizó sobre una rama interesante en el área de transporte de pasajeros, en donde se presentó la inclusión de requerimientos y restricciones propias de la operación de este tipo de servicios que ocurren en el día a día, como también otras que son establecidas por el Gobierno. Se propusieron modelos de programación de recursos, flota vehicular, conductores, rutinas de mantenimiento y puntos de abastecimiento de combustible que apoyan al alcance de las funciones objetivo de minimización de costos y maximización de utilidades.

Se presentó un impacto tecnológico de sistematización de la planificación de funciones y recursos del transporte terrestre de pasajeros, debido a que los modelos desarrollados fueron aplicados en un Sistema de Información para apoyo a toma de decisiones, el cual puede ser soporte para actividades operativas en la prestación de servicio de transporte de pasajeros y también como soporte o base a futuros estudios o investigaciones.

Los modelos fueron aplicados con información real, lo que permitió una buena descripción detallada y cuidadosa de las características que se presentan en la prestación de este tipo de servicios, lo que también conlleva a que existen muchas otras vías de resolver este problema y de considerar muchas más restricciones y funciones para futuras investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Porter, 2007. La Organización bajo una Perspectiva de un Sistema Caótico, Profesor Orlando Vilorio. Disponible en WWW: <http://lucas.nul.usb.ve/localwebsite/clases/FCL-131/monografias/la%20Organizaci%F3n%20y%20el%20%20Caos/Organizaci%F3n%20y%20Caos.pdf>.
2. Sinbad2, 2007. Sistemas Inteligentes Basados en Análisis de Decisión Difusos. Universidad de Jaén. Disponible en WWW: http://sinbad2.ujaen.es/~mafer/drupal-5.1/files/mata_mata/SIATD/tema1.pdf
3. James A. Sean, 2002. Análisis y Diseño de Sistemas de Información, Segunda edición. Pg. 26.
4. JR SOFTWARE Transporte de pasajeros, disponible en WWW: <http://www.softwarejr.com.ar/software-transporte.htm>
5. PARAGON Software Systems, FLOTAS INTEGRADAS, disponible en WWW: <http://es.paragonrouting.com/profile.htm>
6. SAPRASOL S.L., Herramientas de Software de Gestión de Flotas de Vehículos Herramientas de Software de Planificación de Rutas de Vehículos, disponible en WWW: <http://www.saprasol.com/vehrou2.htm>
7. TRAPEZE, TRAPEZE GROUP TRANSPORTE PÚBLICO, disponible en WWW: http://sp.trapezegroup.com/solutions/sol_transpub.php
8. SIT Sistemas Inteligentes de Transporte, PTV Traffic mobility logistics, disponible en WWW: <http://www.sit-colombia.com/productos.html>

ANEXOS

Anexo 1. Artículo revista dinero, 6 de Junio de 2008, TRANSPORTE TERRESTRE Y AÉREO.

Anexo 2. Artículo revista dinero, 13 de Abril de 2007, ¡A CERRAR LA BRECHA!