

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



SUBSISTEMAS DE CONTROL DE SUPERVISIÓN OPERACIONAL
DEL CORREDOR SEGREGADO DE ALTA CAPACIDAD (COSAC I)

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:
JOSÉ LUCAS EDGARD ESPINOZA PEÑA**

**PROMOCIÓN
2004-II**

**LIMA-PERÚ
2013**

**SUBSISTEMAS DE CONTROL DE SUPERVISIÓN OPERACIONAL DEL CORREDOR
SEGREGADO DE ALTA CAPACIDAD (COSAC I)**

DEDICATORIA:

A Dios nuestro Señor, a la Universidad Nacional de Ingeniería, la UNI, mi alma mater, a mi madre, esposa, hijos y maestros catedráticos, quienes con su invaluable apoyo moral y material, han hecho realidad los sueños de graduación y titulación.

SUMARIO

En el presente informe se explica la infraestructura, funcionamiento y equipamiento del COSAC I para el control de supervisión operacional. El COSAC I es el Corredor Segregado de Alta Capacidad 1, mejor conocido como “El Metropolitano” de la ciudad de Lima.

Para cumplir con las normas mundiales, se necesitaba contar con subsistemas de control óptimos y supervisión con él a fin de brindar una adecuada administración del mismo, asegurando un sistema aparente y libre de peligros a los usuarios de este sistema de transporte.

El presente trabajo se enfoca en la problemática de los Buses de Tránsito Rápido (BRT- Bus Rapid Transit) de la ciudad de Lima en cuanto a los Subsistemas de Control y Monitoreo de Flota, semaforización, sistemas de embarque y desembarque, llenado de combustible, recaudo y telecomunicaciones.

El informe contempla la técnicas de ingeniería para el desarrollo e implementación de la topología e infraestructura del COSAC I (Ruta actual y futuras, componentes de las Estaciones y de los Patios Norte y Sur), la operación y desarrollo de soluciones para optimizar el funcionamiento de los subsistemas electrónicos, la operación óptima de los elementos rodantes y su tecnología, y finalmente el control de flota y monitoreo de ruta en la operación. El documento también proporciona información complementaria en los anexos respectivos. Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones para optimizar la operación de circulación en el BRT.

El COSAC I es un sistema de transporte urbano con buses de alta capacidad sobre carriles segregados, que aplica el esquema de “servicio troncal apoyado por servicios alimentadores”, y que forman parte de la red del nuevo sistema integrado de transporte de Lima. Este sistema de transporte introduce nuevos conceptos funcionales y de operación, pero sobre todo de calidad del servicio para los usuarios.

Si bien los componentes y funcionalidad del nuevo sistema se han plasmado en el diseño y ejecución de los diferentes elementos del COSAC I, estas características se reflejan en el Informe del Plan Maestro de Transporte Urbano para Lima y Callao realizado por la Agencia de Cooperación Internacional del JAPON (JICA).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Objetivos del trabajo	3
1.3 Evaluación del problema	3
1.4 Síntesis del informe	36
CAPÍTULO II	
TOPOLOGÍA E INFRAESTRUCTURA	38
2.1 Rutas actuales y futuras.....	38
2.2 Características de las estaciones.....	45
2.2.1 Sistema automatizado de embarque y desembarque en estaciones.....	47
2.2.2 Gestión de Soluciones al Sistema de Embarque y desembarque en Estaciones. Propuestas de Soluciones.....	53
2.2.3 Programa PLC del Sistema automatizado de embarque y desembarque.....	54
2.3 Características de los Patios Norte y Sur	56
CAPÍTULO III	
SUBSISTEMAS ELECTRÓNICOS	59
3.1 Llenado automatizado de combustible en los patios	59
3.2 Sistema de Video vigilancia	61
3.2.1 Características funcionales	62
3.2.2 Detalles de las cámaras	64
3.2.3 Plataforma de Administración.....	66
3.2.4 Sistema de grabación y de visualización.....	67
3.3 Sistema de semaforización	68
3.3.1 Control Automatizado Semáforos.....	77
3.3.2 Simulación de control de sistema de semáforos en tráfico en Matlab.....	79
3.4 Subsistema de recaudo.....	81
3.5 Sistema automatizado de embarque y desembarque en las estaciones	83
CAPÍTULO IV	
MATERIAL RODANTE Y ACTUADORES	86
4.1 Material Rodante.....	86

4.1.1	Sistema de localización.....	96
4.1.2	Unidad Lógica.....	97
4.1.3	El radio.....	97
4.2	Sensores de temperatura y humedad.....	97
4.3	Controles de velocidad.....	97
4.4	Sistema ambiental y ventiladores.....	97
4.5	Software de control y equipo Orbstar.....	98
CAPÍTULO V		
CONTROL DE FLOTA Y MONITOREO DE RUTA EN LA OPERACIÓN.....		99
5.1	Programación de flota.....	99
5.2	Herramienta de programación de flota Schedule Master.....	102
5.3	Control operacional de flota mediante Obrcad.....	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		112
ANEXO A		
PRUEBAS DEL COSAC I.....		115
ANEXO B		
PRECIOS Y PARTES BASE DEL COSAC I.....		118
ANEXO C		
EXTRACTO DEL ALGORITMO DEL SOFTWARE DEL MODELO DE LA RED DE		
TRANSPORTE ESTRAUS.....		122
ANEXO D		
ACRONIMOS Y ABREVIATURAS.....		127
BIBLIOGRAFÍA.....		132

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surge por la necesidad de "El Metropolitano" de contar con subsistemas óptimos de control y supervisión a fin de brindar una adecuada administración del mismo, asegurando un sistema aparente y libre de peligros a los usuarios de tal sistema de transporte.

La ciudad necesitaba un nuevo sistema de transporte ya que el que existía desde hace tres décadas era lento, inseguro, con altos índices de contaminación y muy ineficiente.

Un nuevo sistema de transporte surge como respuesta a la problemática de la ciudad, para lo cual el Concejo Metropolitano impulsa la implementación de un sistema de buses similar al de Colombia (Transmilenio). El ex alcalde de Lima Alberto Andrade propuso el "Limabus" y el también ex alcalde de Lima Luis Castañeda; lo retomó como "El Metropolitano".

Pero un sistema de transporte moderno, no solo necesitaba de buses modernos, la logística y control eran aspectos determinantes a satisfacer eficientemente, con el propósito de asegurar la integridad de sus pasajeros, del bus, así buscar que sea rentable.

Es así que "El Metropolitano" tiene una serie de sistemas electrónicos que brindan un control/supervisión al Centro de Gestión, Control y operaciones:

- Sistemas automatizados de embarque y desembarque.
- Sistema de automatizado de recaudo.
- Sistema automatizado de monitoreo y control de flota.
- Sistema automatizado de video vigilancia, entre otros.

Es así que en este informe se explican los subsistemas, luego se hacen propuestas y se exponen los costos de este enorme proyecto.

El informe contiene los siguientes capítulos:

Capítulo I "Planteamiento de Ingeniería del Problema".- En él se explica el problema de ingeniería y se precisan los objetivos del Informe de Competencia. También se realiza una evaluación de la problemática y se presenta una síntesis del informe realizado.

Capítulo II Topología e Infraestructura.- En el cual se expone lo referente a la topología e infraestructura de "El Metropolitano". El capítulo se organiza en tres secciones: Rutas actuales y futuras, características de las estaciones, y finalmente,

características de los Patios Norte y Sur. En este capítulo se establece la propuesta de mejora para el sistema automatizado de embarque y desembarque con un controlador lógico programable: PLC logo siemens 230RC. En base a estas consideraciones de la propuesta se seleccionó la opción de la empresa Ingenieros Civiles Contratistas Generales (IGSA) representantes de la española Gruppsa.

Capítulo III “Subsistemas Electrónicos”.- Este capítulo se enfoca en explicar los diferentes subsistemas electrónicos para una mejor ilustración del COSAC I. Los subsistemas a describir son los siguientes: Llenado automatizado de combustible en los patios, Sistema de video vigilancia, Sistema de semaforización, Subsistema de recaudo, Sistema automatizado de embarque y desembarque en las estaciones. En este se desarrolla la simulación de control de sistema de semáforos en tráfico elaborados en Matlab

Capítulo IV “Material Rodante y Actuadores”.- Donde se desarrollan los temas involucrados al Sistema de localización, Unidad Lógica, radiocomunicación, Sensores de temperatura y humedad, Controles de velocidad, Sistema ambiental y ventiladores y el Software de control y equipo Orbstar.

Capítulo V “Control de Flota y Monitoreo de Ruta en la Operación”.- Con el cual se desarrollan los temas involucrados al sistema de transporte inteligente (ITS) de los Buses de Transito rápido (BRT).

El presente informe se ha realizado basándose en la experiencia del autor en este tipo de sistemas de transporte masivo, desde el año 1995 con el inicio del Sistema de transporte Masivo de Lima y Callao, a cargo de la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico, en el cual ha recibido el Curso de Adiestramiento para la Operación Comercial del Metro de Lima a cargo de los Especialistas Italianos de la empresa ANSALDO TRANSPORTI de la Fiat Ferroviaria. Y el curso internacional de Seguridad en la Circulación Ferroviaria en la Fundación CEDDED (Fundación Centro de Educación para el Desarrollo Económico y Tecnológico) del Ministerio de Economía y Competitividad de España y el Banco Mundial y la Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Madrid. 2011. España. Y con el material dispuesto en los informes y estudios del sistema de transportes de Lima y Callao.

De esta manera se agradece al especialista italiano, el Ingeniero Mario Generoso Nitti, por haber sido el formador y mentor en esta clase de sistemas.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

En este capítulo se explica el problema de ingeniería y se precisan los objetivos del Informe de Competencia. También se hace la evaluación de la problemática y se presenta una síntesis del informe realizado.

1.1 Descripción del problema

Necesidad de poseer una adecuada capacidad de supervisión de las operaciones de circulación en tráfico en el corredor segregado de alta capacidad COSAC I, de los Buses de Tránsito Rápido (BRT).

1.2 Objetivos del trabajo

Proporcionar subsistemas de control al corredor segregado de alta capacidad COSAC I, para una adecuada toma de decisiones en la Operación Comercial.

En el presente trabajo se exponen las tareas para la puesta en operación del Sistema de Control de Supervisión Operacional a través de los subsistemas de monitoreo de rutas, de control de embarques y desembarques, y de datos y telecomunicaciones en el Corredor Segregado de Alta Capacidad 1: El Metropolitano de Lima.

1.3 Evaluación del problema

Según el Plan maestro de transporte urbano para el área metropolitana de Lima y Callao de la República del Perú y de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) realizada por Yachiyo Engineering en asociación con Pacific Consultants International (Agosto del 2005): El transporte en la Ciudad de Lima es lento, inseguro, contaminante y muy ineficiente. El servicio público se caracteriza por un exceso de oferta, lo cual genera congestión, demora en los desplazamientos y competencia ruinosa [1].

En 1985, el transporte público representó el 74% de los viajes motorizados, con un promedio de seis millones de viajes diarios, de los cuales 4,4 millones (tres de cada cuatro viajes) fueron atendidos por transporte público, que incluso llegó a 89% de los motorizados [2].

Según la DGTU, en Setiembre del 2003 en el área metropolitana de Lima y Callao existen 4500 ómnibus, 11,000 microbuses, 9,000 combis o camionetas rurales con una antigüedad promedio de 15 a 20 años. Entonces los buses son muy antiguos [1].

En la actualidad, la ciudad de Lima cuenta ya con dos sistemas de transporte que están aliviado en parte el problema de la movilidad en la ciudad, El Metro, conocido en

nuestro medio como “Tren Eléctrico” [3], y “El Metropolitano”, ambos sistemas de transporte funcionan en paralelo y en sentido Norte – Sur. Por otro lado, la Municipalidad de Lima ya ha implementado el llamado “Bus Patrón”, sistema muy parecido al “El Metropolitano” pero más sencillo y rápido de construirlo, este consiste en la construcción de una red de corredores para buses con el modelo Euro 4, con muy baja contaminación ambiental y acústica, en la que participarían las empresas de transporte que sean legalmente constituidas y formalizadas.

Es así que “El Metropolitano”, técnicamente designado como el corredor segregado de alta capacidad COSAC I, necesita contar con subsistemas óptimos de control y supervisión a fin de brindar una adecuada administración del mismo, asegurando un sistema aparente y libre de peligros a los usuarios de este sistema de transporte.

El presente trabajo se enfoca en la problemática del BRT de Lima en cuanto a los Subsistemas de Control y Monitoreo de Flota, Semaforización, sistemas de Embarque y Desembarque, Llenado de combustible, Recaudo y Telecomunicaciones.

Respecto a la Filosofía de operación, “El Metropolitano” cumple con las normas de calidad y eficiencia que se definen para Protransporte.

Los estudios e investigaciones del sistema de Transporte masivo utilizado: BRT. Indican que los parámetros más usados para cuantificar la calidad del servicio en sistemas de transporte masivo con autobuses articulados son: la regularidad, puntualidad, operación, accidentalidad, estado de las unidades y el manejo ambiental. Entonces prevalece la seguridad de la operación, la regularidad y el confort del servicio.

El transporte masivo basado en BRT es un sistema de gran escala compuesto por grandes subsistemas de alta dimensionalidad, compuestos por un gran número de entradas y salidas; donde se integran todas las disciplinas de ingeniería. En el cual hay una información restringida sobre su comportamiento y control.

El sistema no puede ser descrito mediante un modelo matemático perfecto o bien existen en las señales de control perturbaciones desconocidas. Por estas razones, el análisis de un sistema de gran escala no se puede abordar de la misma forma que a un sistema de dimensiones reducidas. Entonces, el análisis se realiza mediante la descomposición en subproblemas. Resolviendo estos por separado, combinándolas para la solución total. El sistema se divide en subsistemas desacoplados; sin tener en cuenta sus interconexiones. Entonces se dividen en sub sistemas débilmente acoplados; de tal manera que cada una de estos subsistemas se resuelve de manera independiente.

Cada subsistema presenta interconexiones con una influencia sobre la dinámica del sistema menor que la que tiene la dinámica propia de cada subsistema. Pero en muchos casos estas interconexiones tienen influencia sobre el comportamiento global del

subsistema que no puede despreciarse frente a la dinámica propia de cada subsistema. Y en este caso del BRT: Son sistemas fuertemente acoplados, los sistemas de control de la operación, ya que una perturbación en uno o más subsistemas puede afectar a la operación comercial de la circulación dentro del BRT. En las cuales se pueden utilizar las técnicas de control descentralizado con expansiones en espacio de estados. Cada subsistema es multivariable y estocástico. Y las restricciones también son también multivariables y estocásticas. Como por ejemplo una cola de Material Rodante en la hora valle puede ser de alto costo incluso hasta político social.

La meta de Control es asegurar un sistema operacional seguro, regular y confortable; además de económicamente eficiente, integrado de forma adecuada al entorno. Esto plantea obtener como (función) objetivo un control suficientemente eficaz, para lograr un servicio a los usuarios y operadores que garanticen ventajas sobre el tiempo de espera y de viaje.

Entonces se debe satisfacer la demanda de viajes de personas con muchos propósitos distintos, a varias horas del día y en diferentes itinerarios, dadas la red de rutas de transporte y el sistema de gestión, con la capacidad de operación estimada mediante el moledamiento del transporte realizado. En la figura 1.1 se muestra la estructura general que se realiza para el modelamiento del sistema COSAC I:

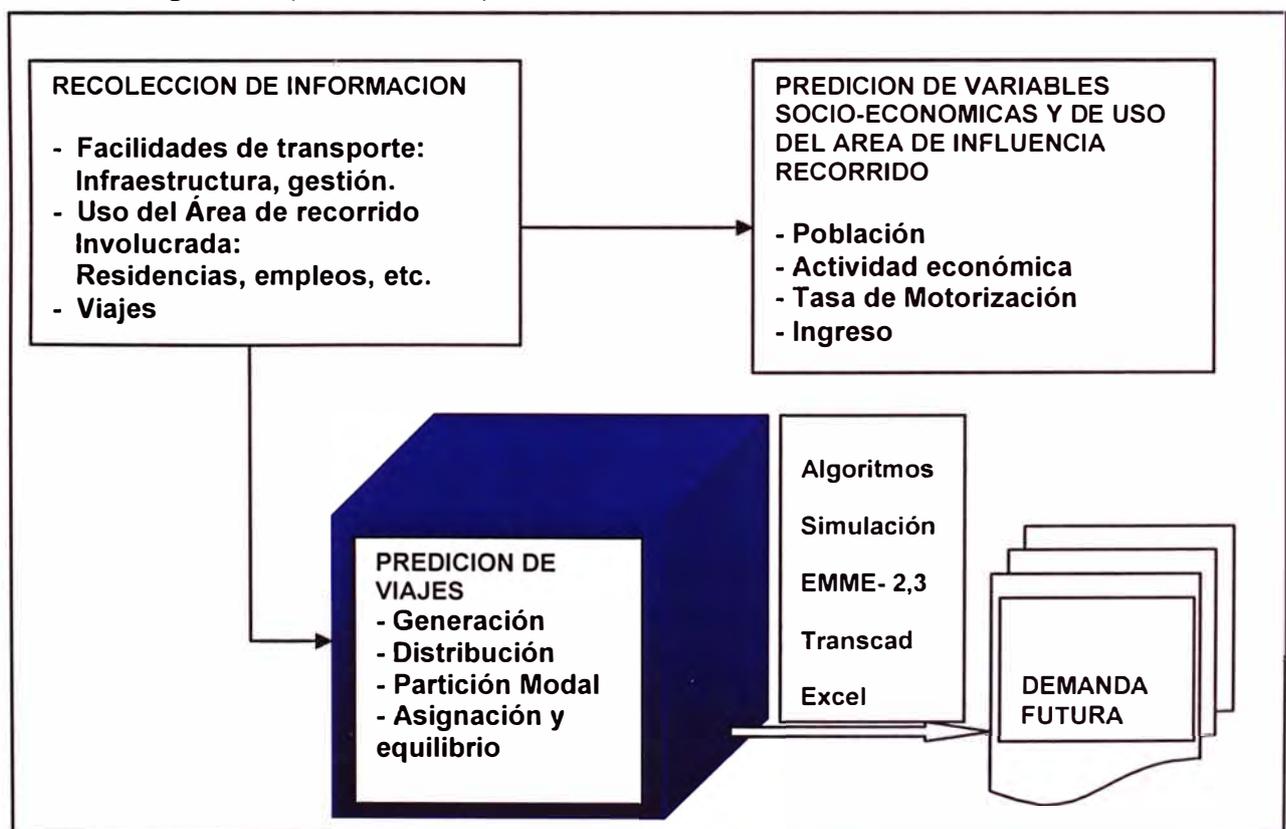


Figura 1.1 Estructura de Modelamiento de transporte.

El modelamiento está encuadrado dentro de un proceso de planificación que se

describe en la Figura 1.2:

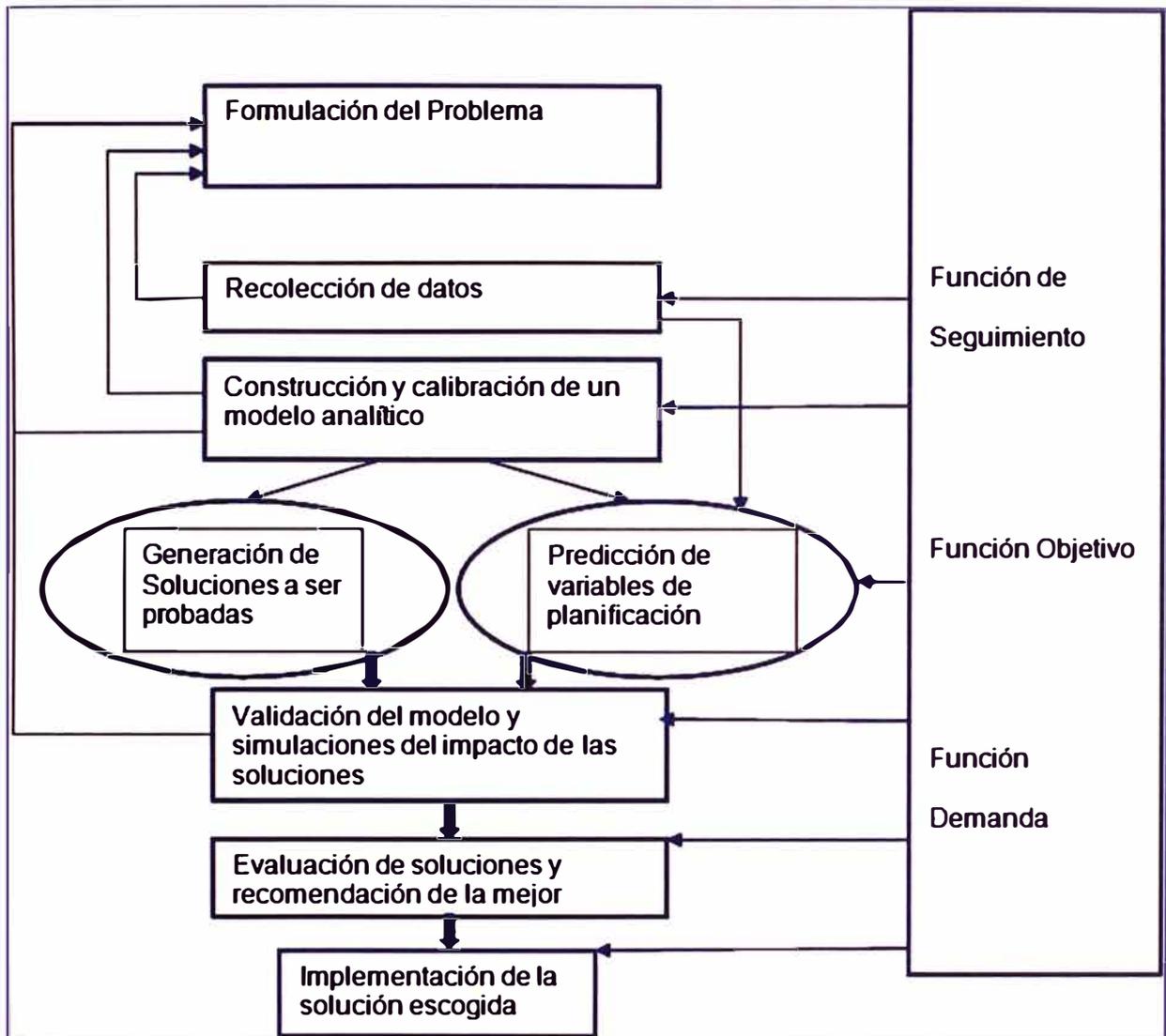


Figura 1.2 Proceso de planificación.

Para los cuales los modelos utilizados se basan en la función objetivo que debe satisfacer la demanda de servicio. El modelo de simulación más usado es el que se basa en el software Etraus del paquete Aisum.

La función objetivo se conforma por cuatro componentes, orientadas al costo experimentado por los usuarios a través de los tiempos totales de viaje de los pasajeros a bordo de los buses y los tiempos de espera en paraderos.

El primer componente cuantifica el tiempo total de espera de los pasajeros en las paradas y depende del tiempo de espera de diseño, junto con la carga en la parada del autobús.

El segundo componente captura la regularización del tiempo de espera entre buses, para mantener éste lo más cerca posible al correspondiente tiempo de espera de diseño.

El tercer componente mide el retraso asociado con pasajeros a bordo de un vehículo cuando se ejecuta una retención en una estación de control debido a la aplicación de una

acción de posesión (holding).

El cuarto componente es el tiempo adicional de espera de los pasajeros, cuya estación es saltada por un vehículo. Por ejemplo en una red simple, correspondiente a un corredor lineal de transporte público que típicamente cruza una gran región urbana.

El sistema puede ser representado por una ruta circular de un solo sentido (Figura 1.3), con N estaciones de buses equidistantes Nb buses circulan a lo largo del bucle, cada uno con una capacidad de transporte de pasajeros C . El corredor se supone que es aislado del resto del tráfico (corredor segregado), y por lo tanto se puede suponer una velocidad fija media v de los buses en cada tramo entre las paradas consecutivas. Además, del número de buses Nb , la distancia total del corredor y la velocidad de circulación, se puede estimar el tiempo total del ciclo de los buses (para completar el ciclo), que definen la frecuencia de diseño que ofrecen a los usuarios. Con la tecnología para el control de los buses en tiempo real. El paradero 1 es la estación terminal de buses de la ruta, donde todos los pasajeros deben bajarse.

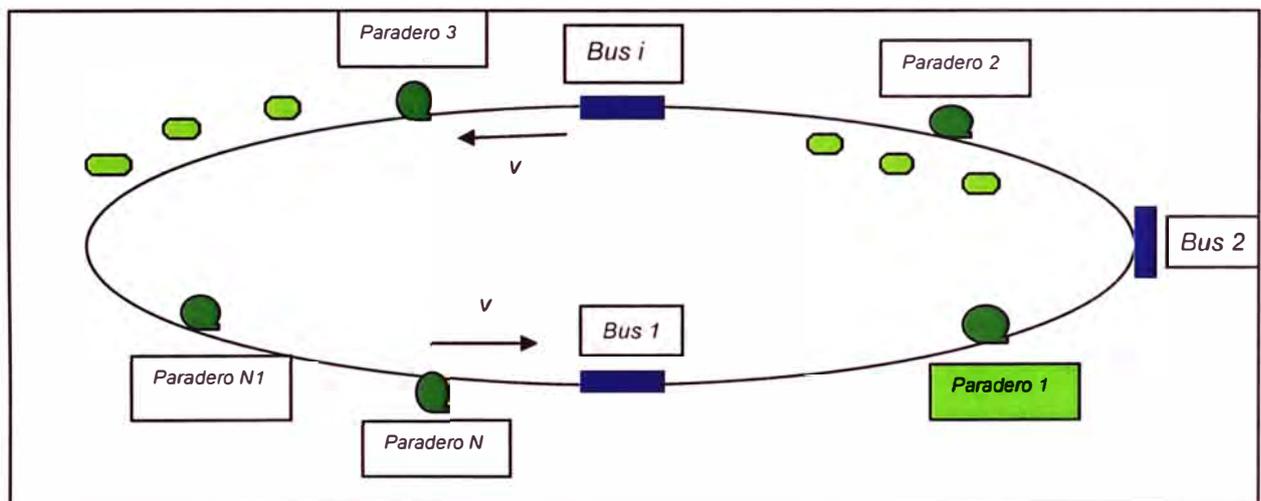


Figura 1.3 Esquema de sistema de transporte público masivo.

Se determina las variables de diseño (frecuencia f y tamaño Nb de la flota) con base en la información histórica de la demanda, a través de una matriz representativa de demanda para cada período modelado.

Es un método complejo que incluye la predicción de la demanda futura y considera esta información (junto con los datos de demanda de línea) para modelar el futuro de la demanda de pasajeros y añadir la función de predicción en el régimen de control.

A partir de la información de la posición de los buses se determina que la demanda no está directamente incorporada en el Modelo, pero si indirectamente a través de la trayectoria de los buses y cómo cambia con la evolución del sistema en el tiempo.

Si se asume el sistema de transporte público con una ruta cerrada 4000 m. Con $N=10$

paraderos y $i=6$ buses. En la Figura 1.3 el tiempo evoluciona en términos de eventos, los cuales son definidos como los instantes en que los buses arriban a los paraderos. Para cada bus i , se confecciona una base de datos que acumula la información, para todos los eventos ocurridos en el sistema. Los datos recolectados son: los tiempos de ocurrencia de los eventos, posición de bus en la ruta, carga, velocidad, acción de control aplicada al bus si corresponden y los destinos de cada pasajero que subió al bus.

También para cada paradero se confecciona la información que registra los eventos que en él acontecieron.

Se detalla en dicha base de datos: el tiempo de llegada del bus que ocasionó el evento en la parada, el número del bus, la carga inicial y final de pasajeros en la parada, el número de pasajeros que suben y los que bajan, las acciones de control aplicada y el tiempo de salida del bus del paradero.

Por último, a partir de consideraciones de comportamiento estadístico normalizado en un sistema de transporte público, se han confeccionado tablas de demandas para cada paradero, la que incluye los tiempos de llegada de cada pasajero y su correspondiente destino.

Según lo mencionado se puede estar en el ámbito de Control predictivo.

Para realizar el control eficiente del sistema de transporte masivo es necesario que la topología del sistema sea consistente: La cantidad de pasajeros y de buses debe ser adecuada para satisfacer la demanda. Entonces para determinar la flota optima se debe encontrar el equilibrio entre la frecuencia de los buses que es capaz de ofrecer el sistema y la que necesitan los usuarios. La demanda de servicio se obtiene calculando la frecuencia mínima de buses que satisface la demanda máxima de pasajeros, para esto se necesita obtener el flujo entre paraderos de los usuarios.

Continuando con la recolección de datos. Para un día cualquiera de servicio es necesario construir una matriz de origen-destino: OD; la tabla 1.1 muestra un ejemplo.

Esta matriz resume la cantidad de pasajeros que abordan en cada paradero de origen y llegan a un paradero de destino determinado: durante el intervalo de tiempo de dos horas: de 07:00 am a 09:00 am: Hay 8 pasajeros que abordaron en la Estación Naranjal y se bajaron en la Estación Uni. Se ha desarrollado un diagrama que grafica la acumulación de datos para estas dos horas del flujo entre paraderos en la figura 1.4.

En la figura 1.4 se muestra los flujos de pasajeros entre los paraderos. En el paradero i , suben S_i pasajeros a los buses y bajan B_i pasajeros de los buses en una unidad de tiempo ($u.t.$). Entre el paradero i y el paradero $i + 1$ existe un flujo $q_i, i+1$ medido en ($pas/u.t.$) que es la cantidad total de pasajeros que recorren la distancia entre el paradero i y el $i+1$ durante el tiempo que se registraron los datos y entonces se obtiene:

Tabla 1.1 Ejemplo de matriz origen-destino. Para 10 paraderos a la hora pico de 7 a 9 de la mañana.

MATRIZ ORIGEN DESTINO A LA HORA PICO : DE 07:00 am. A 09:00 am.

Estacion/Paradero		DESTINO									
		Par 1	Par2	Par3	Par 4	Par 5	Par 6	Par 7	Par 8	Par 9	Par 10
O R I G E N	Par1:Naranjal	0	0	12	8	15	11	0	0	0	0
	Par2:Izaguirre	0	0	4	24	23	18	54	0	0	0
	Par3:Tomas Valle	0	0	0	17	19	35	25	33	0	0
	Par4:Uni	0	0	0	0	11	69	75	69	56	0
	Par5:E. Central	0	0	0	0	0	30	125	97	99	85
	Par6:Javier Prado	129	0	0	0	0	0	36	154	149	111
	Par7:Canaval y Moreira	87	0	0	0	0	0	0	25	105	127
	Par8:Angamos	119	0	0	0	0	0	0	0	25	82
	Par9:28 de Julio	127	0	0	0	0	0	0	0	0	38
	Par10:Plza. De Flores	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0

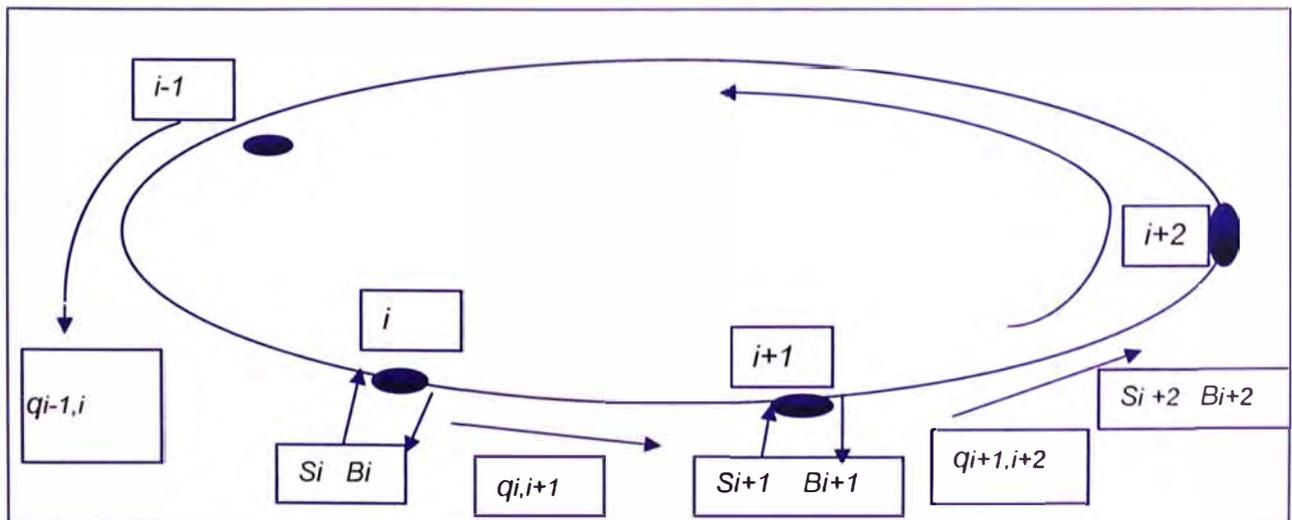


Figura 1.4 Diagrama que grafica la acumulación de datos para estas dos horas del flujo entre paraderos de un sistema de transporte público masivo.

$$q_{i,i+1} = q_{i-1,i} + S_i - B_i \quad (1.1)$$

Los valores de S_i son fáciles de obtener y corresponden a la suma horizontal de los

valores de las filas de origen en la matriz OD (suma sobre las filas). Es decir, S_i corresponde al total de pasajeros que suben en algún bus en el paradero i durante el tiempo registrado ($u.t.$). También B_i corresponde al total de pasajeros que bajan de algún bus en el paradero i durante el tiempo registrado ($u.t.$).

Con esta información se construye un histograma del flujo acumulado de pasajeros durante la simulación de dos horas de tiempo real (Figura 1.5), del cual se ve que el tramo más cargado es el comprendido entre los paraderos 7 y 8.

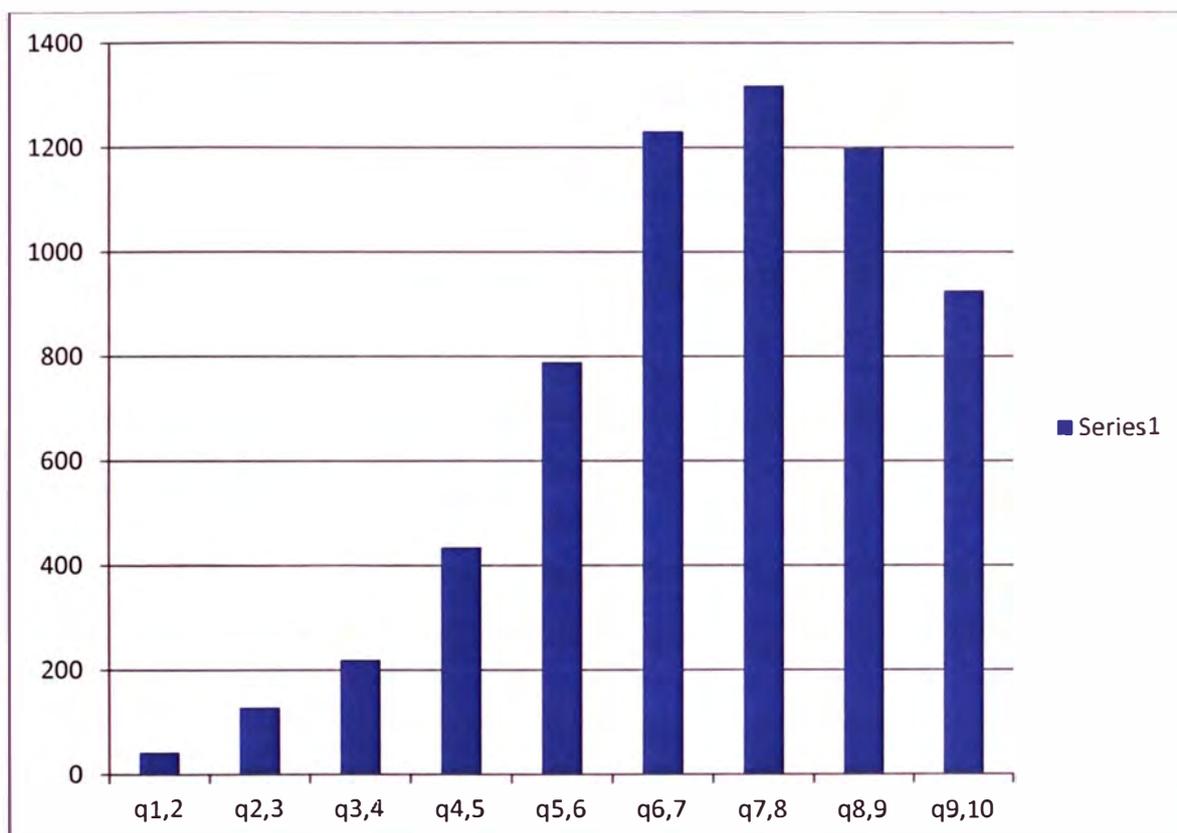


Figura 1.5 Diagrama de demanda acumulada de pasajeros para estas dos horas del flujo entre paraderos de las estaciones referidas del COSAC I.

La frecuencia que satisface la demanda depende de la carga máxima de los buses es función de la carga máxima que es mostrada en la ecuación (1.2):

$$L_{max} \left[\frac{Pas}{Bus} \right] \quad (1.2)$$

y del flujo máximo entre paraderos. Esta frecuencia debe satisfacer el tramo más cargado y se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$f_d \frac{q_{i,i+1} \max [bus]}{L_{max} [u.t.]} \quad (1.3)$$

De donde se obtiene el intervalo de diseño:

$$H_d = \frac{1}{f_d} \left[\frac{u.t.}{bus} \right] \quad (1.4)$$

Esto significa que cada H_d unidades de tiempo $\left[\frac{u.t.}{bus}\right]$ debe salir un bus de un paradero.

Utilizando la ecuación (1.3) de frecuencia demandada se deduce que la frecuencia mínima que requiere el sistema para satisfacer la demanda es:

$$f_d = \frac{1326}{72.33} \left[\frac{bus}{u.t.}\right] \quad (1.5)$$

$$f_d = 18.33 \left[\frac{bus}{u.t.}\right] \approx 19 \left[\frac{bus}{u.t.}\right] \quad (1.6)$$

Como el registro de datos se ha realizado para dos horas de tiempo real la frecuencia demandada por hora es:

$$f_d = \frac{19}{2} \rightarrow 10 \left[\frac{bus}{hora}\right] \quad (1.7)$$

Con esto se obtiene un intervalo demandado por los usuarios de:

$$H_d = 6 \left[\frac{min}{bus.}\right] \quad (1.8)$$

Con esto, la oferta de servicio corresponde a la frecuencia ofrecida por el operador y depende directamente del tamaño de la flota que opera en el sistema. Se tiene una cantidad de b buses, N paraderos y S semáforos.

Al ubicarse en un paradero fijo, la frecuencia ofrecida por el sistema es determinada mediante la ecuación (1.9).

$$f_{of} = \frac{b}{t_c} \left[\frac{bus}{u.t.}\right] \quad (1.9)$$

Donde t_c corresponde al tiempo de ciclo, que es el tiempo total que demora un bus en dar una vuelta completa por el sistema. Este tiempo es, por lo tanto, la sumatoria del tiempo total de viaje de un bus más los tiempos de detención en paraderos y semáforos.

$$t_c = t_{viaje} + t_{paraderos} + t_{semáforos} \quad (1.10)$$

El circuito tiene un largo $D(m)$ y los buses viajan a una velocidad constante e igual para todos los bus es $v \left[\frac{m}{u.t.}\right]$, por lo que un bus puede demorar t_{viaje} en recorrer el circuito completo y se expresa como:

$$t_{viaje} = \frac{D}{v} [u.t.] \quad (1.11)$$

Los tiempos de detención de los buses en los paraderos se obtienen mediante:

$$t_{paraderos} = \sum_{j=1}^N t_{detj} \quad (1.12)$$

Donde t_{detj} es el tiempo de detención del bus en el paradero j medido en [u.t.]. De

manera análoga se obtiene el tiempo para los semáforos:

$$t_{semaforos} = \sum_{s=1}^S t_{det\ s} \quad (1.13)$$

Análogamente, $t_{det\ s}$ es el tiempo de detención del bus en el semáforo s medido en (u.t.). Finalmente el intervalo ofertado de servicio H_{of} esta dado por:

$$H_{of} = \frac{1}{f_{ef}} \left[\frac{u.t.}{bus} \right] \quad (1.14)$$

Reemplazando todos los tiempos anteriores de la ecuación (1.10) se obtiene:

$$H_{of} = \frac{t_c}{b} = \frac{t_{viaje} + t_{paraderos} + t_{semaforos}}{b} \left[\frac{u.t.}{bus} \right] \quad (1.15)$$

El tiempo de ciclo t_c depende de la demanda en los paraderos y del tamaño de flota, por lo que la determinación de este valor está sujeta a la demanda acumulada en los paraderos.

Así, es necesario escoger a priori el tamaño de flota b para poder determinar efectivamente los tiempos de detención en paraderos.

Por ejemplo, para una demanda alta en paraderos, los tiempos de detención en paradero $t_{det\ j}$ deben ser más grandes debido a la mayor cantidad de pasajeros transfiriendo. Por el contrario, si la demanda acumulada es pequeña, los tiempos de detención deberían ser menores. Por lo tanto es necesario generar un recurso para obtener este equilibrio entre la demanda ofrecida y la demandada.

La flota que debe operar en el sistema debe ser tal que satisfaga la demanda máxima, determinada en el punto anterior. Por lo tanto debe ofrecer un intervalo de servicio H_o mayor o igual al máximo demandado por los usuarios.

$$H_o \leq H_d \left[\frac{u.t.}{bus} \right] \quad (1.16)$$

Dado que se tiene una demanda de pasajeros determinada por las tasas de llegada de éstos a los paraderos, la variable a optimizar para satisfacer la condición de la ecuación (1.16) corresponde al tamaño de flota b . Para lograr esta condición es necesario realizar un proceso recursivo que permita iterar desde una condición inicial de tamaño de flota b_0 .

Así, se realiza la simulación del sistema sin control, con lo que se obtiene un tiempo de ciclo t_{c_0} inicial. Con este tiempo se obtiene un intervalo ofrecido inicial $H_{of_0} \left[\frac{u.t.}{bus} \right]$

A continuación se compara este valor con el intervalo demandado $H_d \left[\frac{u.t.}{bus} \right]$. De no cumplirse (1.16) se actualiza la flota según:

$$b_{i+1} = b_i + 1 [bus] \quad (1.17)$$

Se itera nuevamente hasta cumplir la condición (1.16), se detiene la iteración y se selecciona el tamaño de flota b_{i+1} , éste valor es el número óptimo de buses para operar el sistema. El diagrama de bloques de la Figura 1.6 resume el algoritmo descrito.

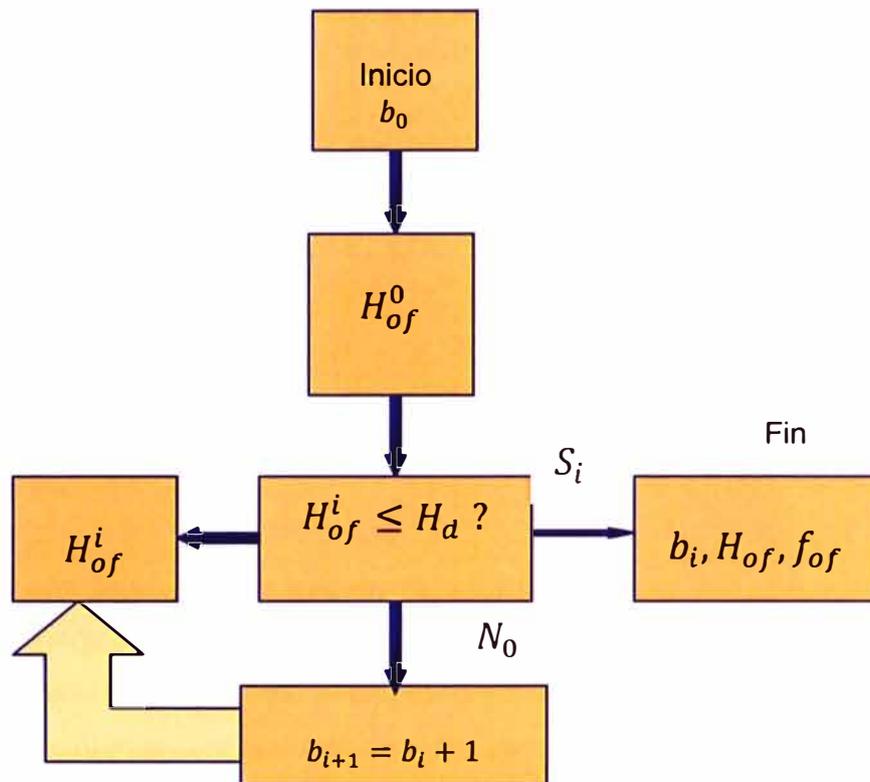


Figura 1.6 Diagrama de la determinación por iteración de la flota de operación del sistema transporte público masivo.

En este diagrama se provee la visualización del algoritmo para la determinación de la flota de operación de un sistema de transporte público que inicia sus operaciones con la infraestructura ya implementada. Se establece una flota base adecuada a los parámetros de la infraestructura civil y electromecánica de b_0 , el que genera un intervalo de H_{of}^0 ofrecido de acuerdo al desarrollo de las pruebas y simulaciones sin control, visto, esto se deduce que los parámetros de tiempo y cantidad de buses dependen de la demanda y de la topología del sistema: ecuación (1.12).

Este intervalo ofrecido se compara con intervalo H_d , que se obtiene a través de la demanda de servicio: determinando el flujo máximo según ecuación (1.1). Ambos intervalos son comparados, si coinciden o el intervalo ofrecido es mayor al demandado, la iteración del algoritmo se detiene obteniéndose la flota b y el intervalo \bar{H} de diseño, sino, se le suma 1 a la flota y se vuelve a recalcular el intervalo ofrecido hasta cumplir la condición de la ecuación: (1.16).

La representación de un sistema de transporte masivo con transbordos con dos líneas de buses y una estación de trasbordo que permita la interacción del flujo de pasajeros

entre estos dos sistemas. Se representa en la figura (1.7), en la cual se visualiza la red con dos itinerarios de viaje la línea punteado representa la ruta de los usuarios que mantienen su itinerario inicial. Y la línea continua la de los usuarios que realizan transbordo.

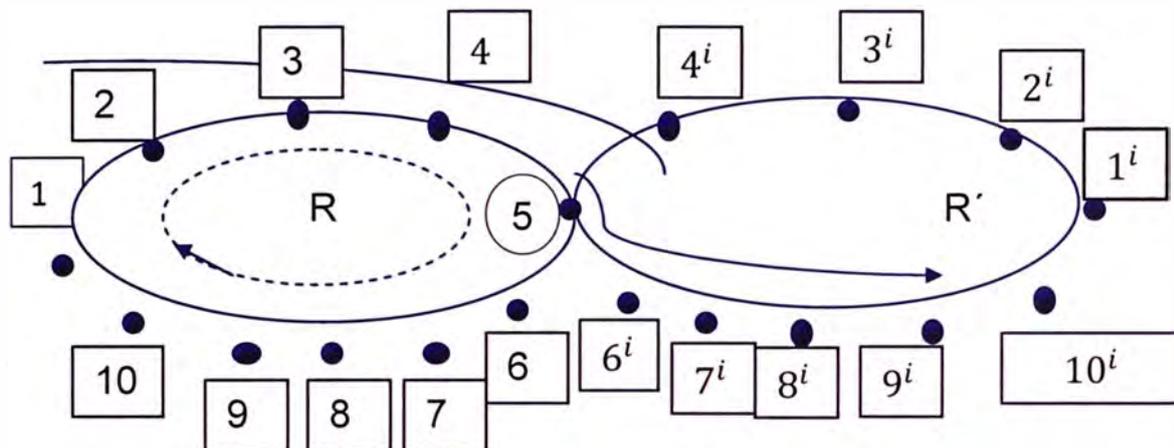


Figura 1.7 Subsistema con estación de transbordo de determinación por iteración de la flota de operación de un sistema transporte público masivo.

Como se puede ver se incrementa la complejidad del sistema: Se puede imaginar un sistema de más de 10 rutas y con sucesivos transbordos entre paraderos y estaciones e intercambio de usuarios que realizan diversos transbordos entre los diferentes itinerarios que ofrece el COSAC I.

Entonces se concluye que los subsistemas de control de flota y ruta son muy complejos donde se deben utilizar matrices de gran escala donde se incluyen la generalización de los controladores desarrollados para el sistema de transporte público de una ruta; a un sistema de transportes público de varias rutas con estaciones de transbordo. Para el control de estos sistemas se usan los sistemas de gran escala o control de planta completa: (PWC).

El objetivo es controlar el sistema completo de la planta del BRT ("*Plantwide Control*", PWC) cuya arquitectura de control a gran escala se propone, y se representa en la figura (1.8). Donde se presenta tres grupos principales, que se caracterizan por la complejidad del modelo considerado (en el sistema de control), para describir la dinámica del proceso y por el grado de comunicación entre los controladores de diferentes unidades operativas, o entre diferentes capas de la jerarquía del sistema de control.

Estas tres principales arquitecturas son: descentralizada, distribuida y jerárquica. Teniendo en cuenta la complejidad del modelo, en el control descentralizado se evita la necesidad de obtener un modelo dinámico del proceso (salvo del descentralizados MPC: Model Predictive Control), que si necesita un modelo dinámico del proceso). En la arquitectura de control distribuido se usan modelos lineales dinámicos. El caso de

múltiples capas hace uso de un modelo de estado estacionario no lineal para la capa de optimización y un modelo lineal dinámico en la capa del controlador. (Caso del Control de Ruta y Flota: Orbcad). Y finalmente, ya que la operación del sistema de control en el caso de una sola capa se apoya en un controlador centralizado, se debe considerar un modelo dinámico no lineal con el fin de predecir el comportamiento del proceso lo más cerca posible a la realidad.

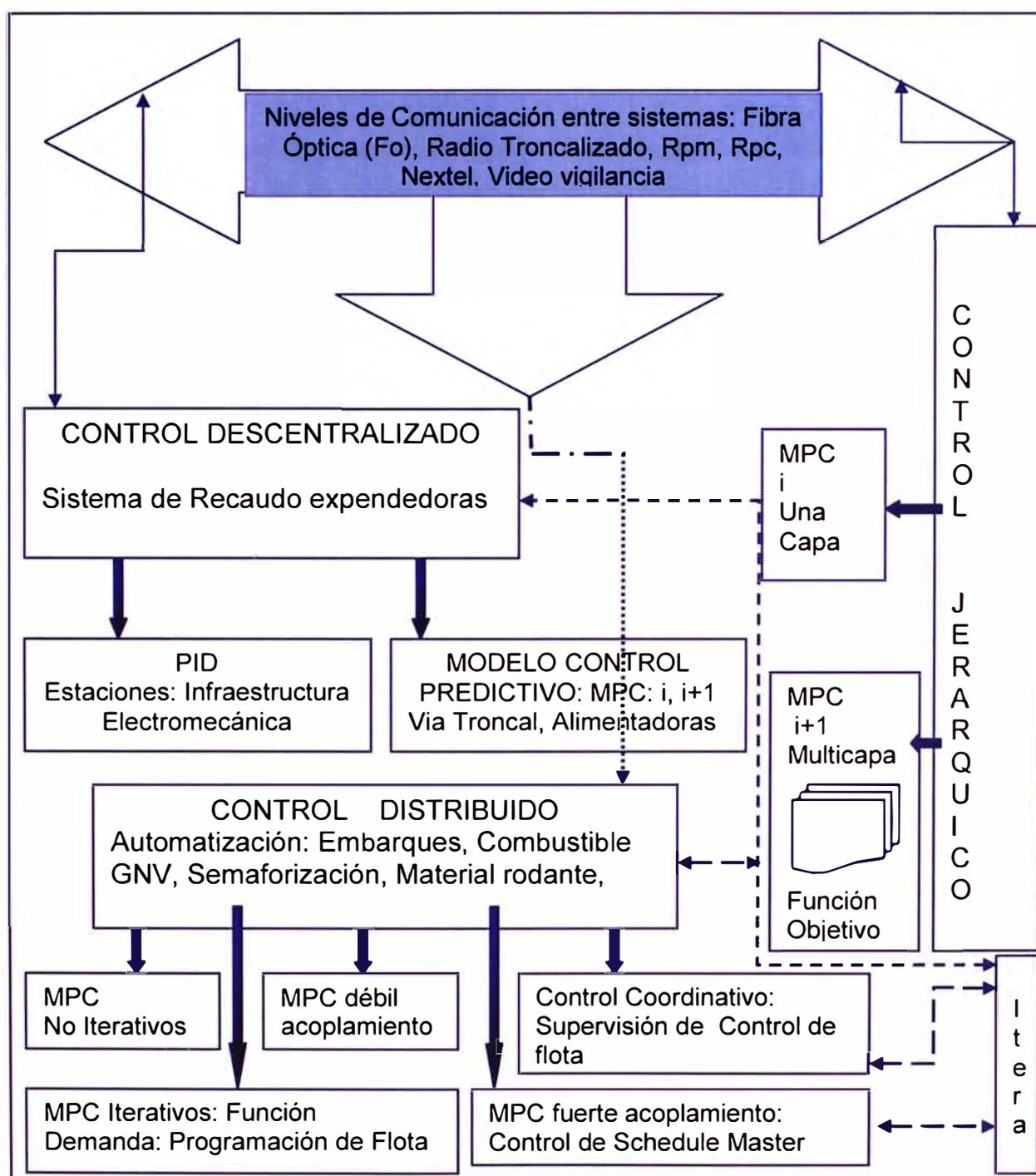


Figura 1.8 Arquitectura de Control gran escala de los Subsistemas del BRT: Sistema transporte público masivo.

En algunas áreas de la Gran Lima Metropolitana, el transporte en el COSAC I, no

puede proveer un servicio directo debido a diferentes razones, una de las cuales es, ser económicamente no conveniente o presentar densidades de demanda bajas. Luego, es necesario que en algunos puntos específicos de la ruta se realicen transferencias de pasajeros. De allí se desarrolla un sistema coordinado para reducir considerablemente el tiempo de viaje de los pasajeros. Esto es, para el caso donde existan transferencias, se plantea adicionalmente la minimización del tiempo de espera en las estaciones de transbordo. Como las Estaciones: Central, Naranjal, Matellini, Castilla, etc.

Entonces una estación de transbordo es un conjunto de embarques o paradas, habilitadas sobre el espacio de la estación, con el objetivo de ser utilizadas en el sistema BRT, las cuales están dispuestas próximas a las intersecciones más importantes que tengan un alto tránsito de pasajeros (más de 1000 pasajeros por hora) y están orientadas a favorecer los intercambios entre bus-bus y en particular, entre las Estaciones del Centro Histórico, y próximamente entre los buses del BRT y el Metro: Tren Eléctrico. En este sistema de transporte público, se diseña la malla de rutas para evitar en lo posible la superposición de recorridos, esto es, entre buses troncales y buses alimentadores; y entre buses y trenes. De manera que no circulen por las mismas rutas y en lo posible evitar los mismos itinerarios. Por ello, se divide el servicio en dos; buses troncales y buses Alimentadores. Los primeros buses de alta capacidad, realizan recorridos en las principales avenidas; y los segundos son alimentadores que cubren las áreas locales, para suministrar pasajeros a los servicios de buses de la red troncal y al metro. En la figura (1.9) se presentan una fotografía instantánea típica de una estación de transbordo, donde se aprecia la existencia de los paraderos, buses troncales, locales y los trasbordos entre las rutas A, B, C, Expresos 1, 2, 3 y 5.

En el sistema de transporte público, las estaciones de transbordo han adquirido la mayor relevancia en la mejora de los índices de calidad de servicio a los usuarios. Esto es, mejorar los tiempos de espera, tiempos de viaje y posibilidades de acceso a las distintas localidades de la urbe a un costo económico. Entre los principales aspectos negativos de un trasbordo se encuentran la incomodidad física y la incertidumbre del desplazamiento (desconocimiento del tiempo de viaje, frecuencia de los servicios, tiempo de espera, combinaciones o mejores rutas). Con todo esto, las estaciones de transbordo se configuran como una pieza fundamental del éxito de un sistema de transporte público moderno, y su éxito o fracaso no pasa únicamente por un buen diseño funcional del mismo, sino que en gran medida está condicionado por su integración en el propio sistema de transporte así como en la capacidad de gestión del mismo.



Figura 1.9 Estación Central Cosac I: Traspordo de Rutas A, C, Expresos 1, 2, 3 y 5.

Luego se generaliza el tema de un sistema de transporte público simple hacia un grado de complejidad del sistema, a fin de lograr describir la metodología de operación de los subsistemas compuestos de varias rutas y que integren estaciones de transbordo.

Primero se puede controlar un sistema formado por dos rutas conectadas por una estación de transbordo. Los controladores diseñados se deben analizar en distintos escenarios de demanda, donde se aplica, la teoría de control de sistemas de gran escala y la posterior generalización a un sistema de transporte público de mayor dimensión, mayor cantidad de rutas, con estaciones de transbordo para su interconexión.

Los criterios de selección de la estrategia de control para un sistema de transporte con estación de transbordo con un conjunto mayor de rutas conectadas por estaciones de transbordo, implican un conjunto de estructuras básicas con características comunes. Se puede analizar el sistema de forma agregada o suponer que un análisis desagregado de las distintas partes que componen el sistema se aproxime a un análisis del sistema completo. En otros términos, el sistema es una repetición de ciertas estructuras básicas y lo que se necesita es estudiar su interacción. En términos de control se debe decidir entre un control centralizado y un control descentralizado, distribuido o ambos.

Las tecnologías de control de BRT, dirigidas al control centralizado a menudo no están restringidas sólo al costo computacional, sino además, al costo organizacional. Esto es, debido a que el control centralizado se basa en un ente central, que realiza el control de toda la operación del sistema. Además, este tipo de control es en general difícil de coordinar y en particular someterlo a un mantenimiento eficaz, sin tener que paralizar grandes sectores del proceso controlado.

Estos obstáculos tienden a impedir la aplicación de un control centralizado a plantas de gran escala con eficacia.

Por el contrario se debe descomponer los problemas del PWC de gran escala en pequeños sub-problemas para:

- Reducir la carga computacional.
- Reducir la carga de comunicación.
- Mejorar la robustez con respecto a fallas en la transmisión de información y/o en la unidad central de control.
- Mejorar la modularidad y la flexibilidad de los sistemas.
- Sincronizar subsistemas que operen en distintas escalas de tiempo.

En un control centralizado para un sistema de transporte público de dos rutas implica duplicar el número de acciones de control posibles (por ejemplo pasar de 5 a 10 acciones de control). Luego, la solución pasa por un sistema de control predictivo híbrido (HPC): Este debe considerar índices de comportamiento dirigidos a la disminución del tiempo de espera y de viaje. Y también un análisis multi objetivo que compara los costos del usuario versus los del operador. Para el controlador HPC implica recorrer un nuevo árbol de decisiones, el cual aumenta el tiempo de cómputo en un factor de 2^q a medida que se profundiza en el nivel q del árbol. Esto es, un segundo nivel (predicción a dos pasos) en el árbol de decisiones exige cuadruplicar el número de cálculos, un tercer nivel (predicción a tres pasos) exige multiplicar por ocho veces el número de cálculos y así sucesivamente. Así mismo, para n rutas el factor de aumento es aún mayor, es n^q . Luego, el tiempo de cálculo de un esquema de control centralizado en un sistema de transporte público crece exponencialmente con respecto al número de rutas, en contraste con un control descentralizado o distribuido, en que el tiempo de cómputo crece linealmente con respecto al número de rutas.

A partir de lo anterior, se plantean las siguientes soluciones: Existen controladores descentralizados de las diferentes rutas que componen el sistema de transporte público, lo que implica un punto de partida razonable de control del sistema. Esto es, se comienza con la suposición fuerte de que existe una interacción débil entre los subsistemas que componen el sistema completo. En el último término este controlador debe ser la base de comparación de los siguientes esquemas de control diseñados por los especialistas. Respecto a las características de la demanda del sistema de transporte público utilizado se obtiene lo siguiente. En primer lugar, se deben hacer suposiciones básicas con respecto a la estructura de la demanda de pasajeros en el sistema a analizar. En la Figura (1.10) se presenta un sistema de transporte con dos rutas R y R' y una estación de transbordo, además de los flujos de pasajeros vistos desde el punto de vista de la ruta R

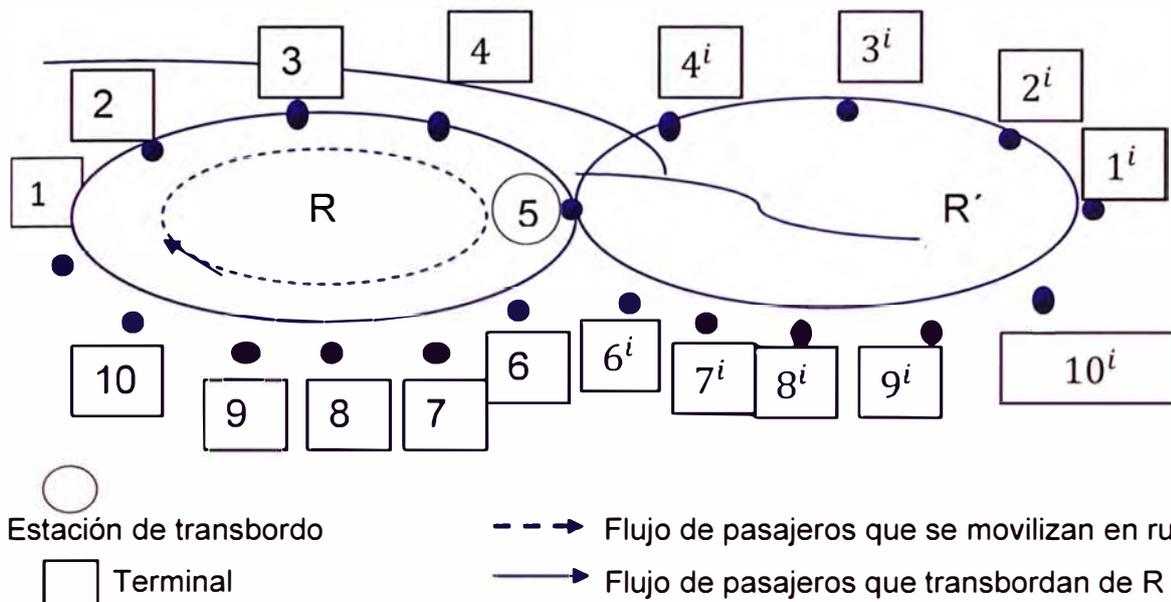


Figura 1.10 Sistema de transporte con dos rutas y una estación de transbordo.

Se asume que el proceso de llegada de pasajeros a un paradero, se comporta como un proceso de Poisson. Esto es, los tiempos de llegada de los pasajeros a un paradero es una variable aleatoria con una distribución de Poisson de media λ [pas/min] (pasajeros por minuto).

$$f(k;\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \tag{1.18}$$

En la Figura (1.11) se presenta el tiempo medio de arribo por pasajeros a las paradas de ruta R, medida en [min/pas]. Se aprecia además como la variable $1/\lambda$ disminuye a medida que nos acercamos a la zona central de la ruta, donde se supone que la ruta tiene la mayor demanda de pasajeros. De manera semejante, se definen tiempos medios para la ruta anexa R'.

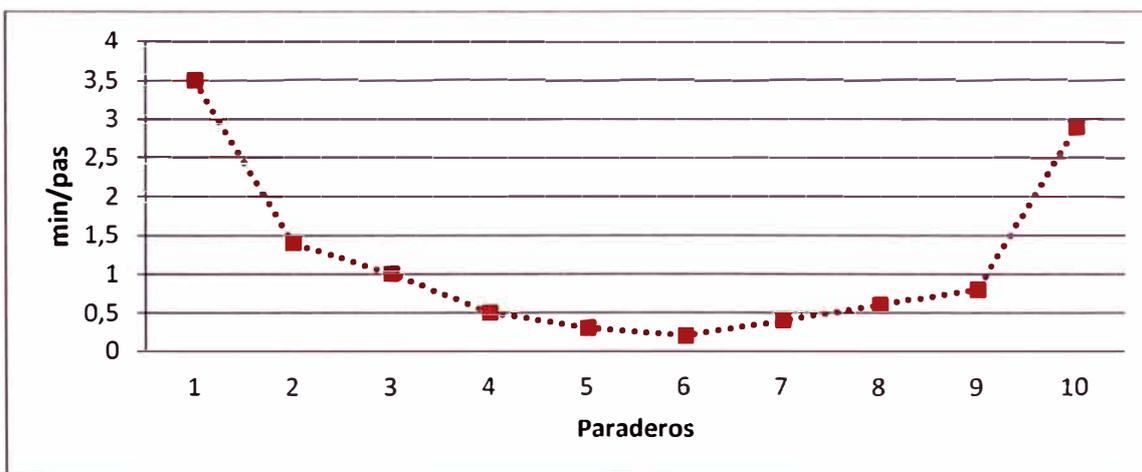


Figura 1.11 Tiempos medios de llegada.

En la Figura 1.12: Se grafica la cantidad de pasajeros acumulados por paradero, según los tiempos medios de llegada graficados en la Figura 1.11, para el periodo de una

hora. Esta forma de acumulación de pasajeros concuerda a groso modo, con datos reales tales como la gráfica de la acumulación de pasajeros en los paraderos de la Ruta B; en la hora punta de la mañana, como se ve en la Figura 1.12. Donde, en las estaciones de Naranjal, Izaguirre, Tomas Valle, Uni, Jr. De la Unión, Angamos y Matellini se producen las grandes acumulaciones de pasajeros al contrario que en las secciones iniciales y finales donde la acumulación es menor. Ver Figura 1.14: Se visualiza las validaciones reales del 25 de marzo del 2013.

La solución del problema de trasbordo se hace por medio de un programa de diseño operacional que se denomina Modelo de Transporte: Entonces se sabe que las tareas de previsión y captación de demanda se basan en el modelo de transporte urbano calibrado para AATE (Tren Eléctrico) para el año 2001. El modelo reproduce correctamente la realidad observada en el momento del ajuste, y, si bien carece de una encuesta origen – destino actualizada, supone la mejor aproximación disponible a la realidad observada dentro de los plazos y recursos comprometidos en el proyecto actual.

La matriz origen / destino se ha obtenido reajustando matrices anteriores a partir de aforos y conteos en el sistema.

Este modelo, desarrollado en EMME-2, ha sido adaptado para su traducción a TRANSCAD, plataforma en la que se han desarrollado todos los trabajos correspondientes a este diseño. Y en la actualización y calibración de la matriz origen-destino se ha utilizado el método del gradiente disponible (ajuste por conteos) en EMME-3. Con los datos de frecuencia de paso y ocupación en los diferentes puntos de la ciudad se aplicó el procedimiento de ajuste.

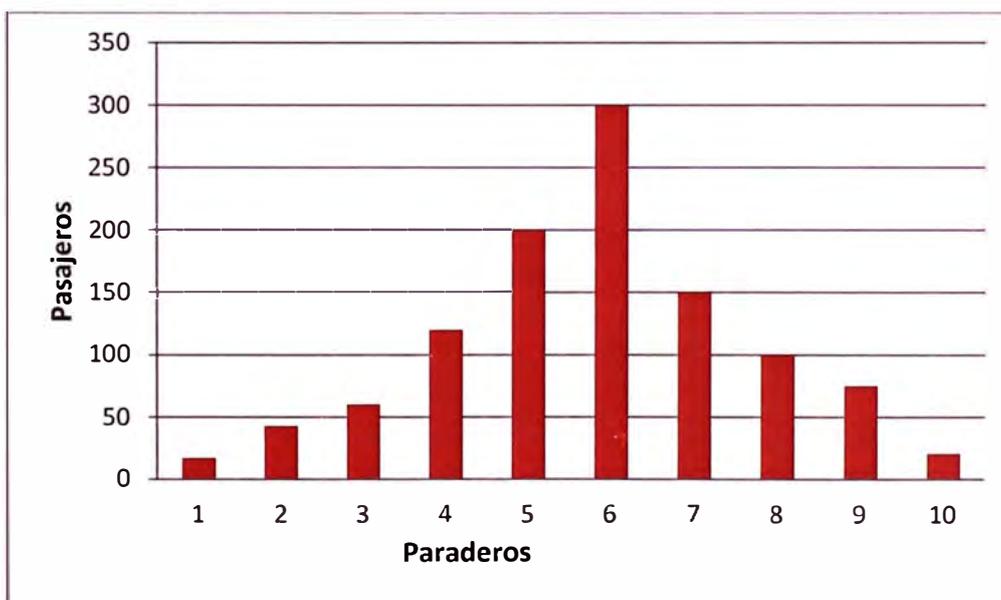


Figura 1.12 Pasajeros acumulados según tiempos medios de llegada.

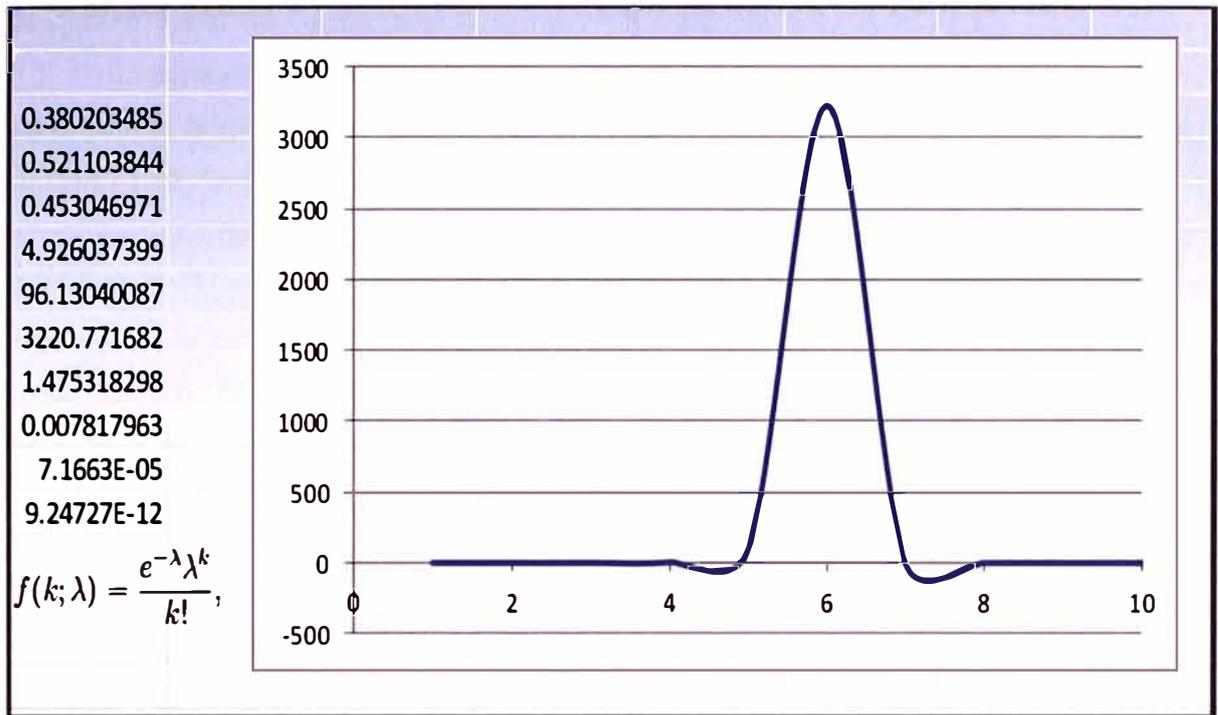


Figura 1.13: Distribución de Poisson de media λ [pas/min].

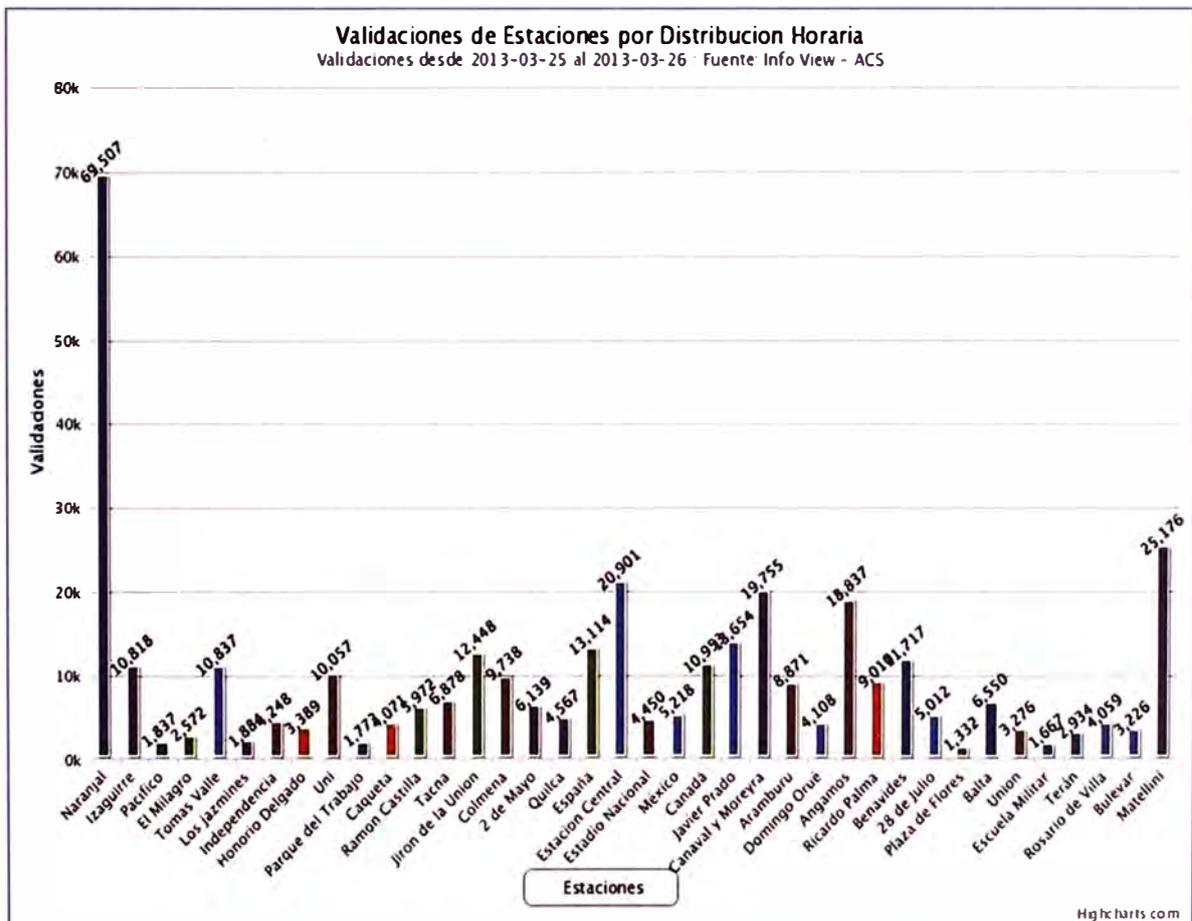


Figura 1.14: Pasajeros acumulados según los tiempos medios de llegada: Validaciones del 25 al 26 de Marzo del 2013.

La nueva matriz de viajes de la hora pico AM después del nuevo ajuste ha quedado con 737.018 viajes (reducción de 9.96% de la matriz base que tiene 818.564 viajes).

En la matriz original la cantidad viajes entre las zonas del área de influencia directa del COSAC I es de aproximadamente 136,620 viajes. Después del ajuste realizado los viajes entre zonas del área de influencia directa del COSAC I, han quedado en 123.928 viajes.

Respecto a la actualización del diseño operacional de los servicios troncales, con el banco de datos en el modelo de transporte calibrado para la situación base se procedió a la evaluación de alternativas de configuración de los servicios troncales del COSAC I. Definiéndose servicios corrientes (paradores) y servicios expresos. Para la definición de los servicios troncales y los parámetros operacionales se ha utilizado el modelo EMME-3. Con la representación del nuevo sistema en la red y con la matriz origen-destino de la hora pico se ha definido el sistema de servicios troncales del COSAC I. En la tabla siguiente se presenta la relación de estaciones y el nodo correspondiente en la red de modelación. Se ha definido 15 servicios unidireccionales, siete servicios en sentido norte-sur (NS) y 8 servicios en sentido sur-norte (SN). Nótese que se tienen servicios que retornan del centro hasta el norte y servicios que retornan de la estación República de Panamá (Estación Plaza de Flores) hacia el norte. Otra característica de los servicios que llegan a la terminal Matellini es que tienen que parar en todas las estaciones comprendidas entre la estación Municipalidad de Barranco y la terminal Matellini, debido a que no existe sobrepaso en las estaciones.

El cálculo de demanda de embarque y desembarque en las estaciones del COSAC I y los respectivos análisis de capacidad en las estaciones se realiza para la hora pico, con los datos de ascensos y descenso y con los servicios troncales (frecuencias, estaciones que atienden). Los ascensos y descensos en cada una de las estaciones son presentados en la tabla siguiente y corresponden a la hora pico de la mañana. Esta información fue obtenida a través del modelo EMME-3. Para el cálculo de la capacidad en las estaciones se aplicó la ecuación siguiente:

$$X = \frac{0.3PS + 0.2PB + 14 * F}{3600 * M} \quad (1.19)$$

Dónde: X es la capacidad de la estación, PS son los pasajeros que suben, PB pasajeros que bajan, F la frecuencia de buses que paran en la estación y M el número de módulos de la estación. Para el diseño se admite como máximo un grado de saturación de 0.4, entonces se puede afirmar que en el COSAC I no se esperan conflictos de saturación (buen desempeño de las estaciones en términos de la velocidad del servicio). Se realizó la revisión del ancho requerido al interior de las estaciones para tener un buen

nivel de confortabilidad para la circulación y espera de los usuarios. El ancho de la estación está en función de los usuarios que circulan y esperan, del número de accesos y del número de módulos de la estación. Por los resultados obtenidos se ha deducido que las estaciones que requieren un ancho mínimo mayor a 3.0 metros son Canaval y Moreyra, España, 2 de Mayo y Unión.

Tabla 1.2 Servicios Troncales en hora pico am.

No	Estacion	Nombre	p1	p1-v	p2	p2-v	p3	p3-v	p4	p4-v	p5	p5-v	p6	p6-v	p7	p7-v1	p7-v2
Sentido			NS	SN	SN												
1	20192	NARANJAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	20206	Carlos Izaguirre	X								X					X	
3	20209	Pacífico									X		X			X	X
4	20117	Municipalidad de Independencia									X					X	
5	20212	Los Jazmines	X					X			X					X	
6	20215	Tomas Valle									X					X	
7	20218	Bartolome de las Casas							X		X					X	
8	20221	Honorio Delgado									X					X	
9	20224	UNI			X				X		X		X			X	X
10	20188	Caqueta	X					X			X				X	X	
11	20234	2 de Mayo	X					X			X	X				X	
12	20240	Zorritos	X					X			X	X			X	X	
13	20037	España	X					X			X	X				X	
14	20046	ESTACION CENTRAL		X		X			X		X		X		X		
15	20116	ESTACION CENTRAL	X		X			X		X		X		X		X	X
16	20243	Colmena			X	X				X			X	X			
17	20173	Unión			X	X				X			X	X			
18	20140	Tacna			X	X				X			X	X			
19	20124	Plaza Ramón Castilla			X	X				X			X	X			
20	20107	Estadio Nacional					X			X	X			X		X	
21	20101	México					X				X	X				X	X
22	20148	Canadá					X	X		X	X	X				X	
23	20260	Javier Prado					X				X					X	
24	20263	Canaval y Moreyra					X		X	X	X	X				X	
25	20146	Andrés Aramburu					X	X	X		X					X	
26	20095	Domingo Orue							X		X	X				X	
27	20272	Angamos							X		X		X		X	X	
28	20275	Ricardo Palma							X		X	X			X	X	
29	20143	Alfredo Benavides						X	X		X					X	X
30	20281	28 de Julio							X		X					X	
31	20088	República de Panamá					X	X	X	X	X					X	
32	20085	Ovalo Balta									X		X			X	X
33	20290	Municipalidad de Barranco									X	X	X	X	X	X	X
34	20080	Estadio Municipal									X	X	X	X	X	X	X
35	20053	Escuela Militar									X	X	X	X	X	X	X
36	20058	Fernando Terán									X	X	X	X	X	X	X
37	20056	Prol Paseo de la República									X	X	X	X	X	X	X
38	20065	MATELLINI									X	X	X	X	X	X	X

Tabla 1.3 Grado de saturación en las estaciones del COSAC I.**Grado de Saturación en las estaciones del COSAC I**

No	Nombre	Asc	Desc	Asc	Desc	Frec NS	Frec SN	X NS	X SN
		NS	SN	NS	SN				
1	NARANJAL	20153	0	0	3498	172	172	0.39	0.14
2	Carlos Izaguirre	681	18	0	77	50	20	0.13	0.04
3	Pacífico	318	271	179	70	50	30	0.12	0.07
4	Municipalidad de Independencia	0	53	0	100	30	20	0.06	0.04
5	Los Jazmines	862	468	128	198	50	50	0.15	0.11
6	Tomas Valle	17	0	0	0	30	20	0.06	0.04
7	Bartolome de las Casas	481	306	0	9	60	20	0.15	0.04
8	Honorio Delgado	84	45	0	213	30	20	0.06	0.04
9	UNI	789	774	60	278	92	30	0.23	0.07
10	Caqueta	570	502	5	106	80	50	0.19	0.10
11	2 de Mayo	518	809	86	1741	50	80	0.14	0.21
12	Zorritos	156	492	0	92	80	80	0.18	0.16
13	España	431	1772	265	996	50	80	0.16	0.19
14	ESTACION CENTRAL	921	1743	122	0	110	32	0.15	0.03
15	ESTACION CENTRAL	0	482	949	2917	32	140	0.04	0.20
16	Colmena	0	513	0	613	32	62	0.15	0.28
17	Unión	1129	1843	333	1698	32	62	0.32	0.36
18	Tacna	119	616	30	104	32	62	0.17	0.25
19	Plaza Ramón Castilla	367	584	78	545	32	62	0.19	0.28
20	Estadio Nacional	172	494	222	315	60	70	0.14	0.15
21	México	173	1364	117	596	60	60	0.16	0.14
22	Canadá	301	2178	730	582	60	110	0.19	0.26
23	Javier Prado	14	321	87	58	60	20	0.13	0.04
24	Canaval y Moreyra	270	2357	986	795	90	80	0.25	0.22
25	Andrés Aramburu	0	290	38	32	90	50	0.18	0.10
26	Domingo Orue	205	1011	1037	635	60	50	0.15	0.16
27	Angamos	367	1522	1006	56	110	20	0.37	0.08
28	Ricardo Palma	169	1786	877	363	90	50	0.23	0.14
29	Alfredo Benavides	8	910	624	60	60	60	0.14	0.14
30	28 de Julio	8	303	74	0	60	20	0.13	0.04
31	República de Panamá	14	651	716	108	90	80	0.19	0.19
32	Ovalo Balta	0	504	135	0	50	30	0.11	0.06
33	Municipalidad de Barranco	87	384	641	12	80	80	0.17	0.18
34	Estadio Municipal	0	173	360	31	80	80	0.16	0.17
35	Escuela Militar	0	257	196	0	80	80	0.16	0.16
36	Fernando Terán	0	239	412	8	80	80	0.16	0.17
37	Prol Paseo de la República	0	1389	1208	0	80	80	0.16	0.21
38	MATELLINI	0	1956	5208	0	80	80	0.16	0.19

Con la salida del modelo para la hora pico se determinan los parámetros operacionales básicos de las rutas troncales del COSAC I. La frecuencia, ciclo, flota operacional y kilómetros recorridos son calculados para cada uno de los servicios troncales. Se asume como capacidad de diseño de los buses articulados 140 pasajeros (aproximadamente 4 pas/m²). Se ha estimado un total de 268 buses articulados para la operación del COSAC I (en la Fase Naranjal-Matellini).

Por los resultados obtenidos se deduce las estaciones que requieren un ancho mínimo mayor a 3.0 metros son Carnaval y Moreyra, España, 2 de Mayo y Unión. Los códigos de los servicios presentados en la tabla anterior, corresponden a una propuesta de enumeración con la siguiente estructura: Primero la letra que define el destino del servicio y luego el número de orden del servicio. Esto es, inician con letra "C" los servicios que van al centro, "N" los servicios que van a Naranjal, "P" los servicios que

va a República de Panamá y “S” los servicios que van al sur o Terminal Matellini. El número del servicio si es par va en dirección sur-norte y si es impar va en dirección norte-sur. Los servicios paradores son de un dígito y los servicios expresos son de dos dígitos.

Respecto a la actualización de recorrido de terminal a patios y características funcionales, la ubicación de los patios para el COSAC I ha sido definida por Protransporte. Se tienen dos patios, uno para la cuenca sur de alimentación (Patio Sur) y otro en el norte (Patio Norte). El Patio Sur está localizado a 2.1 km de la Terminal Matellini y el Patio Norte a 7.4 km de la Terminal Naranjal. La distancia para los servicios que terminan en la estación República de Panamá (Plaza de Flores) al Patio Sur es de 7.35 km. Las vías de acceso desde las terminales hasta los patios corresponden a vías principales. Para el patio sur se debe utilizar la Av. Villa Marina y para el patio Norte se utilizará la Av. Metropolitana y la Av. Universitaria, desde la terminal Naranjal. La figura (1.15) ilustra la localización de los patios y las vías a utilizar para la integración con las terminales respectivas.

A partir de los parámetros operacionales de los servicios del sistema troncal se asigna la flota a cada uno de los patios del COSAC I. Para los servicios diametrales se asume que la flota se distribuye en ambos extremos del servicio mitad y mitad. De este modo, en el Patio Norte se tendrían 156 buses troncales y en el Patio Sur 112 buses articulados.

Los kilómetros en vacío del COSAC I de los buses troncales, en un día hábil promedio; tomando en cuenta los buses en cada patio y la distancia entre el patio y la terminal, se estima que tendrán aproximadamente 2,993.38 km en vacío entre el patio Norte y la Terminal Naranjal y 1,486.6 km en vacío entre el patio Sur y la Terminal Matellini y la Estación República de Panamá, para un total de 4,479.98 km en vacío del servicios troncales en un día hábil.

Respecto al análisis de capacidad del corredor troncal, existen investigaciones realizadas, principalmente en Transmilenio de Bogotá, para estimar la capacidad del corredor troncal para condiciones similares a las del COSAC I. La capacidad operacional en personas/hora/dirección está en función del grado de saturación proyectado en las estaciones, del tamaño del bus, tiempo de abordaje y tasa de todos los pasajeros abordando.

La ecuación siguiente planteada por Pedro Szasz (Consultor de transporte masivo) corresponde a la capacidad operacional de una parada tomando en cuenta el número de sub paradas y la relación de buses que paran en la estación para tomar en cuenta el efecto de los servicios expresos y paradores.

$$C_0 = \frac{N_{sp} * X * 3600}{\frac{10 + \frac{L}{6}}{C_p} * (1 - Dir) + Ren * t_1} \quad (1.20)$$

Donde: C_0 : capacidad operacional en pas/hr/sentido; N_{sp} : Número de sub paradas; X : grado de saturación; L : Longitud del vehículo en m , C_p : Capacidad del bus; Dir : % de vehículos expresos; Ren : Tasa de renovación; t_1 : tiempo promedio de ascenso y descenso de pasajeros; 3600: segundos en una hora.

De este modo, en la figura siguiente se puede calcular la capacidad del corredor para el sistema con dos sub paradas y un porcentaje de 50% de buses expresos y para un tiempo de parada de 30 seg, que correspondería a la condición de hora pico del COSAC I. Con estas variables la capacidad del corredor sería de aproximadamente 30,000 pas/hr/sentido.

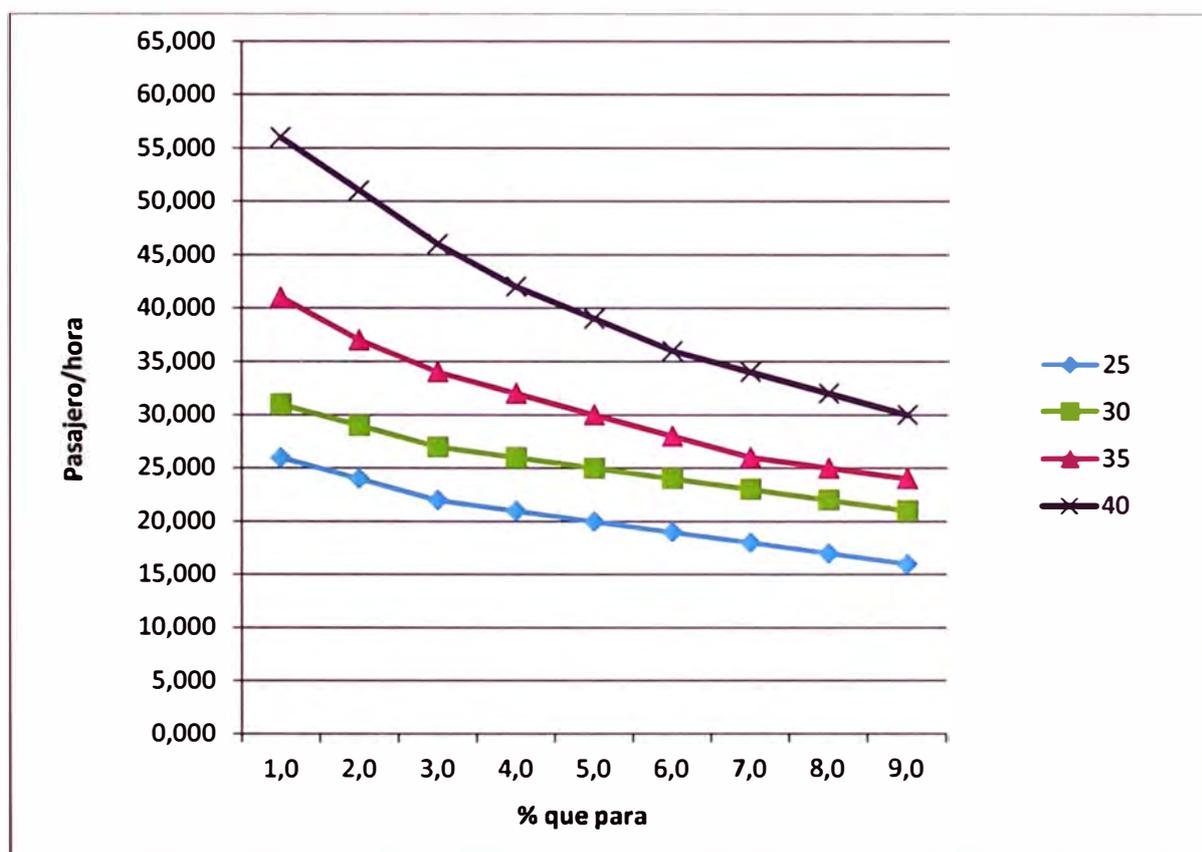


Figura 1.15: Capacidad del corredor con dos módulos y semáforos.

En la zona centro de la ciudad se el corredor es de doble sentido de circulación y sin sobrepaso en las estaciones. En el área central se recomienda limitar la velocidad a un valor máximo de 40 km/hr.

Definición de parámetros para la evaluación económica-financiera.

Los parámetros de demanda paga y kilómetros recorridos para el análisis económico-financiero del sistema se han determinado a partir de la modelación del sistema. Para la demanda paga se consideran las transferencias entre las rutas del sistema. Las rutas

alimentadoras han sido asignadas a las cuencas de influencia definidas por Protransporte y representadas en la zonificación que para el modelo de transporte se ha adoptado.

Respecto a las cuencas de demanda: En la concesión de las rutas alimentadoras se han definido cuencas de demanda. Las rutas alimentadoras se asignan a cada cuenca para poder estimar la demanda que le corresponde a cada grupo de rutas. La figura siguiente muestra las cuencas de demanda en el norte y en el sur, así como las rutas alimentadoras del COSAC I que las cubren. Las rutas alimentadoras corresponden a las definidas después de la revisión en campo del recorrido de las mismas y la cobertura correspondiente en las cuencas (Agosto 2009).

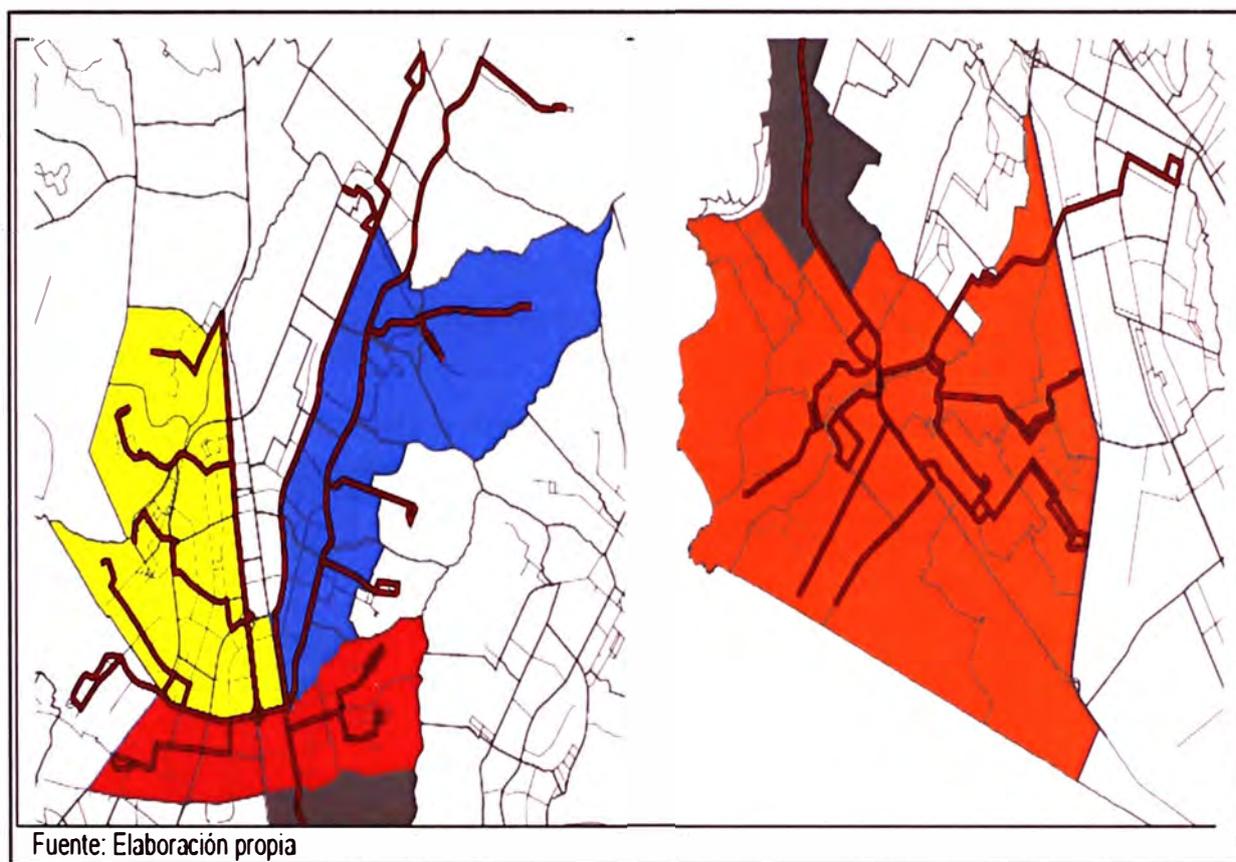


Figura 1.16: Cuencas de las rutas alimentadoras en el norte y en el sur 2010.

Con la estrategia de viaje de los usuarios se estima la demanda paga de las diferentes rutas del COSAC I. Con la configuración del sistema de rutas alimentadoras presentado antes y con los servicios troncales se han obtenido los pasajeros pagos del sistema para un día hábil. De este modo, se estima que el sistema captaría 854,246 viajes al día tal como se detalla la tabla 1.4. De estos viajes, el 74% (629,874 viajes) se dan exclusivamente entre las zonas de influencia directa del sistema.

Tabla 1.4 Viajes entre las cuencas del sistema COSAC I (Matriz día 2009 MS Ltda).

Cuenca	1A	2	1B	Sur	Corredor	Otros	Total
1A	17820	16487	8593	729	27543	19939	91111
2	15402	178165	14558	1085	62677	49344	321231
1B	6967	11984	10743	402	20628	10166	60890
Sur	761	953	571	39326	26507	24469	92587
Corredor	8915	34561	8465	14266	101766	21624	189597
Otros	14221	29626	8062	16473	25010	5438	98830
Total	64086	271776	50992	72281	264131	130980	854246

Para determinar los pasajeros netos o equivalentes se debe tomar en cuenta que se tienen viajes de adultos, estudiante medio, escolar y usuarios que no pagan. Así mismo, se debe tomar en cuenta la política tarifaria de los usuarios que usan solo las rutas alimentadoras o un viaje combinado entre rutas alimentadoras y rutas troncales.

Los kilómetros de recorrido promedio diario en los servicios troncales se calculan con el factor de oferta y la programación operacional detallada. En la tabla siguiente se presentan los datos estimados para los servicios troncales del COSAC I.

Tabla 1.5 Recorrido promedio diario (RPD) de los servicios troncales.

Servicios	Recorrido promedio diario	Km muertos por día
C11,N10	1530.6	281.20
C13,N12,N14	1747.6	355.20
P21,P23,N20,N22	17160.6	847.40
P31,P33,N30,N32	17255.3	840.80
S1,N40,N42	21760.8	681.80
S51,S53,N50,N62	13919.6	494.00
S61,S43,N2	21736.7	979.58
Total	95111.2	4479.98

Adicionalmente es importante tomar en cuenta en la operación del corredor troncal corresponde a la terminales de transbordos. Desde este punto se controlan las salidas de los servicios que son despachados y se regulan los horarios a lo largo del día. De manera similar a las estaciones se toma en cuenta la cantidad de frecuencias y pasajeros que suben y bajan en cada módulo.

Para el ajuste operacional de los servicios se tomaron en cuenta los factores de oferta presentados en la tabla siguiente. Los datos del día hábil han sido calculados de los resultados del estudio de frecuencia de paso y ocupación a lo largo del corredor. Para el día sábado y para el día domingo corresponden a factores sugeridos de sistemas similares y solo corresponde a la referencia inicial para la puesta en marcha del sistema. En estos perfiles se asume que la demanda del día sábado corresponde al 87% de la

demanda del día hábil y el día domingo el 55% de la demanda del día hábil.4.

Tabla 1.6 Código de los servicios troncales.

Ruta	Descripción	Tipo	Código	Long(km)
p1	Naranjal -Centro	Expreso	C11	10.22
p1-v	Centro-Naranjal	Expreso	N10	9.92
p2	Naranjal -Centro	Expreso	C13	10.43
p2-v	Centro-Naranjal	Expreso	N14-N12	10.13
p3	Naranjal –Rep. Panamá	Expreso	P21-P23	19.13
p3 -v	Rep. Panamá-Naranjal	Expreso	N20-N22	18.92
p4	Naranjal-Rep. Panamá	Expreso	P31,P33	19.13
p4-v	Rep. Panamá-Naranjal	Expreso	N30,N32	19.13
p5	Naranjal-Matellini	Parador	S1	24.23
p5-v	Matellini-Naranjal	Expreso	N40,N42	24.02
p6	Naranjal-Matellini	Expreso	S51,S53	24.44
p6-v	Matellini-Naranjal	Expreso	N50,N62	24.23
p7	Naranjal-Matellini	Expreso	S61,S43	24.23
p7-v1	Matellini-Naranjal	Parador	N20-N22	24.02
p7-v2	Matellini-Naranjal	Expreso	N70	24.02
Total				286.2

La figura (1.17) siguiente muestra el factor de oferta para la fase inicial del COSAC I. Se asume operación para los días hábiles entre las 5:00 y las 23:00 horas, para el día sábado entre las 6:00 y las 22:00 horas y para el día domingo y festivos entre las 6:00 y las 21:00 horas.

Tabla 1.7 Factores de oferta de los servicios troncales del COSAC I. Informe diseño operacional de Agosto del 2009.

	Hábiles	Sábado	Domingo
5:00	0.75	-	-
6:00	1.00	0.45	0.21
7:00	1.00	0.72	0.25
8:00	0.93	0.87	0.26
9:00	0.74	0.79	0.41
10:00	0.65	0.65	0.44
11:00	0.60	0.60	0.55
12:00	0.60	0.60	0.55
13:00	0.60	0.60	0.55
14:00	0.60	0.60	0.52
15:00	0.60	0.60	0.49
16:00	0.60	0.60	0.47
17:00	0.78	0.68	0.47
18:00	0.78	0.76	0.55
19:00	0.87	0.76	0.48
20:00	0.80	0.68	0.49
21:00	0.74	0.54	0.31
22:00	0.60	0.20	-
23:00	0.20		

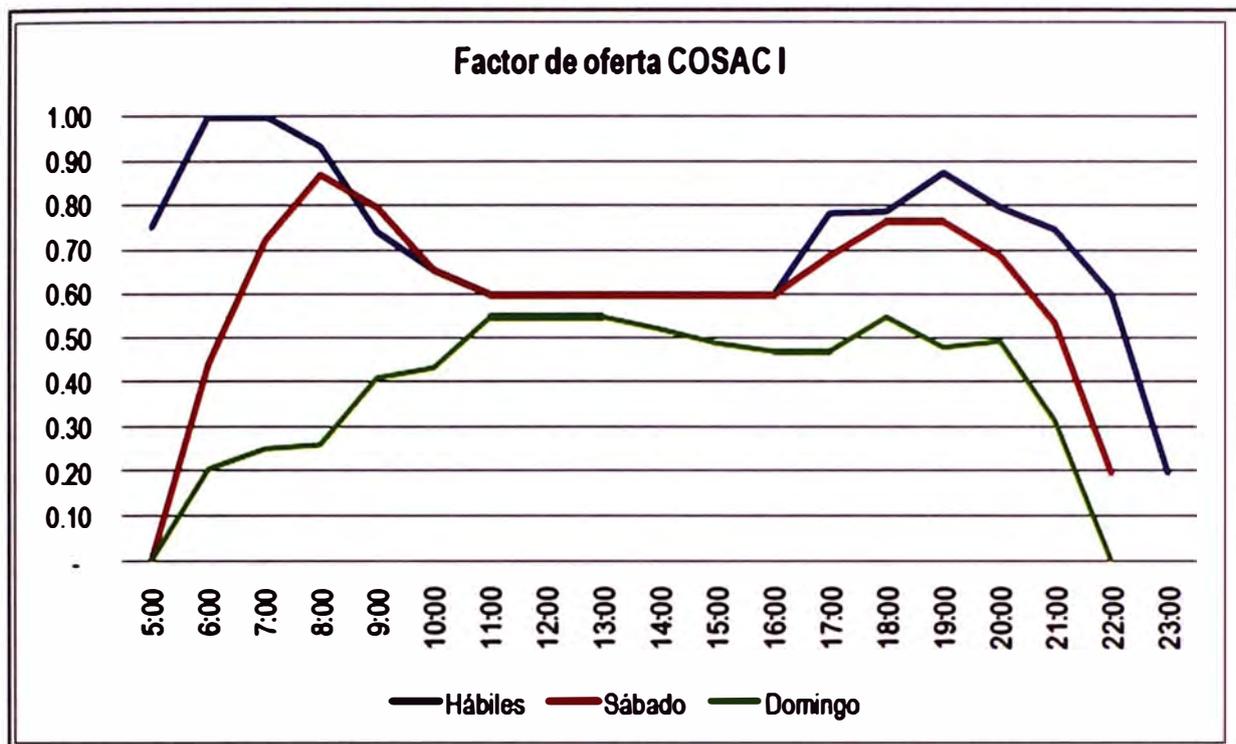


Figura 1.17: Factor de oferta del COSAC I de el diseño operacional.

De manera similar al desarrollo del diseño operacional de troncales, en las rutas alimentadoras se utilizó el modelo de transporte para la definición de la configuración del sistema de rutas alimentadoras y los respectivos parámetros operacionales. La configuración por cobertura geográfica se definió tomando como referencia las rutas actuales en las cuencas respectivas. La revisión en campo de las condiciones de los recorridos de las rutas alimentadoras permitió complementar la definición de las rutas alimentadoras en las cuencas.

La definición de las rutas alimentadoras toma en cuenta la cobertura geográfica de las cuencas, así como la existencia de rutas actuales. Es decir, si actualmente se tiene el servicio de transporte con el COSAC I se deberá mantener el servicio. En las figuras siguientes se muestran las rutas alimentadoras de la cuenca norte y de la cuenca sur del COSAC I.

Para el diseño operacional se evalúan los datos obtenidos con el modelo de transporte para la hora pico de la mañana. Para el cálculo de los parámetros operacionales de las rutas alimentadoras se ha tomado en cuenta únicamente la demanda que efectivamente utiliza las rutas troncales, es decir, la rotación de demanda antes de la terminal de integración no se considera en este dimensionamiento.

De este modo, hay un margen para el COSAC I por la rotación de demanda en las cuencas de alimentación. Los datos de demanda, carga máxima, vehículo tipo asignado, flota operacional y el índice de pasajeros por kilómetro (IPK) de las rutas alimentadoras se presentan en la tabla (1.8) siguiente.

Tabla 1.8 Parámetros operacionales de las rutas alimentadoras del COSAC I.

Description	Pasa	MaxVol	Veh Tipo	Long (km)	Frec. (bus/hr)	Interv. (min)	Ciclo (min)	Flota Oper	VelAqta	RacProm (km/hr)	IPK
A1A-1	1035	1035 Veh_alimen		20.92	15.0	4.00	56.0	14.0	22.4	313.8	3.5
A1A-2	1666	1666 Veh_alimen		18.56	30.0	2.00	52.0	26.0	21.4	556.8	3.5
A1A-3	1474	1474 Veh_alimen		12.27	20.0	3.00	39.0	13.0	18.9	245.4	6.5
A1A-4	1044	1044 Veh_alimen		11.43	15.0	4.00	40.0	10.0	17.1	171.5	6.8
A1B-1	429	429 Bus_Comun		7.83	7.5	8.00	32.0	4.0	14.7	58.7	8.2
A1B-2	489	490 Bus_Comun		6.04	8.6	7.00	21.0	3.0	17.3	51.8	10.9
A1B-3	511	511 Bus_Comun		12.11	8.6	7.00	42.0	6.0	17.3	103.8	6.2
A1B-4	1124	1124 Veh_alimen		11.11	15.0	4.00	40.0	10.0	16.7	166.7	7.4
A2-01	1702	1702 Veh_alimen		21.27	30.0	2.00	56.0	28.0	22.8	638.1	2.9
A2-02	768	768 Veh_alimen		11.18	10.0	6.00	36.0	6.0	18.6	111.8	7.9
A2-03	823	823 Veh_alimen		13.69	12.0	5.00	45.0	9.0	18.3	164.3	6.9
A2-04	2060	2060 Veh_alimen		22.85	24.0	2.50	70.0	28.0	19.6	548.4	4.8
A2-05	2620	2620 Veh_alimen		28.73	40.0	1.50	90.0	60.0	19.2	1149.2	2.8
A2-06	2898	2899 Veh_alimen		24.67	40.0	1.50	63.0	42.0	23.5	986.8	3.4
A2-07	1210	1210 Veh_alimen		20.39	17.1	3.50	63.0	18.0	19.4	349.5	4.2
AS-01	1066	1066 Veh_alimen		7.13	15.0	4.00	24.0	6.0	17.8	107.0	11.6
AS-02	603	603 Veh_alimen		9.42	8.6	7.00	28.0	4.0	20.2	80.7	10.0
AS-03	0	0 Bus_Comun		3.9	4.0	15.00	15.0	1.0	15.6	15.6	0.0
AS-04	235	235 Bus_Comun		5.42	4.0	15.00	15.0	1.0	21.7	21.7	16.7
AS-05	514	514 Veh_alimen		11.56	6.7	9.00	36.0	4.0	19.3	77.1	12.1
AS-06	845	845 Veh_alimen		6.04	12.0	5.00	20.0	4.0	18.1	72.5	14.4
AS-07	581	581 Bus_Comun		7.3	10.0	6.00	30.0	5.0	14.6	73.0	13.1
AS-08	1353	1353 Veh_alimen		14.17	20.0	3.00	51.0	17.0	16.7	283.4	6.0
	30008.0			308.0			319.0	29.5	6047.4	4.8	

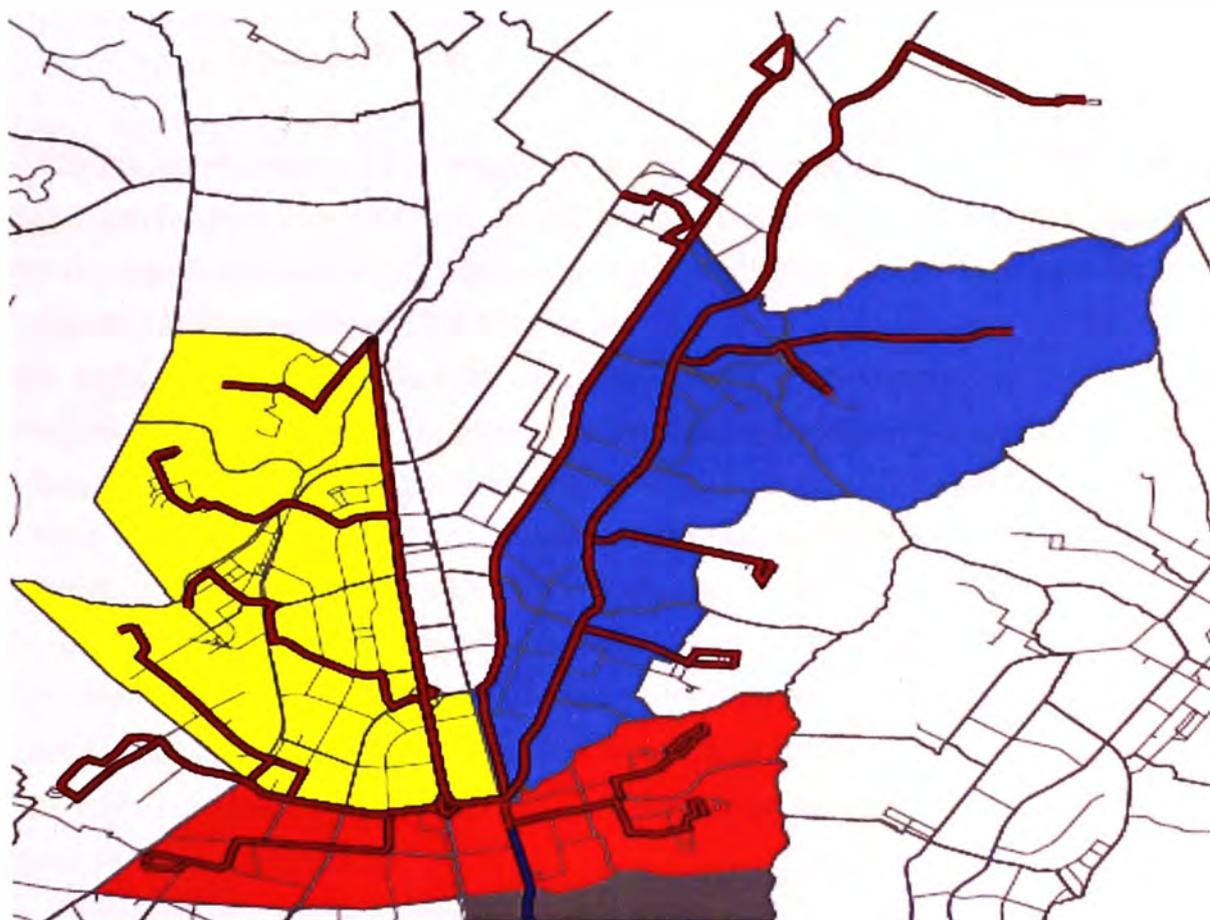


Figura 1.18: Rutas de la cuenca norte del COSAC I. 2011 en el diseño operacional.

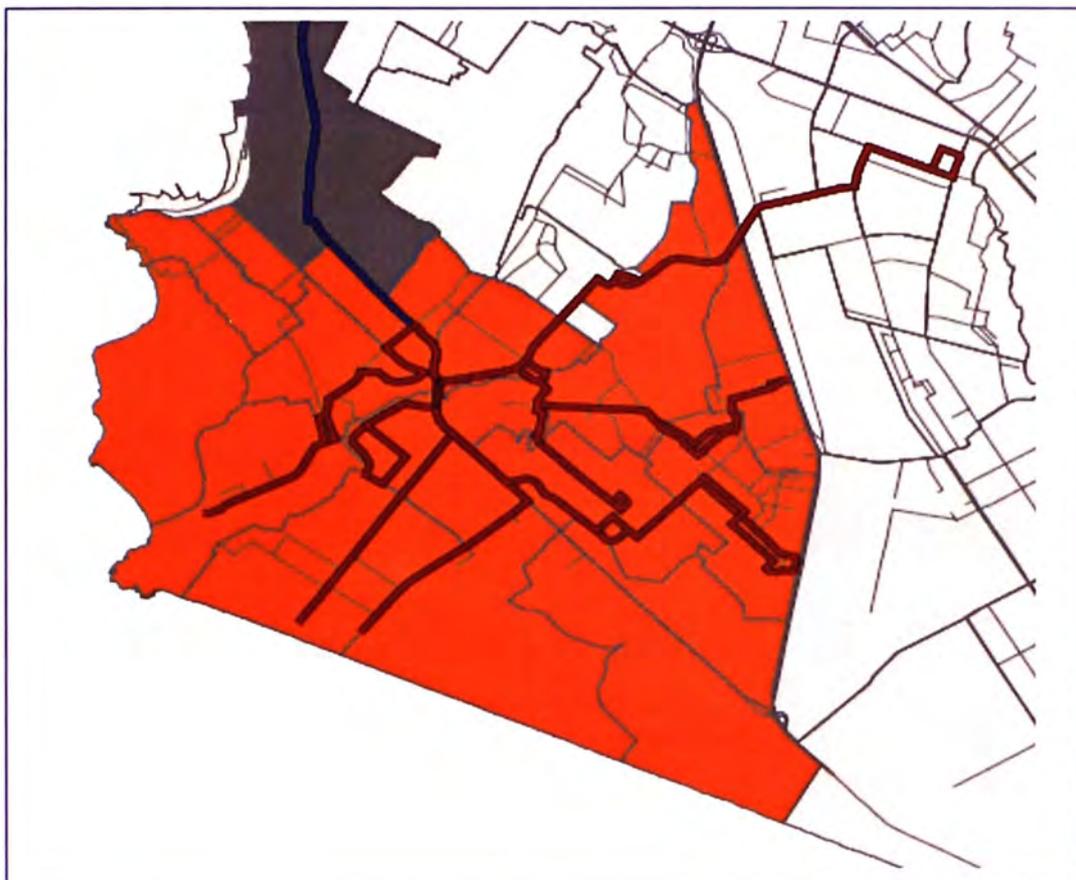


Figura 1.19: Rutas de la cuenca sur del COSAC I. 2011.

Otro punto importante es el estudio del marco conceptual del fenómeno de Gases de Efecto Invernadero y el Inventario de los mismos mediante la aplicación los métodos: Método Top Down Bottom Up, basados en los lineamientos metodológicos del Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG Protocol).

Con estos métodos se desarrolla las proyecciones y el Cálculo de reducción de emisiones en los corredores. Asimismo se presenta el inventario de los Contaminantes Criterio provenientes del parque automotor (PM, NO_x, SO_x yCO), inventario estimado a partir la siguiente información: tipo de combustible, tipo de vehículo, velocidad Kilómetro recorrido por día y año y factores de emisiones, las cuales son evaluadas en el corredor del BRT. La ruta de trabajo ha sido la siguiente:

- Recolección de datos de diferentes estudios e instituciones.
- Cálculos de los GEI mediante los métodos Top-Down y Bottom-Up.
- Resultados de la reducción de los GEI y utilizados como variables para la Evaluación los gases del efecto invernadero.

Finalmente se inició la operación en vacío el 15 de Abril y en forma comercial el 28 de julio del 2010. Esto se define como Operación Temprana. En la tabla 1.9. Se visualizan los servicios, intervalos, en horas pico, horas valle, frecuencias de la operación temprana.

Tabla 1.9 Intervalos por hora del día de los servicios troncales.

Cuadro

Operación temprana COSAC I

Intervalos por hora del día en servicios troncales

Datos hora pico AM

Cod	Description	Servicio	Long (km)	Frec_(bus/hr)	Interv_(min)	Ciclo (min)	Flota_Oper	Vel_(km/hr)	
SM1	Estación Central-Matellini	Parador	14.31	12	5	35	7	24.5	
SM51	Estación Central-Matellini	Expreso	14.31	20	3	33	11	26.0	
SM61	Estación Central-Matellini	Expreso	14.31	20	3	33	11	26.0	
NG2	Matellini-Estación Central	Parador	14.31	12	5	35	7	24.5	
NG52	Matellini-Estación Central	Expreso	14.31	20	3	33	11	26.0	
NG62	Matellini-Estación Central	Expreso	14.31	20	3	33	11	26.0	
							85.86	58	25.5

NOTAS

Flota operacional 58 buses articulados

Velocidad media operación 25.5 km/hr

Periodos de servicio:

LUNES A VIERNES	05:00	a	23:00
SABADO	06:00	a	23:00
DOMINGO	06:00	a	22:00

Tabla 1.10 Intervalos por hora del día de los alimentadores

Cuadro

Operación temprana COSAC I

Intervalos de servicio en rutas alimentadoras

Datos hora pico AM

Cod	Veh Tipo	Long (km)	Frec_(bus/hr)	Interv_(min)	Tiempo	Ciclo (min)	Flota_Oper	VelAjus	
AS-01	Veh_alimen	7.13	15	4	25	24	6	17.8	
AS-02	Veh_alimen	9.42	8	8	31	32	4	17.7	
AS-05	Veh_alimen	11.56	6	10	39	40	4	17.3	
AS-06	Veh_alimen	6.04	12	5	22	20	4	18.1	
AS-07	Veh_alimen	7.30	5	13	29	26	2	16.8	
AS-08	Veh_alimen	14.17	15	4	50	52	13	16.4	
AS-09	Veh_alimen	8.96	7	9	32	36	4	14.9	
							64.58	37	17.0

NOTAS

Flota operacional 37 buses alimentadores

Velocidad media operación 17.0 km/hr

Periodos de servicio:

LUNES A VIERNES	05:00	a	23:00
SABADO	06:00	a	23:00
DOMINGO	06:00	a	22:00

Tabla 1.11 Intervalos por hora del día de los servicios troncales.

Cuadro

Operación temprana COSAC I

Servicios troncales

NorteSur	STOP	ESTACION	Servicios			Tiempos Pico AM		
			SM1	SM61	SM51	SM1	SM61	SM51
1	20046	ESTACION CENTRAL	X	X	X	0:00:00	0:00:00	0:00:00
2	20107	Estadio Nacional	X		X	0:02:30		0:02:30
3	20101	México	X	X	X	0:01:30	0:04:00	0:01:30
4	20148	Canadá	X	X	X	0:01:00	0:01:00	0:01:00
5	20260	Javier Prado	X			0:01:30		
6	20263	Canaval y Moreyra	X	X		0:01:30	0:02:30	
7	20146	Andrés Aramburu	X			0:01:00		
8	20095	Domingo Orue	X	X		0:01:00	0:02:00	
9	20272	Angamos	X	X		0:01:00	0:01:00	
10	20275	Ricardo Palma	X	X		0:01:00	0:01:00	
11	20143	Alfredo Benavides	X			0:01:00		
12	20281	28 de Julio	X			0:01:00		
13	20088	República de Panamá	X			0:01:30		
14	20085	Ovalo Balta	X			0:01:30		
15	20290	Municipalidad de Barranco	X	X	X	0:02:30	0:06:00	0:11:30
16	20080	Estadio Municipal	X	X	X	0:01:30	0:01:30	0:01:30
17	20053	Escuela Militar	X	X	X	0:02:00	0:02:00	0:02:00
18	20058	Fernando Terán	X	X	X	0:02:30	0:02:30	0:02:30
19	20056	Prol Paseo de la República	X	X	X	0:01:30	0:01:30	0:01:30
20	20065	MATELLINI	X	X	X	0:02:00	0:02:00	0:02:00
Time						0:29:00	0:27:00	0:26:00
Layover						0:06:00	0:06:00	0:07:00
Ciclo						0:35:00	0:33:00	0:33:00

SurNorte	STOP	ESTACION	Servicios			Tiempos Pico AM		
			NG2	NG62	NGS2	NG2	NG62	NGS2
20	20065	MATELLINI	X	X	X	0:00:00	0:00:00	0:00:00
19	20056	Prol Paseo de la República	X	X	X	0:02:00	0:02:00	0:02:00
18	20058	Fernando Terán	X	X	X	0:01:30	0:01:30	0:01:30
17	20053	Escuela Militar	X	X	X	0:02:30	0:02:30	0:02:30
16	20080	Estadio Municipal	X	X	X	0:02:00	0:02:00	0:02:00
15	20290	Municipalidad de Barranco	X	X	X	0:01:30	0:01:30	0:01:30
14	20085	Ovalo Balta	X			0:02:30		
13	20088	República de Panamá	X			0:01:30		
12	20281	28 de Julio	X			0:01:30		
11	20143	Alfredo Benavides	X			0:01:00		
10	20275	Ricardo Palma	X	X		0:01:00	0:06:00	
9	20272	Angamos	X	X		0:01:00	0:01:00	
8	20095	Domingo Orue	X	X		0:01:00	0:01:00	
7	20146	Andrés Aramburu	X			0:01:00		
6	20263	Canaval y Moreyra	X	X		0:01:00	0:02:00	
5	20260	Javier Prado	X			0:01:30		
4	20148	Canadá	X	X	X	0:01:30	0:02:30	0:11:30
3	20101	México	X	X	X	0:01:00	0:01:00	0:01:00
2	20107	Estadio Nacional	X		X	0:01:30		0:01:30
1	20046	ESTACION CENTRAL	X	X	X	0:02:00	0:03:30	0:02:00
Time						0:28:30	0:26:30	0:25:30
Layover						0:06:30	0:06:30	0:07:30
Ciclo						0:35:00	0:33:00	0:33:00

NOTAS

SM1 Dirección Sur; Hasta Matellini; Servicio 1. Los servicios en esta alternativa son simétricos

Time Suma de tiempos entre estaciones. Redondeo a 30 segundos

Ciclo Suma de Time + Layover. Layover se usa para ajustar ciclo de operación

Finalmente se describe la representación del modelo dinámico del sistema de transporte público con estaciones de trasbordo en la figura 1.16.

Para esta formulación, donde supone la evolución del sistema en eventos discretos

que concuerdan con los instantes en que los buses del sistema de transporte público lleguen a algún paradero.

En el cual se supone está compuesto por N subsistemas. El subsistema 1 (correspondiente a la ruta R_i con variables de entrada H_i, S_i , que representan acciones de mantenerse fijo en velocidad promedio (holding) y detenerse en alguna embarque (stop-skipping) respectivamente, variable de salida ΔH_i^p que representa variación del avance (headway) en el paradero p para el bus i . Donde $\Delta H_i^p(i)$ es la variación del avance (headway) en el paradero p entre pasadas consecutivas de bus_i y bus_{i+1} en un evento k , definido como:

$$\Delta H_i^p(k) = H_{d-}^p - H_i^p(k) \quad (1.21)$$

Luego como se supone que el avance en cada paradero debe estar inversamente relacionado con la demanda respectiva de este paradero p en el instante k :

$$\Gamma^p(k) \quad (1.22)$$

Entonces en el conjunto de los N_p paraderos en un evento k se tiene que el menor avance (headway) H_d^{p*} debe satisfacer la desigualdad:

$$\sum_{p=1}^{N_p} H_d^p(k) \geq N_p * H_d^{p*}(k) \quad (1.23)$$

De donde si dividimos ambos lados entre N_p : se tiene:

$$H_d(k) \geq H_d^{p*}(k) \quad (1.24)$$

Lo que quiere decir que si $f_d(k)$ es la frecuencia de diseño y $f^{p*}(k)$ la frecuencia exigida en el paradero p . La ecuación (1.22) representa:

$$f_d(k) \leq f^{p*}(k) \quad (1.25)$$

Lo que quiere decir que en el intervalo de mayor flujo de usuarios es asegurar la frecuencia de los buses para que en el intervalo de parada sea mayor o igual a la frecuencia mínima diseñada para el sistema completo: $f_d(k) \leq f^{p*}$.

De forma simétrica, el subsistema 2 (correspondiente a la ruta R_{i+1}) presenta variables de entrada $H_{i+1}, S_{u(i+1)}$ y variable de salida $\Delta H_i^{p+1}(k)$. Además, se considera la interacción entre los subsistemas representando efectos mutuos entre las rutas producidos por la estación de transbordo, como por ejemplo las cargas trasbordadas $LT(i), LT(i+1)$ para la ruta R y R_{i+1} respectivamente. También, se considera la demanda para la ruta R y demanda' para la ruta R_{i+1} . Por último, las variables representadas son función de tiempo discreto k y k' según su particular evolución por eventos en las rutas R

y R_{i+1} respectivamente.

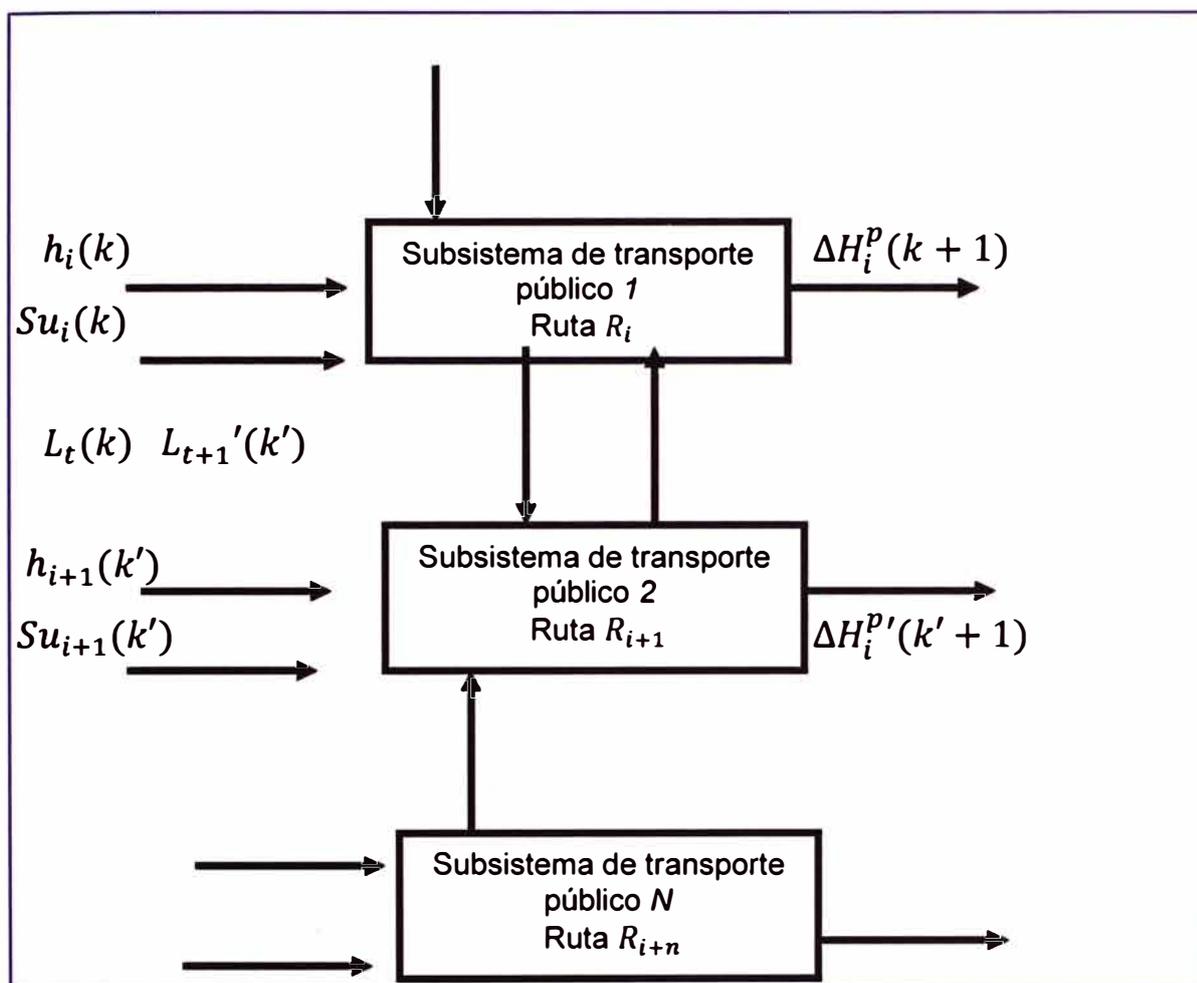


Figura 1.20: Esquema de un sistema de transporte público de N rutas con estación de transbordo.

1.4 Síntesis del informe

La Figura 1.21 resume el desarrollo presentado en el presente informe.

Como se puede ver, además del consecuente capítulo de planteamiento del problema y su descripción, el informe de competencia cuenta con capítulos estratégicos respecto al COSAC I. En este caso se analiza en cuatro capítulos técnicos. Los cuales se resumen en el cuadro sinóptico antes mostrado.

Aparte de los planteamientos teóricos se ofrecen herramientas y posibles soluciones, utilizando Programación PLC, Matlab, Synchro, con la implementación de un simulador de bloques genérico para sistemas vehiculares de semáforos, por medio del cual, se puede observar el funcionamiento del BRT en operación con la programación de flota y la herramienta de control de Flota y Rutas: Orbcad. Finalmente, utilizando conocimientos de estadística, programación y control, se proponen soluciones buscando un mejor rendimiento para el sistema BRT, de sus componentes: Control de Flota; Material Rodante, Semáforos; Estaciones, con la intención de hacer de ésta una herramienta de

uso práctico en nuestra Lima Metropolitana.

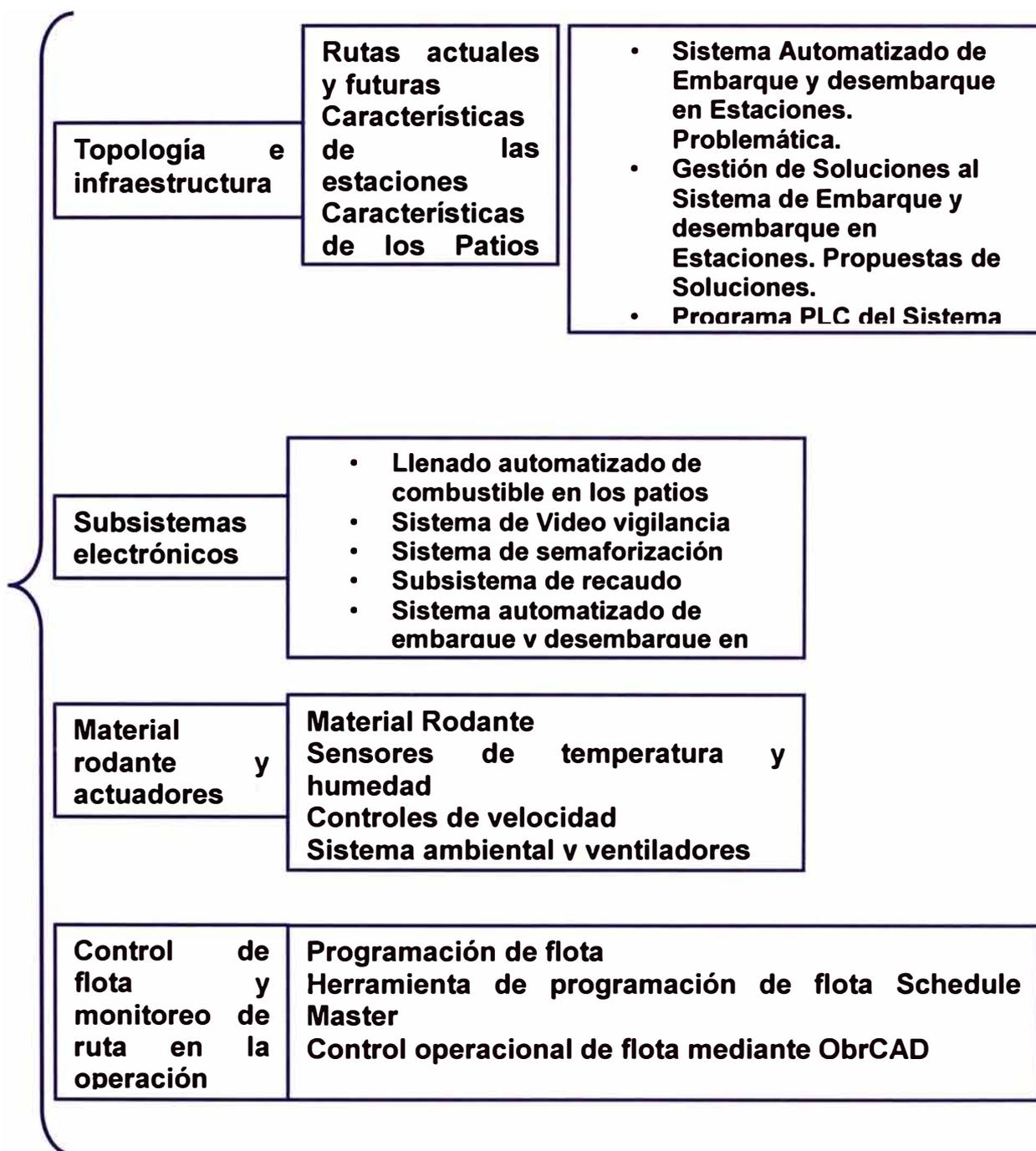


Figura 1.21 Cuadro sinóptico de temas desarrollados en informe.

CAPÍTULO II TOPOLOGÍA E INFRAESTRUCTURA

En éste capítulo se expone lo referente a la topología e infraestructura de “El Metropolitano”. El capítulo se organiza en tres secciones: Rutas actuales y futuras, características de las estaciones, y finalmente, características de los Patios Norte y Sur.

2.1 Rutas actuales y futuras

El Sistema Transporte masivo: “El Metropolitano”, es un sistema de autobuses de tránsito rápido que funciona en la ciudad de Lima, capital del Perú. Su construcción se inició en el año 2006, durante la gestión edil del ex alcalde Luis Castañeda Lossio y su operación comercial inició el 28 de julio del 2010 de manera parcial. El corredor cubre una ruta de sur a norte que comprende 16 distritos limeños desde Chorrillos hasta Independencia. La longitud de esta ruta troncal es de 26 km y el número total de estaciones es de 38; además se complementa con rutas alimentadoras en sus extremos sur y norte.

Este sistema tiene dos subsistemas diferenciados: Las vías troncales, que conectan las estaciones principales, y las vías alimentadoras, que tienen recorridos locales y sirven para llevar pasajeros hacia las estaciones terminales.

Este sistema de transporte masivo, cuenta con una estación subterránea central, que se llama Estación Central Grau. Para ingresar a la estación hay dos posibilidades: por cuatro entradas (Avenida Grau, Paseo de la República, Jirón Lampa y Avenida España) o a través de seis entradas (Palacio de Justicia, Museo de Arte Italiano y Parque de la Reserva). En la Estación Central Grau, además, hay una zona comercial de dos niveles. La estación está ubicada debajo del Paseo de los Héroes Navales.

También, hay otras dos estaciones importantes ubicadas a cada extremo de la Vía: una en las intersecciones de las Av. Túpac Amaru cdra. 45 con Av. Chinchaysuyo Cdra. 1. Llamada Terminal Norte Naranjal (en Independencia, al norte) y otra en la intersección de Matellini con prolongación Paseo de la República llamada Terminal Sur Matellini (en Chorrillos, al sur). Además, cuenta con otras Estaciones Intermedias, entre las cuales están la Estación Balta Barranco, Estación Javier Prado (Vía Expresa de Paseo de la República), Estación Pacífico (Independencia). Son un total de 35 estaciones intermedias y 155 paraderos autorizados contando las de las vías alimentadoras.

La ruta que sigue el corredor Vial empieza en el distrito de Independencia, al Norte de la ciudad, y parte de la Avenida Túpac Amaru hasta la Avenida Caquetá, de allí sigue hasta la Plaza Castilla donde se bifurca: por un lado sigue hacia la Plaza Dos de Mayo hasta la Avenida España e ingresa a la Estación Central Grau; de otro lado va hacia el Jirón de Lampa a través de la Avenida Tacna, una vez allí toma dirección hacia la Estación Central Grau.

Desde la Estación Central Grau toma dirección hacia el Sur a través de lo que hoy en día es la Vía Expresa de Paseo de la República hasta el final, luego sigue con dirección hacia el Ovalo José Balta, sigue hacia la Municipalidad de Barranco, el Estadio Municipal de ese distrito, para después llegar a la Escuela Militar de Chorrillos, una vez allí sigue para finalizar su recorrido en la Urbanización Matellini, cerca al límite del distrito de Chorrillos con Surco. En adelante se hará referencia a esta vía como corredor BRT segregado.

Actualmente hay dos tipos de servicios: El Regular y el Expreso. Estas son resumidas en la Figura 2.1 (a y b respectivamente). Los servicios regulares se detienen en todas las estaciones. Se incluyen dentro de estos servicios el Regular A, el Regular B y el Regular C, determinados por su recorrido en la Troncal Centro.

-Regular A.- Circula por todas las estaciones de la Troncal Norte y la Troncal Sur, pero en la Troncal Centro solo pasa por la Ruta A. Es representado por el color celeste. El servicio es disponible de lunes a domingo de 06:00 a 22:00.

-Regular B.- Circula por todas las estaciones de la Troncal Norte y la Troncal Sur, pero en la Troncal Centro solo pasa por la Ruta B. Es representado por el color anaranjado. El servicio es disponible de lunes a domingo de 06:00 a 22:00.

-Regular C.- Circula por todas las estaciones desde la estación Plaza de Flores hasta la estación Ramón Castilla. En la Troncal Centro solo pasa por la Ruta A. Es representado por el color verde. El servicio es disponible de lunes a viernes de 09:15 a 17:00.

Los servicios expresos se detienen en estaciones preestablecidas, con la finalidad de lograr una mayor fluidez durante las horas puntas. Hay cuatro tipos de servicios Expresos. En la Troncal Centro los expresos solo pasan por la Ruta B.

-Expreso 1.- El (Expreso 1), se detiene en unas estaciones en ambas direcciones, partiendo desde el Terminal Sur Matellini. Es representado por el color plateado.

-Expreso 2.- El (Expreso 2), estrenado el 8 de noviembre, del 2011; no entra en los distritos de Barranco y Chorrillos donde existen limitaciones de sección vial en cuanto a adelanto de buses. Este se detiene en unas estaciones en ambas direcciones, partiendo desde el Terminal Norte Naranjal. Es representado por el color azul.

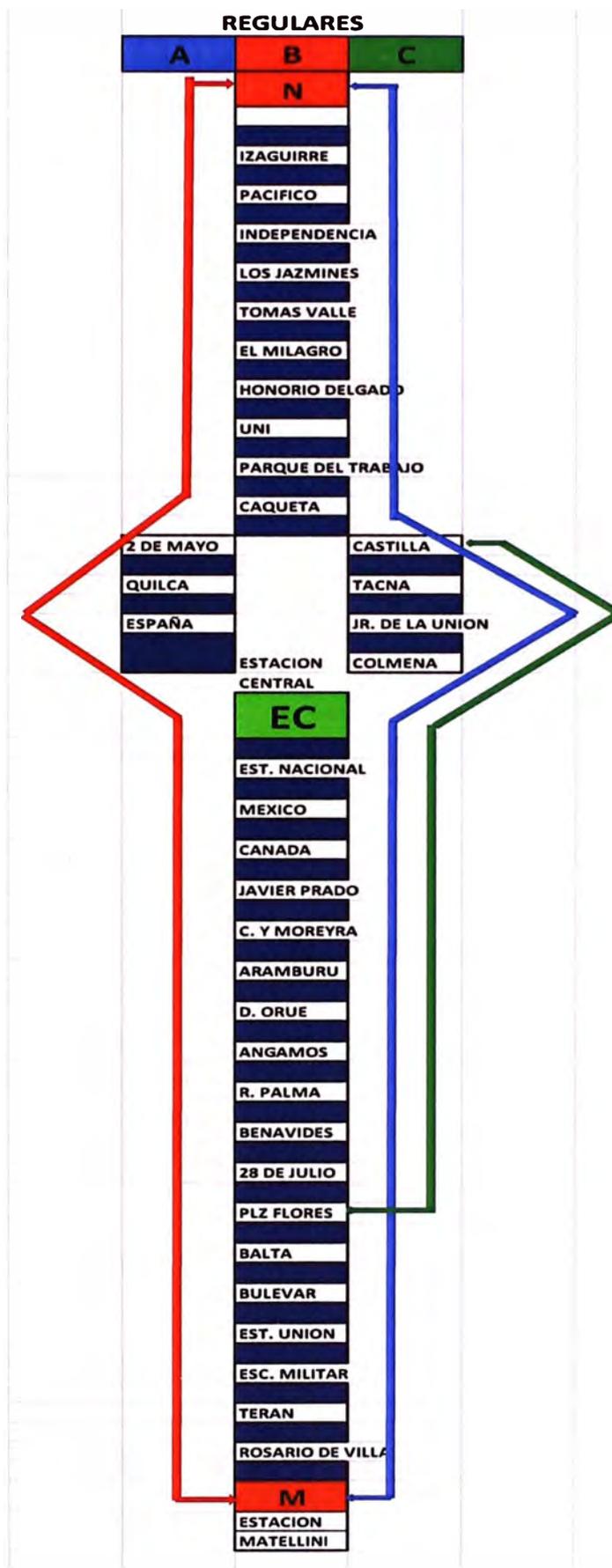


Figura 2.1 Recorridos existentes.

-Expreso 3.- El (Expreso 3), brinda un servicio exclusivamente para los usuarios de los distritos del norte de la ciudad que necesiten transportarse a Barranco y viceversa. Es representado por el color dorado.

-Expreso 4.- El (Expreso 4), brinda un servicio exclusivamente para los usuarios de los distritos del norte de la ciudad que necesiten transportarse a Barranco y viceversa. Funciona los sábados de 6:00 a 22:00 de forma ininterrumpida. Se detiene en unas estaciones en ambos sentidos, partiendo desde el Terminal Norte Naranjal. Es representado por el color rojo.

-Expreso 5.-El (Expreso 5), estrenado el 11 de marzo del 2013. Este servicio opera de lunes a viernes de 9:00 a 17:00, las estaciones en las que se detiene son Naranjal, Independencia, Tomás Valle, Honorio Delgado, UNI, Caquetá, España, Central, Canadá, Javier Prado, Canaval y Moreyra, Angamos, Ricardo Palma y Plaza de Flores. Partiendo desde el Terminal Norte Naranjal. Es representado por el color guinda.

-Súper Expreso.- El (Súper Expreso), comenzó a circular desde el 26 de Marzo del 2012, brinda el servicio directo desde el Terminal Norte Naranjal hasta la Estación Canaval y Moreyra en sólo 27 minutos. Funciona de lunes a viernes de 6:30 a 9:00 de forma ininterrumpida, Es representado como el Embarque 6.

Horario:

Las rutas mostradas deben regirse a ciertos horarios. En la Tabla 2.1 se Cuadro de los horarios de cada servicio. Como se puede ver, los horarios cambian según sea de mañana o de tarde y en relación al sentido del tránsito, conforme sea de norte a sur o de sur a norte. Sur y norte se refieren a la dirección hacia donde se dirige el bus. Naranjal queda en el Norte y Matellini y Plaza de Flores quedan en el sur.

El Sistema Alimentador cubre exclusivamente el recorrido hacia las Estaciones de Transferencia Matellini y Naranjal y tiene como objetivo permitir el acceso de los usuarios a las Estaciones Intermedias o viceversa. Este servicio se toma en paraderos identificados.

En el tramo sur, las alimentadoras que llevan a los pasajeros hasta el Terminal Sur Matellini son:

AS - 02 Cedros de Villa

AS - 04 Villa El Salvador

AS - 05 Santa Isabel de Villa (Inactivo)

AS - 07 América

AS - 08 Los Próceres

En el tramo norte, las alimentadoras que llevan a los pasajeros hasta el Terminal Norte Naranjal son:

- AN - 01 Tahuantinsuyo
- AN - 02 Tungasuca
- AN - 03 Trapiche
- AN - 04 Collique
- AN - 05 Payet
- AN - 06 Puno
- AN - 07 Belaunde
- AN - 08 Milagro de Jesús
- AN - 09 Carabayllo
- AN - 10 Santo Domingo
- AN - 11 Tomás Valle (Inactivo)
- AN - 12 Puente Piedra
- AN - 13 La Ensenada
- AN - 14 Bertello
- AN - 15 Los Alisos
- AN - 16 Los Olivos
- AN - 17 Antúnez de Mayolo.

Tarjetas: Tarjeta de tarifa general

El operador de recaudo quien invierte en el equipamiento para vender, cargar y validar medios de acceso. El uso de tarjetas inteligentes a los cuales se adiciona un monto que va descontando según la distancia de cada viaje es el método tecnológico más eficiente de recaudo de tarifas. Este sistema de recaudo es de tecnología de punta, simple de usar y eficiente. El operador de recaudo también tiene la responsabilidad del soporte técnico a los equipos y dispositivos del sistema para asegurar la continuidad del servicio.

Existen 3 tipos de tarjetas:

Tarifa general: Para todos los usuarios que quieran hacer uso del sistema.

Escolar: Está destinado a los escolares, son de color naranja. Tiene vigencia solamente en el periodo escolar.

Universitario: Está destinada a los universitarios y estudiantes de institutos superiores reconocidos por el Ministerio de Educación. Son de color verde y su vigencia es hasta la fecha de caducidad de los carnés de medio pasaje del usuario.

Los bomberos y policías, quienes tienen un acceso gratuito al sistema, también tienen una tarjeta electrónica distintiva.

Al respecto de las tarifas: A partir del 8 de diciembre de 2012. Se aplica una tarifa integrada de S/. 2.00 cuando se utilicen las modalidades de Alimentador - Troncal,

Troncal, Troncal - Alimentador o Alimentador - Troncal - Alimentador. El validador debitará de la tarjeta las tarifas descritas más abajo sin exceder el total de la tarifa integrada. Este cambio ha sido realizado por los concesionarios sin autorización de la Municipalidad Metropolitana de Lima y es probable que se revierta al costo original (S/.1.50 por bus troncal y S/.0.80 por bus alimentador).

La tarifa integrada tiene tres posibilidades:

Alimentador - Troncal: Al abordar el bus alimentador el validador debitará S/.1.00; luego, para abordar el bus troncal, S/.1.00 adicional.

Troncal - Alimentador: Para abordar el bus troncal el validador debitará S/.2.00; luego, al abordar el bus alimentador, S/0.00.

Alimentador - Troncal - Alimentador: Al abordar el bus alimentador el validador debitará S/.1.00; luego para abordar el bus troncal S/.1.00 y, finalmente para abordar el bus alimentador S/0.00.

Tabla 2.1 Horarios de recorridos.

Servicio		Día de servicio	Mañana		Tarde	
			Sur	Norte	Sur	Norte
Regular A	Regular B	diario	06:00-22:00			
Regular C			06:00-22:00			
	Expreso 1	lunes- viernes	6:00- 9:00	6:30- 9:00	16:45- 22:00	17:00- 22:00
	Expreso 2		6:00- 9:00	6:30- 9:00	16:45- 22:00	17:00- 22:00
	Expreso 3		6:00- 9:10	6:15- 9:00	17:00- 22:00	17:00- 22:00
	Expreso 4	sábados	6:00-22:00			
	Expreso 5	lunes a viernes	9:00-17:00			
	Súper Expreso	lunes a viernes	6:30- 9:00	6:30- 9:00	No tiene	No tiene
sur y norte se refiere al destino del bus						

Mientras que los servicios regulares paran en todas las estaciones, los expresos sólo paran en determinadas estaciones.

En particular los expresos tienen cambios de paraderos según sea de mañana o de tarde y en relación al sentido del tránsito, conforme sea de norte a sur o de sur a norte. En la troncal Centro los expresos solo pasan por la ruta B. Esto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.2 Cuadro de paraderos de Expresos.

Estación	Expreso 1	Expreso 2	Expreso 3				Expreso 4	Expreso 5			
	Lunes-Viernes						Sábados	Lunes-Viernes			
			mañana		tarde						
		↓	↑	↓	↑		↓	↑	↓	↑	
Troncal Norte											
Naranjal	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Izaguirre			•	•	•	•	•				
Pacífico											
Independencia			•			•		•	•		
Los Jazmines											
Tomás Valle		•					•	•	•		
El Milagro											
Honorio Delgado									•		
UNI	•	•	•			•	•	•	•		
Parque del Trabajo											
Caquetá	•	•					•		•		
Troncal Centro											
Ruta B											
2 de Mayo	•						•				
Quilca	•										
España	•			•	•		•	•	•		
Troncal Sur											
Estación Central	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
Estadio Nacional											
México											
Canadá			•	•	•	•		•	•		
Javier Prado	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Canaval y Moreyra	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Aramburú			•	•	•	•					
Domingo Orué											
Angamos	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ricardo Palma								•	•		
Benavides			•	•	•	•					
28 de Julio											
Plaza de Flores		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Balta	•										
Bulevar	•										
Estadio Unión	•										
Escuela Militar	•										
Terán	•										
Rosario de Villa	•										
Matellini	•										

Nota:

• (círculo)

El expreso para en la estación.

↑ (flecha)

Dirección hacia donde avanza el expreso.

2.2 Características de las estaciones

La descripción de las características de las estaciones es evaluada desde el punto de vista de infraestructura de seguridad, control de flota, rutas, embarques y recaudo.

A continuación se muestran los esquemas de las estaciones tipo existentes: Vagón Tipo 1, 2 y 3 (Figura 2.2, 2.3 y 2.4).



Figura 2.2 Vagón tipo I.

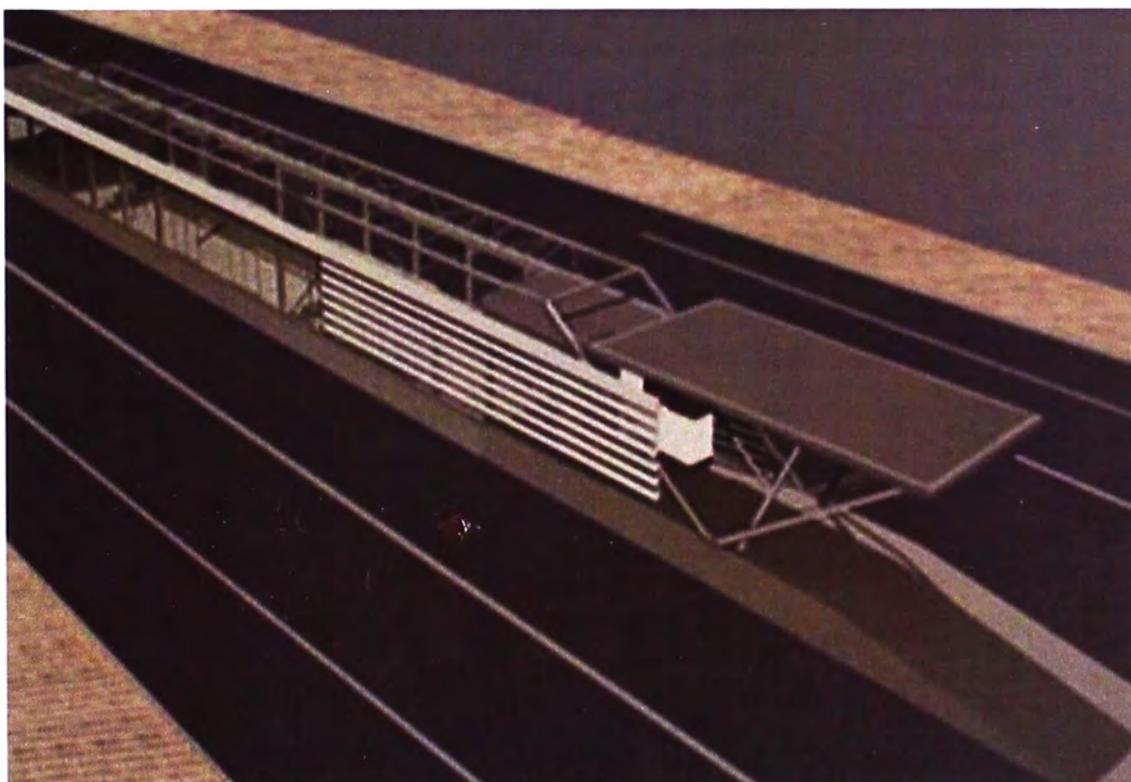


Figura 2.3 Vagón tipo II.



Figura 2.4 Vagón tipo III.

El vagón tipo I, corresponde al módulo típico de 4 metros de ancho, implementado en: Nicolás de Piérola, Jirón de la unión y Tacna. Para estos casos la estación es más transparente, por tanto, hay mayores áreas de fachada con vidrio. Se propone menos espacio para publicidad, y no se plantean árboles al interior. Todo esto, con el objetivo de minimizar el impacto urbano de la estación sobre las áreas de valor patrimonial.

El vagón tipo 2, corresponde al módulo típico de 5 metros de ancho, implementado en todas las estaciones con excepción de las tres nombradas en la estación tipo 1 y la estación Dos de Mayo. Por el contexto urbano, en éstos módulos se amplía el espacio para publicidad, disminuyendo las fachadas en vidrio y aumentando las de persiana que generan un cerramiento mayor.

El vagón tipo 2E, corresponde al módulo intermedio para la implantación de estaciones tipo 2. Es decir, su arquitectura es la misma de la estación tipo 2, pero no cuenta con el volumen de acceso y por tanto elimina el área de torniquetes y taquilla. Por lo demás las características son las mismas a las del tipo 2.

El módulo tipo 3, corresponde al volumen atípico diseñado para la inserción urbana en dos de mayo. Su arquitectura es la misma de los demás tipos, pero se encuentra enmarcada dentro de un contexto diferente teniendo en cuenta que se localiza por debajo de la plazoleta Dos de Mayo en el centro de Lima.

La Tabla 2.3 muestra la relación de las estaciones y sus tipos:

Tabla 2.3 Estaciones y tipos.

No.	NOMBRE DE ESTACION	TIPO	LONG. MODULO TIPICO (m)	Ancho total (m)	Long, total (m)	Nº. módulos por estación
1	RAMON CASTILLA	2-2E	51 - 40	5	170,08	3
2	TACNA	1	51	4	169,07	2
3	JIRON DE LA UNION	1	51	4	135,4	2
4	NICOLAS DE PIEROLA	1	51	4	51,07	1
5	ESPAÑA	2-2E	51 - 40	5	164,41	3
6	QUILCA	2 - 2E	51 - 40	5	186,3	3
7	DOS DE MAYO	3	52	3-4 Variable	175	2
8	CAQUETA	2 - 2E	51 - 40	5	169,3	3
9	PARQUE DEL TRABAJO	2	51	5	115,15	2
10	UNI	2 - 2E	51 - 40	5	172,43	3
311	HONORIO DELGADO	2	51	5		2
12	BARTOLOME DE LAS CASAS	2	51	5	121,15	2
13	TOMAS VALLE	2	51	5	121,15	2
14	LOS JASMINEZ	2	51	5	121,15	2
15	MUN. DE INDEPENDENCIA	2	51	5	121,15	2
16	PACIFICO	2	51	5	121,15	2
17	CARLOS IZAGUIRRE	2	51	5	121,15	2

A continuación se desarrollan los siguientes ítems:

- Sistema Automatizado de Embarque y desembarque en Estaciones y su problemática.
- Gestión de Soluciones al Sistema de Embarque y desembarque en Estaciones. Propuestas de Soluciones.
- Complementariamente se desarrolla lo correspondiente al las opciones de automatización del sistema automatizado de embarques.

2.2.1 Sistema automatizado de embarque y desembarque en estaciones

El sistema se conforma por las puertas de Embarque de las Estaciones, el sistema electrónico de apertura y cierre de puertas y el sistema embarcado de apertura y cierre de puertas del Material Rodante.

Puertas de Embarque y Desembarque de las Estaciones:

El sistema para apertura y cierre de Puertas de Andén (Screen System) planteado, para el accionamiento de las puertas del proyecto de Transporte COSAC I, ha sido estudiado y personalizado con el propósito de optimizar el funcionamiento de la instalación, evaluando las necesidades específicas y los posibles problemas que pueden surgir en función de parámetros como son: el uso previsto, la localización de los andenes, la afluencia de usuarios en las rutas establecidas de transporte o las necesidades específicas de mantenimiento y limpieza.

El funcionamiento óptimo planteado para el proyecto COSAC, se describe del siguiente modo:

El conductor del autobús se aproxima al andén observando el Semáforo Exterior en color verde.

El autobús se aproxima al Andén y el Sensor de ultrasonido encapsulado regulable capta el posicionamiento a la distancia establecida de separación bus – andén, enviado la primera señal al Controlador PLC.

El autobús sigue avanzando hasta el Sensor de ultrasonido encapsulado regulable que capta la distancia establecida entre bus – andén y enviado la segunda señal al Controlador PLC; una vez posicionado el autobús entre los dos sensores a la distancia establecida, el Controlador PLC envía la orden al Semáforo Exterior y cambia el mismo a color rojo, indicando al conductor del autobús la prohibición de desplazarse y quedando las puertas del bus alineadas con las puertas del andén.

El conductor pulsa el botón de apertura de puertas del autobús y del andén (que se encuentran sincronizadas); el Controlador PLC, tras recibir las señales de confirmación de parada de los sensores, y a la señal de conductor, acciona la apertura de las puertas (Screen System) del Andén, activando el indicador luminoso y acústico de puertas abiertas y permitiendo la salida y entrada de los usuarios.

Las puertas permanecen abiertas durante el tiempo necesario para el desembarque y embarque de pasajeros. Al finalizar la acción, el conductor verifica por los espejos retrovisores el término de la actividad e inmediatamente pulsa el botón de cierre de puertas del bus y el andén; el Controlador PLC envía una señal de cierre de puertas que cambia el indicador luminoso de puertas abiertas y activa la señal acústica de cierre de puertas. De ser necesarios, este sistema de apertura y cierre de puertas puede programarse para ser temporizado automáticamente y puede ser modificado en cualquier andén y en cualquier momento por los operarios de mantenimiento para adaptarse mejor a determinados días u horarios con mayor o menor afluencia de usuarios.

Tras la emisión de la señal acústica y luminosa, se cierran las puertas del autobús, y a continuación quedan cerradas las puertas del andén.

El controlador PLC verifica el cierre correcto del sistema de puertas (Screen System).

El controlador PLC envía una señal al Semáforo para que cambie a color verde indicando la puesta en marcha del autobús. Se recomienda la colocación de los semáforos a una altura centrada y a una distancia de 1,5 - 2 metros de la cabecera del bus con el fin de facilitar su correcta visualización por parte del conductor.

De existir fallo en la apertura de las puertas del andén, y el bus se encuentra posicionado, el usuario podrá activar el botón de emergencias para la apertura de las puertas automáticas, las que solo se activaran si se hubieran cumplido necesariamente los pasos 1 a 4. El botón de emergencia funcionara una sola vez si fallara la apertura de las puertas del andén, procediendo luego al cierre de las mismas y emitiendo posteriormente una señal audible de fallo del sistema para ser atendido por el personal

de mantenimiento.

El sistema cuenta con fotocélulas laterales de seguridad en cada puerta que no permitirán el cierre de las mismas si detectan objetos en el eje de paso.

El siguiente esquema (Figura 2.5) resume el proceso explicado:

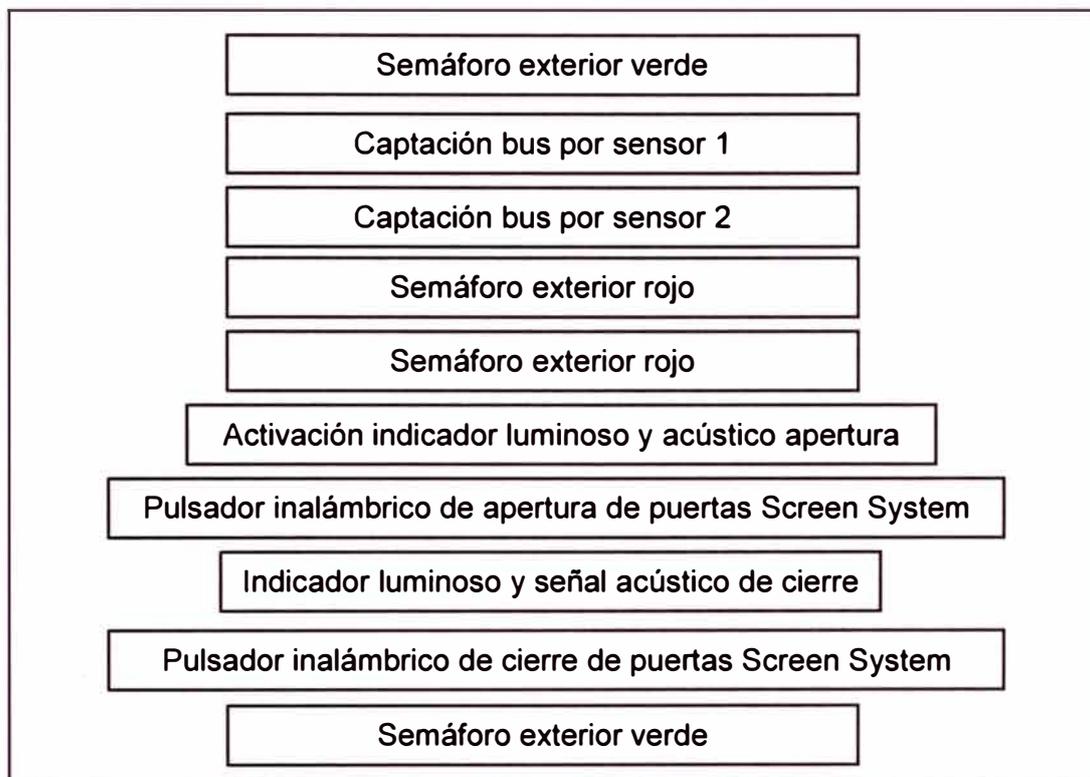


Figura 2.5 Esquema de procesos.

El funcionamiento para el usuario es el siguiente:

- El usuario llega al andén y encuentra el Indicador luminoso en posición cerrado (opción luz roja).
- El autobús queda posicionado, el conductor activa el botón de apertura de puertas, y el indicador luminoso y acústico, cambia a posición abierto (luz verde).
- Las puertas del andén se abren dando acceso a los pasajeros para embarque o desembarque del autobús.
- El conductor visualiza el término de la maniobra y activa el botón de cierre de puertas.

La señal acústica y luminosa indica el cierre de las puertas.

El funcionamiento de la apertura de emergencia es el siguiente:

- En el caso de que las puertas del andén no se abran a la orden del conductor por algún fallo del sistema o por alguna situación de emergencia en la que las puertas deban ser abiertas, estas están provistas de un dispositivo de emergencia "rómpanse en caso de emergencia" situado en el andén, que envía una señal prioritaria al controlador, dando la

orden de apertura al sistema de puertas (Screen System).

-Terminada la acción, el controlador PLC envía las señales de cierre de las puertas y emitirá una señal audible indicativa para el personal de mantenimiento del sistema.

-El controlador dispone de entradas libres para su conexión a sistemas de seguridad adicional, que pueden ser utilizados por el sistema de control central de las estaciones para realizar de forma directa la apertura de las puertas.

Sistema embarcado de apertura y cierre de puertas del material rodante:

Las puertas del Bus articulado están a la derecha y son tres. Cada una posee dos hojas con apertura neumática hacia el interior. El mecanismo de apertura es interior y exterior. La altura libre de la puerta es de 2100 mm. El ancho de las puertas son 1050 mm. de la primera puerta, 1150 mm. de la segunda puerta y 1150 mm. de la tercera puerta; respectivamente. La Figura 2.6 muestra el relevador (relé) de sensibilidad y tiempos que regula la puerta del Bus BRT. Las siguientes figuras ilustran la explicación al final de esta sección.

Es un sistema neumático que funciona con presión de aire y cuenta con: Pistón o botella de aire para cada hoja de la puerta que permite la acción de abrir y cerrar. También tiene: Dos electroválvulas que se accionan con el sistema eléctrico a través de un pulsador que va en el tablero del piloto. Además un relay de sensibilidad que controla el tiempo del abrir y cerrar de puertas, para que se tenga la seguridad de no lastimar al usuario.



Figura 2.6 Relay de sensibilidad y tiempos de la Puerta del Bus.

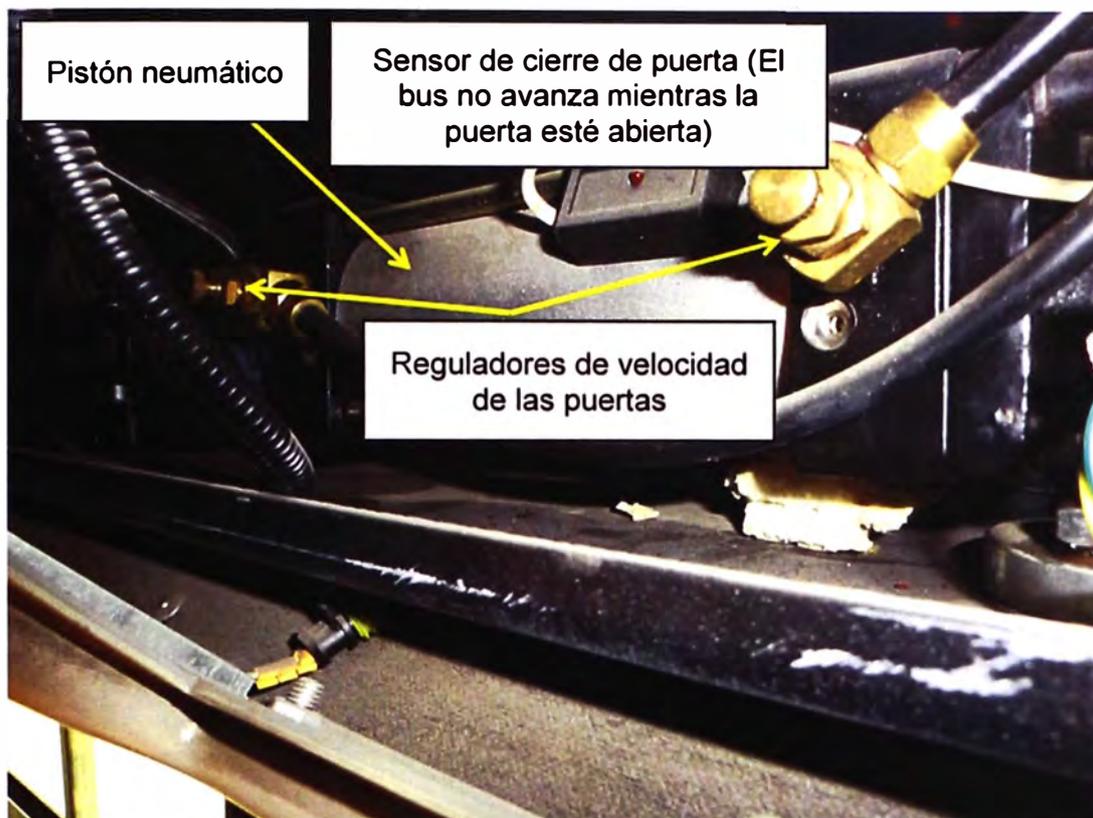


Figura 2.7 Control Seguridad Aceleración del Bus.

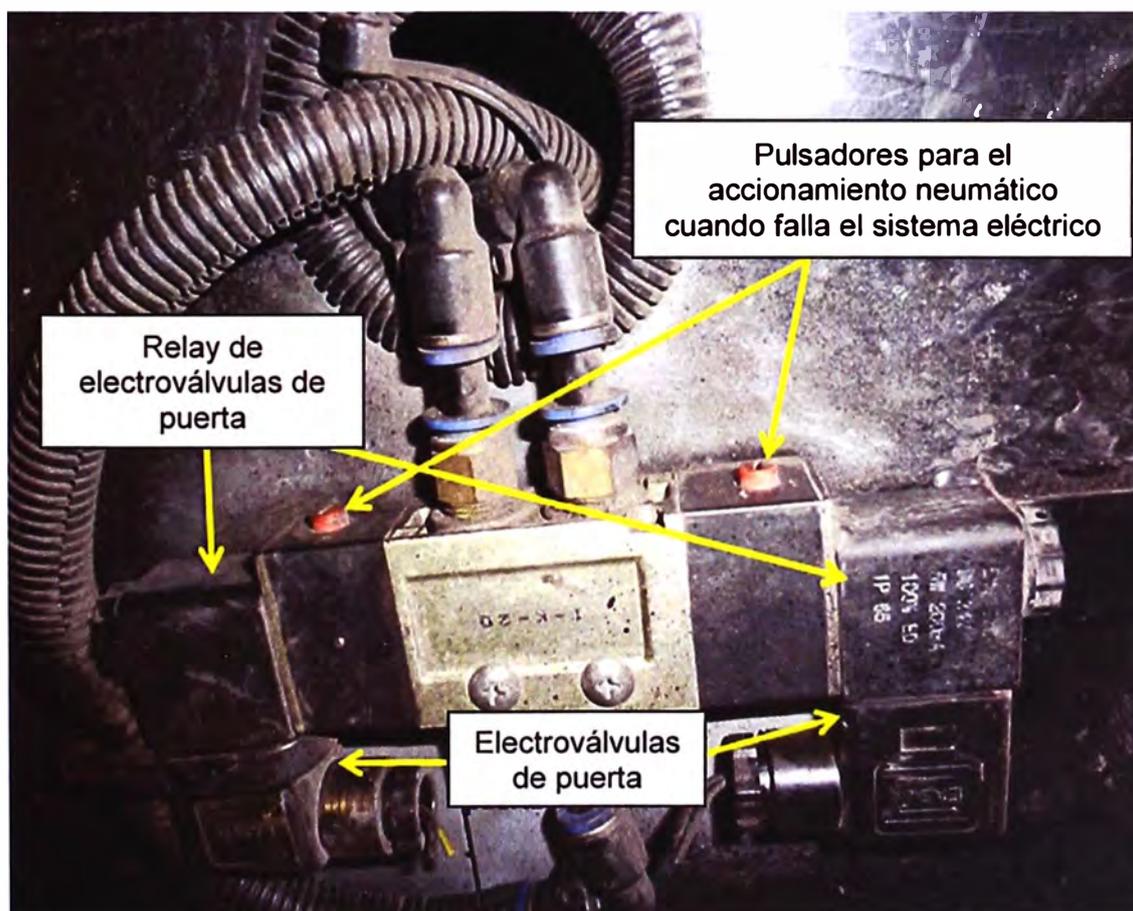


Figura 2.8 Electroválvulas de Accionamiento y Sistema neumático.



Figura 2.9 Vista lateral del relay de Sensibilidad de accionamiento de la puerta.

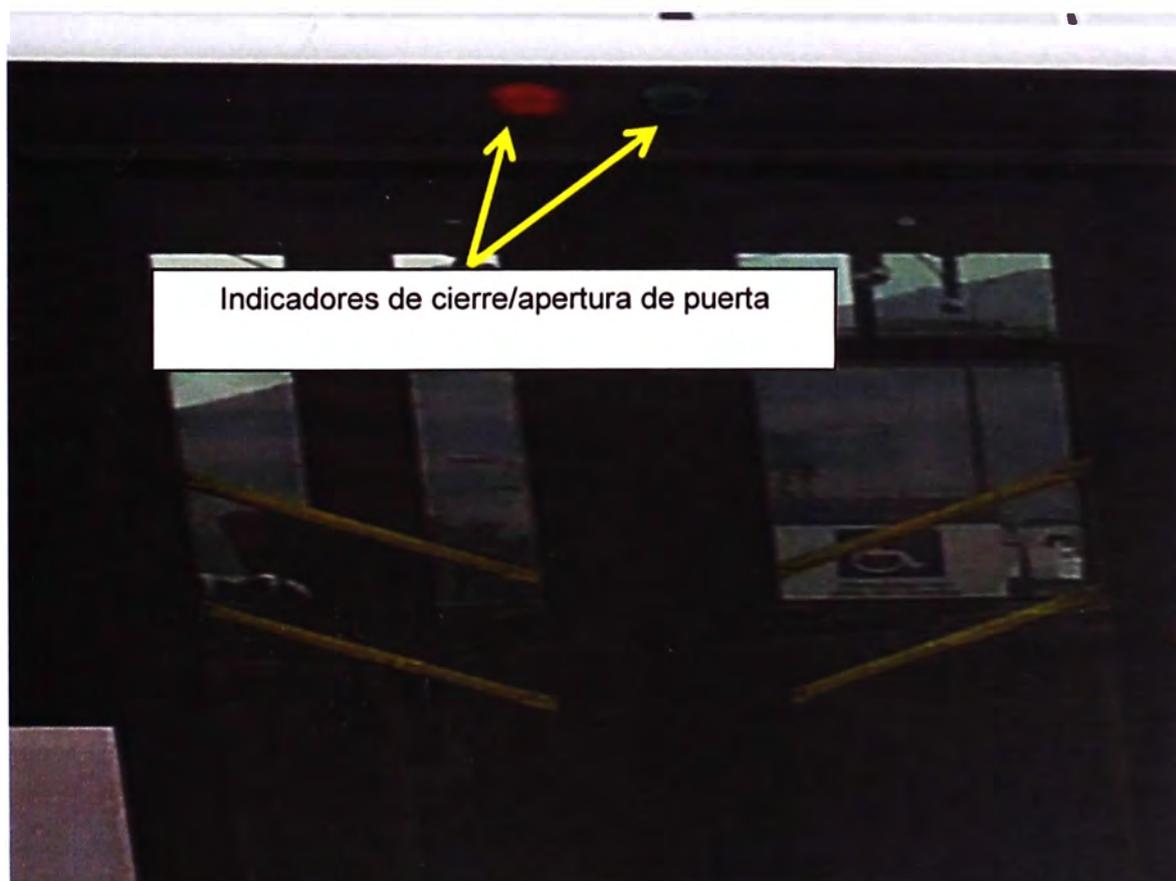


Figura 2.10 Sensor de Luces apertura o cierre de puerta.



Figura 2.11 Distancia máxima de estacionamiento 20cm.

Sensores de luz y alarma que funcionan conjuntamente con el sensor de sensibilidad. Despresurizadores individuales de cada puerta y también uno general para cortar la presión de aire en caso de alguna emergencia. Pulsadores individuales en caso de avería del sistema eléctrico para que opere manualmente solo con la presión de aire. También cuenta con sensores de seguridad que bloquean el sistema de aceleración en caso de que las puertas estén abiertas. Este Sistema Neumático es el mismo en los buses articulados y alimentadores.

2.2.2 Gestión de soluciones al sistema de embarque y desembarque en estaciones.

Propuestas de soluciones

Se recomienda el sistema de apertura automático sincronizado mediante sensores regulables, ya que se trata de un sistema sencillo que requiere un reducido mantenimiento para el personal de la estación, lo que se supone un menor gasto y evita posibles errores por parte del conductor del bus, aumentando la fiabilidad del sistema de transporte.

La transmisión de señales para la apertura se logra cuando el bus se posiciona frente a la puerta de la estación. En este caso no es necesario ningún tipo de emisor o receptor de frecuencias eliminando los posibles errores de selección o interferencias.

Se recomienda la instalación de una señal luminosa y acústica que indique la apertura y cierre de las puertas Screen System, evitando posibles accidentes causados por la no visualización del Indicador luminoso, ayudando a las personas con visibilidad reducida a adaptarse mejor al sistema de transporte e indicando al conductor del autobús el aviso para que cierre puertas.

Se recomienda no instalar las fotocélulas de seguridad en el eje de paso, ya que

pueden obstaculizar el buen funcionamiento del sistema por manipulación de las mismas. El operador automático AG150 de GRUPSA dispone de diferentes parámetros que se programan para conseguir una alta seguridad para el usuario sin obstaculizar el correcto funcionamiento de las puertas, estos parámetros son :

Velocidad Frenado en Cierre: La puerta cierra una determinada distancia a la velocidad establecida en “Velocidad de Cierre” y a partir de la distancia programada adquiere otra velocidad más lenta: es la “Velocidad Frenado en Cierre”.

Distancia Frenado en Cierre: Distancia a partir de la cual la puerta cierra a “Velocidad frenado en cierre”.

Fuerza de cierre (closing force sensitive): Desde este parámetro se ajusta la sensibilidad de la puerta al chocar contra un obstáculo, que se puede configurar en un rango de 05 a 25.

Función Seguridad: Selección del modo de funcionamiento en caso de que un obstáculo choque con la puerta: la puerta revierte o se mantiene detenida en ese punto.

Tiempo de Apertura Mantenido.- Ajuste del tiempo que la puerta permanece abierta entre la maniobra de apertura y cierre.

El fabricante recomienda la colocación de los semáforos (3) a una altura centrada y a una distancia de 1,5 a 2 metros de la cabecera del bus con el fin de facilitar su correcta visualización por parte del conductor.

2.2.3 Programa PLC del sistema automatizado de embarque y desembarque.

Tomando en cuenta las recomendaciones, se realizó el proyecto indicado. Para ello se definen tanto los Parámetros de entrada como los de salida. La Figura 2.12 y 2.13 muestra el esquema de lo implementado y el diagrama de control. Los Parámetros de entrada:

- I1: Sensor de movimiento detectara la presencia del bus.
- I2: Fin de carrera puerta cerrada (normalmente cerrado).
- I3: Fin de carrera puerta abierta (normalmente cerrado).

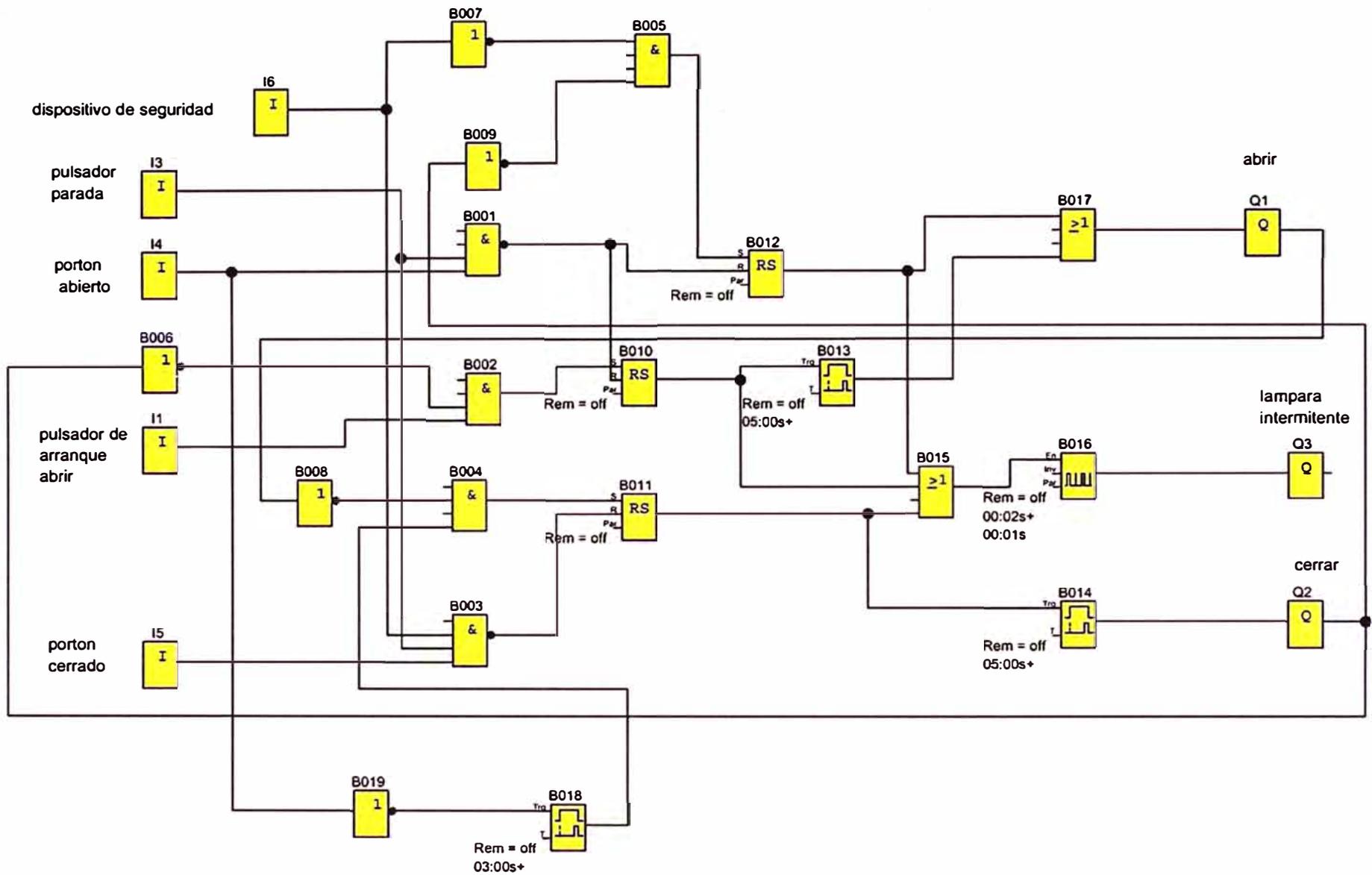


Figura 2.12 Diagrama de bloques del esquema implementado.

Parámetros de salida:

Q1: Accionamiento de motor para abrir puerta

Q2: Accionamiento de motor para cerrar puerta

Q3: Lámpara estroboscópica de señalización al momento de cerrar la puerta

El sensor de movimiento I1 al momento de detectar el bus en la posición ubicado en la puerta inmediatamente se abre la puerta se encenderá una lámpara de señalización, el tiempo que dispone el bus en el estacionamiento es de 10 seg luego de los 10 seg. el bus tiene que retirarse de la zona de parada y la puerta automáticamente procederá a cerrar encendiéndose también una lámpara de señalización, hasta que llegue otro bus y vuelva hacer el procedimiento ya descrito.

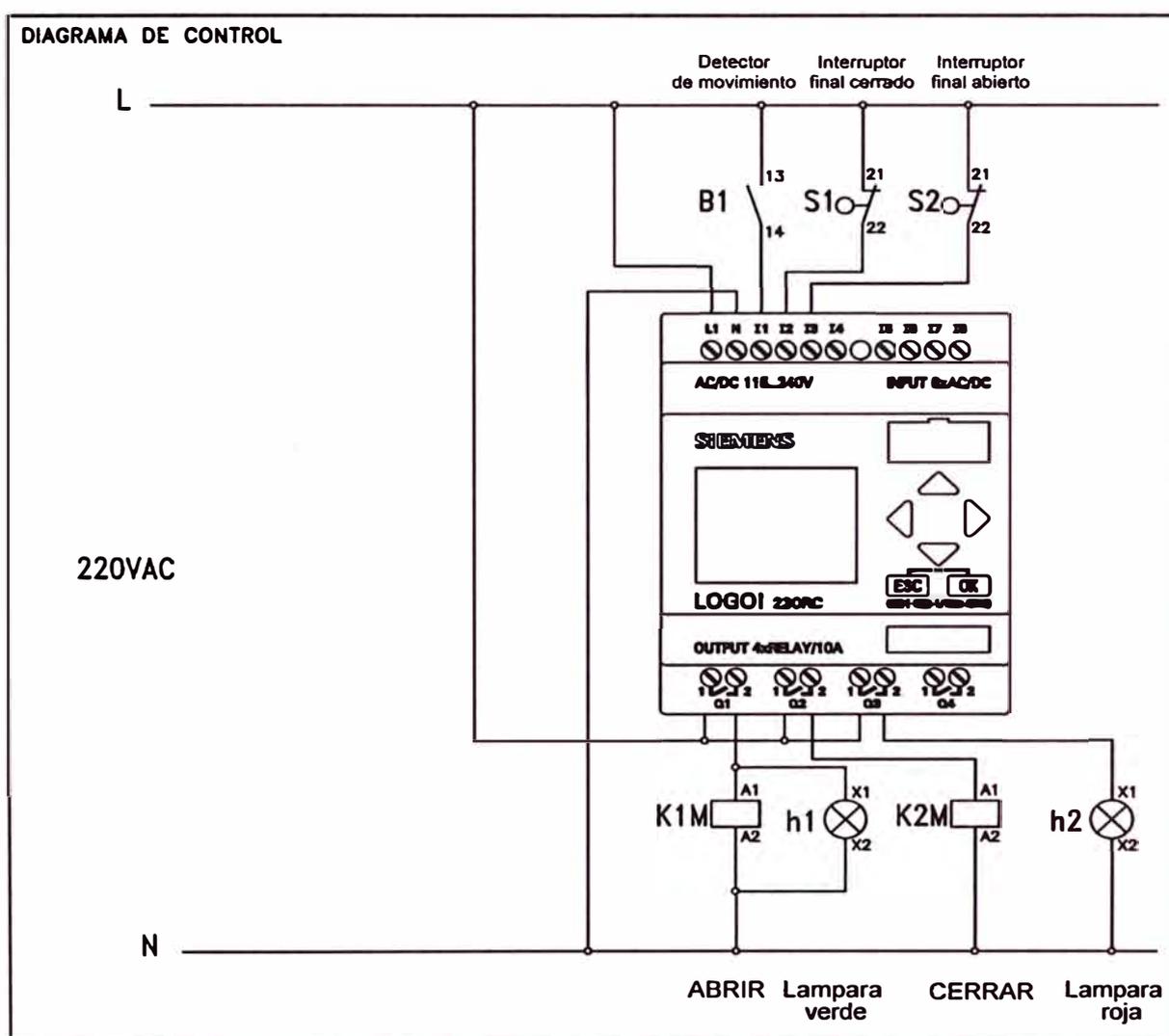


Figura 2.13 Diagrama de automatización de bloques de la propuesta.

2.3 Características de los Patios Norte y Sur.

Los Patios Norte y Sur, constituyen las estaciones de llenado de combustible: La estación Patio Sur, ubicada en Chorrillos, cuenta con tecnología de punta con equipos de compresión y despacho de alta capacidad para abastecer una flota de buses que cuentan

con una capacidad de almacenamiento de más de 300 m³.

Los surtidores pueden abastecer de combustible a un vehículo en sólo 5 minutos. Es la primera estación en Latinoamérica destinada a suministrar GNV a una flota de buses dedicados al transporte público de pasajeros.

Cuenta con sistemas de seguridad, que permiten detectar de manera automática fugas de gas y activar oportunamente los controles que mitiguen los riesgos de posibles de accidentes

Infraestructura:

La unidad de trasvase y de almacenamiento está compuesta por tres baterías de cilindros, cada una de 2.000 litros, y una con cilindros jumbo de 24.640 litros. Además, tiene capacidad para estacionar dos carretas de 7.300 m³ cada una. En cuanto al recinto de compresores, consta de tres unidades de compresión dobles de 2.730 M³/Hr cada una. Son equipos producidos por la empresa canadiense IMW (Industries manufactures complete CNG for vehicle and industrial applications). Con sistema de amortiguadores para disipar la vibración del piso.

Una característica que distingue a este complejo es su sentido ecológico, no sólo porque despacha un combustible menos contaminante sino porque además reutiliza más del 80% del agua de lavado. El diseño de las estructuras del gasocentro es antisísmico y tiene sistemas de respaldo que garantizan el abastecimiento de GNV en condiciones de emergencia con un grupo electrógeno de gran capacidad, que entraría a funcionar en caso exista un corte en el suministro de energía.

Asimismo, se ha previsto el suministro virtual de GNV, que se debe activar en el caso de un corte del suministro convencional por ductos, garantizando de esta manera el normal funcionamiento del sistema.

Servicios:

La estación moderna posee además una zona ecológica de lavado, talleres y amplios estacionamientos con capacidad para 102 buses articulados y 59 buses alimentadores. Los buses que tienen que esperar para retomar la ruta pueden lavar la carrocería con un equipo automático capaz de efectuar la limpieza externa del bus en pocos segundos y con la ventaja que recicla más del 80% del agua utilizada. La conservación del agua y el uso de un combustible menos contaminante es una muestra del compromiso en la conservación del medio ambiente. Cuenta además con modernos talleres compuestos por seis zanjas de inspección, almacenes de repuesto y zona de reparaciones menores.

Otras instalaciones importantes del Patio Sur corresponden a las áreas administrativas, que incluyen comedores, cocina, vestuarios, auditorio, aulas de capacitación, oficinas para asistencia social y tópico de primeros auxilios.

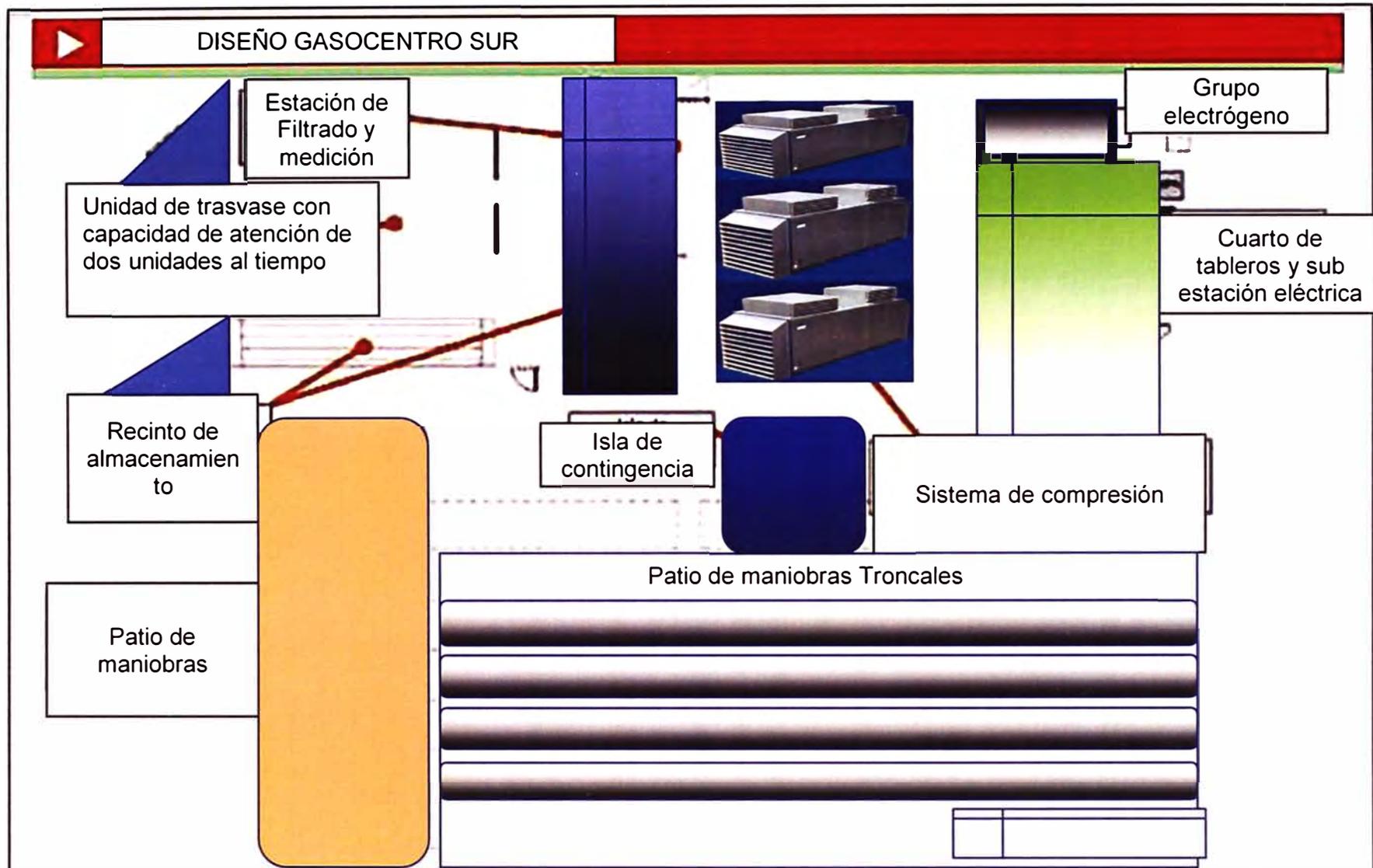


Figura 2.14 Esquema de Diseño de Patio Sur: infraestructura y Servicios al BRT.

CAPÍTULO III SUBSISTEMAS ELECTRÓNICOS

Este capítulo se enfoca en explicar los diferentes subsistemas electrónicos para una mejor ilustración del COSAC I. Los subsistemas a describir son los siguientes:

- Llenado automatizado de combustible en los patios
- Sistema de video vigilancia
- Sistema de semaforización
- Subsistema de recaudo
- Sistema automatizado de embarque y desembarque en las estaciones

3.1 Llenado automatizado de combustible en los patios

El gas natural se abastece por red de ductos al Gasocentro, a una presión de 10 a 19 bares (Figura 3.1). Luego el gas (a una presión de 10 bares aproximadamente), es aspirado por el sistema de compresión (compresores) para que este sea comprimido a hasta una presión de 250 bares (3675 psi). Ver Figura 3.2.

El gas a 250 bares es almacenado en cilindros de almacenamiento, especialmente diseñados para soportar esa alta presión. Almacenamiento del Gasocentro (Figura 3.3).

El gas del almacenamiento del Gasocentro se desplaza hacia los surtidores, en el cual se le reduce la presión de 250 a 200 bares (Figura 3.4).



Figura 3.1 Red de Ductos del Gasocentro de Patios Norte y Sur.

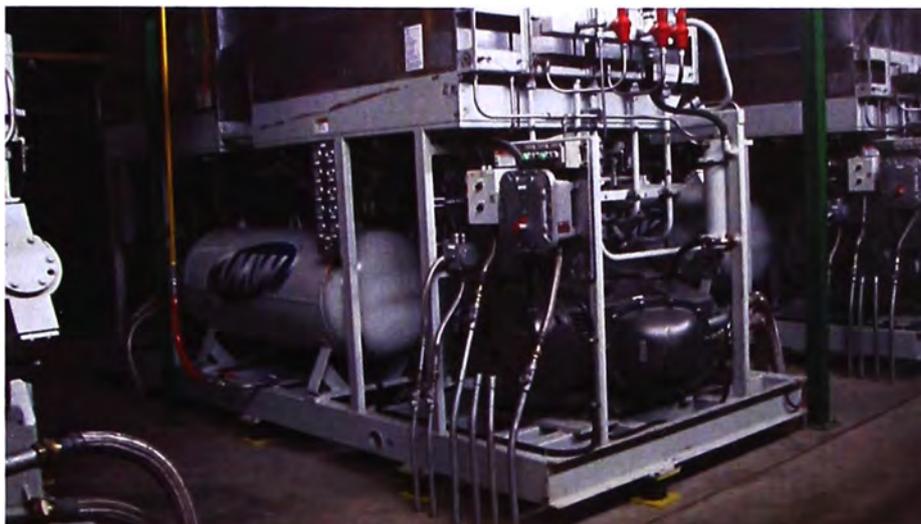


Figura 3.2 Compresor a 250 bares del Gasocentro de Patio Sur.



Figura 3.3 Cilindros del Bus del BRT en Patios.



Figura 3.4 Llenado de combustible al Bus del BRT en Patios.

Posteriormente los buses se ubican en los carriles de carga, donde se ubican los

surtidores de GNV. Se conecta la manguera del surtidor con la válvula de carga de los cilindros de almacenamiento del bus. Luego se conecta el chip de control del bus con el lector electrónico del surtidor, para que verifique si el bus está autorizado para ser abastecido. Si es positivo, el sistema permite que el surtidor abastezca desde almacenamiento del gasocentro hacia los cilindros del bus (Figura 3.4).

El GNV, se carga en el bus, hasta que el manómetro de los cilindros del bus llegue a marcar una presión de 200 bares, en esta presión, automáticamente el llenado se detiene, según lo programado en un tablero maestro.

Se debe entender, que el gas fluye de mayor a menor presión es por ello; que para que un bus pueda ser abastecido de GNV, siempre debe tener sus cilindros de almacenamiento a una presión menor de 200 bares. Debido a que la presión de llenado es de 200 bares, la misma que está disponible a la salida de los surtidores.

3.2 Sistema de Video vigilancia

Se basa en la tecnología Video IP (Figura 3.5): también conocido como Video Over IP. Con ello se captura, comprime y convierte las secuencias de imágenes en movimiento (video) en un flujo de datos que puede ser transmitido por redes de fibra óptica. La información es accedida en el centro de video vigilancia por medio de computadores convencionales con hardware y software adquirido (a SICE) para descomprimir datos, visualizándolos en tiempo real que a su vez generan acciones automáticas de grabación de eventos como respuesta a diferentes eventos pre-definidos o a la orden de un supervisor de operadores de video vigilancia.

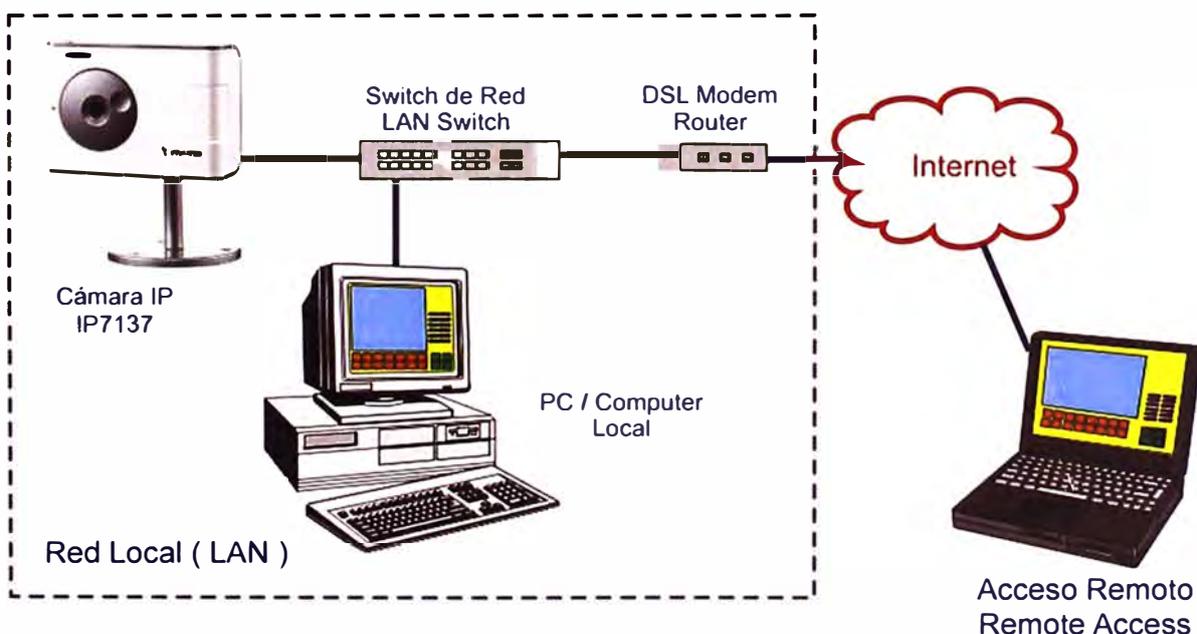


Figura 3.5 Sistema de video vigilancia.

Los elementos que componen un Sistema de Vigilancia IP son (Figura 3.6)

-Las Cámaras IP / IP Cámaras

- Servidores de Video / IP Video Servers
- Decodificadores de Video IP / IP Video Decoders
- Grabadores Digitales de Red / Network Video Recorders (NVR)
- Software Inteligente para Centrales de Monitoreo

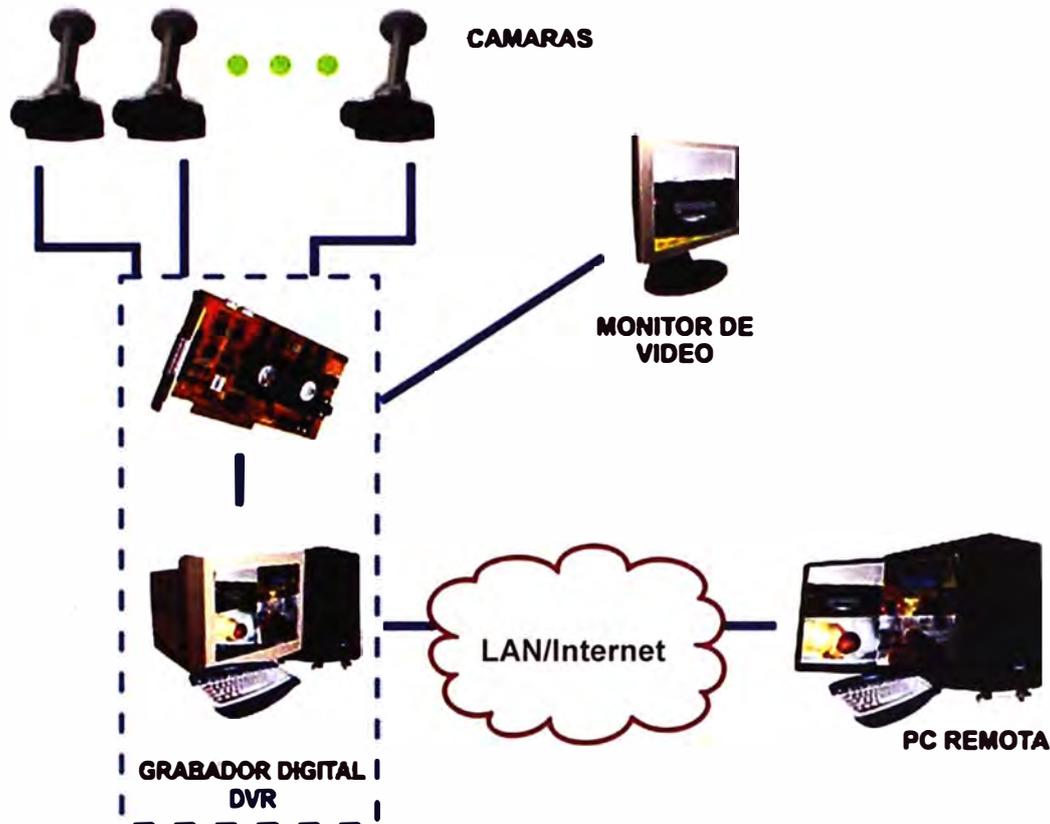


Figura 3.6 Elementos de un Sistema de video vigilancia.

A diferencia de los sistemas de vídeo analógicos convencionales, la Vigilancia IP no requiere de un cableado punto a punto por cada cámara pues las redes de datos que son su medio de transporte, llevan el video, el audio y las señales de control a través de una estructura nódulo-modular, no solo distinta, sino también más eficiente, conveniente y versátil para las instalaciones y futuras expansiones.

Cabe resaltar que se disponen de 364 cámaras de Sistemas de Video vigilancia de Tráfico en las Estaciones..

Los sistemas IP son inalámbricos en algunas estaciones, así como incorporan funciones de "inteligencia" como reconocimiento de rostro, detección de objetos abandonados, Lectura de matrícula de autos, y muchas más que son de alto valor en cualquier aplicación.

3.2.1 Características funcionales

Desde el centro de control se pueden monitorear todas las estaciones. Esta aplicación es muy importante ya que no solo se puede ver el video "en vivo" de cualquier cámara instalada en cualquier Estación, sino que se puede grabar este video, buscar información

grabada con anterioridad, hacer respaldos, etc. Así, ante un eventual incidente, si los implicados deterioran el equipo en que grababa localmente se puede recurrir a información almacenada en la Estación General de Monitoreo o detectar el evento en vivo y disuadir verbalmente desde la estación remota a que prosigan pues están siendo observados y grabados, mientras se envía personal de refuerzo a la Estación afectada. También para la Vigilancia Urbana en áreas turísticas como el centro histórico.

El propósito principal del presente Sistema de Video Vigilancia es monitorear los puntos de interés de Protransporte, distribuidos en las distintas estaciones que conforman el corredor vial del COSAC I, de forma que cualquier incidente que se produzca pueda ser visualizado inmediatamente y registrado por el sistema.

El sistema permite grabar diversas situaciones por un periodo de 30 días, de tal forma que sea posible hacer un análisis posterior de los incidentes. Entre las diversas funcionalidades del sistema, se tiene la capacidad de permitir que ante la aparición de alguna alarma o evento determinado en el sistema se realice el pre-posicionamiento automático de las cámaras móviles, se realice análisis de contenido de video y capacidad de ocultar aquellas zonas (del campo de visión de la cámara) que por motivos de privacidad no deban ser grabadas.

Las imágenes de las cámaras remotas hacia el Centro de Control llegan a través de la Fibra Óptica perteneciente a Protransporte, cuyo tendido se extiende por todo el corredor vial del COSAC I.

Entre los criterios de desafío de la solución se pueden destacar los siguientes:

Equipamiento: Los equipos instalados están dimensionados por la cantidad de áreas de vigilancia. Además cumplen con los estándares de seguridad.

Modularidad: El sistema permite crecer modularmente. Este crecimiento no será limitado por otros sistemas.

Operación: Dado que este sistema opera las 24 horas del día durante todos los días de la semana y del año, se ha diseñado en base a un sistema de misión crítica por su carácter eminente de seguridad.

Exclusividad: El sistema de seguridad es monitoreado y controlado adecuadamente, para ello se tienen equipos que son utilizados a exclusividad del sistema.

Las principales características técnicas del Sistema de Video Vigilancia son:

Visualización de imagen en vivo a tiempo real (4CIF @ 30 fps)

Tiempo de grabación de 30 días, con tamaño de imagen a 4CIF @ 30 fps en H.264.

Escalabilidad del sistema para incorporar nuevas cámaras.

El monitoreo se realiza en nueve (09) estaciones de trabajo, desde las cuales se realizara el patrullaje de las cámaras, se puede acceder a dichas imágenes de manera

inmediata, o también se podrá realizar inspección sobre las grabaciones de las mismas. El monitoreo en el CCM está distribuido en 3 zonas (Zona Norte, Zona Sur y Zona Centro), cada zona cuenta con 3 operadores.

Asimismo el Patio Norte, Patio Sur y Estación Central cuenta cada uno con un sub-centro de operación y visualización local. El monitoreo se realiza a partir de la información generada por las cámaras locales de cada sub-centro y/o la información almacenada en el CCM referente a periodos anteriores.

En el CCM se encuentra un supervisor que administra y gestiona la totalidad del sistema de Video Vigilancia mediante una estación de monitoreo provista de doble monitor Wide-screen LCD de 23".

Cada estación de trabajo cuenta con dos (2) monitores de escritorio de 23", y se dispone de un arreglo de monitores LCD de 42" de borde ultra delgado tipo video wall, con el cual se puede visualizar un rango mínimo de nueve cámaras por cada monitor; para una mejor y correcta visualización.

De igual forma en cada uno de los patios Norte, Sur y Centro, están instalados monitores de 42" para una mejor visualización de las imágenes provenientes de las cámaras instaladas específicamente en la respectiva zona.

Las cámaras fueron instaladas con las más estrictas recomendaciones de fábrica en los puntos determinados por Protransporte. Las cámaras usan de la energía eléctrica provista para cada punto en la determinada estación (con excepción de las cámaras domos que es vía hPoE).

El cableado de datos utilizados en la comunicación de la cámara de video vigilancia con el equipo de comunicaciones (Switch alojado en el gabinete de comunicaciones de cada estación) es UTP categoría 6, el cual este formado por 4 pares trenzados de calibre 24 AWG. El cable de comunicación fue instalado en forma continua en toda su extensión desde la cámara de CCTV hasta el equipo de comunicaciones. Además el cable UTP es utilizado para la alimentación de las Cámaras Domo IP, dado que estas funcionan mediante alimentación High Power over Ethernet (High PoE). La alimentación a través de Ethernet simplificó la instalación y el mantenimiento de las cámaras domo de CCTV ya que solo se usa un cable para transmitir la alimentación, así como el video y los controles de movimiento horizontal/vertical y zoom.

3.2.2 Detalles de las cámaras

Son tres las cámaras tipo (en total se usan 383):

Cámara de red Domo Axis Q6032-E:

Cámara de red Axis P1343

Cámara de red Axis P1343-E

Cámara de red Domo Axis Q6032-E: 67 cámaras:

Disponen de 700M óptico de 35x y aumento (zoom) digital de 12x. Debido a la función de autoseguimiento, detecta y sigue automáticamente los objetos en movimiento dentro de su campo de visión. El funcionamiento diurno y nocturno, el barrido progresivo y el alcance amplio y dinámico contribuyen a una excelente calidad de video de la cámara.

El formato de compresión H.264 garantiza que la calidad de imagen no se vea comprometida, al tiempo que supone un ahorro considerable en ancho de banda y almacenamiento.

Se pueden inclinar 20° por encima del horizonte para lograr un ángulo de inclinación ampliado de 220° vertical y 360° horizontal, lo que permite mejor visión, sobre todo en terrenos desnivelados.

Por otra parte, esta cámara IP nativa cuenta con un exclusivo control de temperatura, que no solo permite que la cámara funcione a -40 °C sino también que se activa a esa temperatura después de un fallo eléctrico. Adicionalmente funciona mediante alimentación High Power over Ethernet utilizando el midspan High PoE suministrado.

Cámara de red Axis P1343:

Se dispone de 10 cámaras Fijas para interiores a utilizar en el proyecto, marca AXIS, modelo P1343, IP, ideal para sistemas de vigilancia urbana y cuentan con una respuesta rápida y precisa de movimiento horizontal y vertical.

Disponen de un lente varifocal de 3-8mm, F1.4, con iris tipo DC. Debido a la función de detección de movimiento por video, detecta y emite una alarma al momento de detectar algún movimiento dentro de su campo de visión. El funcionamiento diurno y nocturno, el barrido progresivo y el alcance amplio y dinámico contribuyen a una excelente calidad de video de la cámara.

El formato de compresión H.264 garantiza que la calidad de imagen no se vea comprometida, al tiempo que supone un ahorro considerable en ancho de banda y almacenamiento.

Por otra parte, esta cámara IP nativa cuenta con un exclusivo control de temperatura, que no solo permite que la cámara funcione a -40 °C sino también que se activa a esa temperatura después de un fallo eléctrico. Adicionalmente funciona mediante alimentación Power over Ethernet utilizando el midspan PoE suministrado.

Cámara de red Axis P1343-E:

Se dispone de 228 cámaras Fijas para exteriores a utilizar en el proyecto, marca AXIS, modelo P1343-E, IP, ideal para sistemas de vigilancia urbana y cuentan con una respuesta rápida y precisa de movimiento horizontal y vertical.

Disponen de un lente varifocal de 3 - 8mm, F1.4, con iris tipo DC. Debido a la función

de detección de movimiento por video, detecta y emite una alarma al momento de detectar algún movimiento dentro de su campo de visión. El funcionamiento diurno y nocturno, el barrido progresivo y el alcance amplio y dinámico contribuyen a una excelente calidad de video de la cámara.

El formato de compresión H.264 garantiza que la calidad de imagen no se vea comprometida, al tiempo que supone un ahorro considerable en ancho de banda y almacenamiento.

Por otra parte, esta cámara IP nativa cuenta con un exclusivo control de temperatura, que no solo permite que la cámara funcione a -40 °C sino también que se activa a esa temperatura después de un fallo eléctrico. Adicionalmente funciona mediante alimentación High Power over Ethernet utilizando el midspan High PoE suministrado.

3.2.3 Plataforma de Administración

La plataforma de Administración es la encargada de controlar todo el sistema a nivel lógico. Se basa en un software de arquitectura abierta, el cual opera sobre Windows en Servidores de alto rendimiento, y capaz de establecer toda la comunicación a través de protocolo TCP/IP en una red Ethernet.

Una de las ventajas más favorables de esta aplicación es la flexibilidad que ésta posee. Es una plataforma "abierta y escalable", lo que significa que es capaz de trabajar con las marcas más importantes en la fabricación de codificadores de video (Encoders) y cámaras directamente IP; además de crecer ilimitadamente hoy en día hasta 50.000 cámaras dentro de un mismo sistema.

La plataforma de video de MILESTONE se ha desarrollado en una plataforma única en la administración de señales de video bajo protocolos TCP/IP Ethernet llamado XProtect. Se integra con la mayor cantidad de sistemas de Seguridad Electrónica a nivel de hardware y a nivel de software.

La arquitectura de XProtect se basa en un sistema "Cliente-Servidor", estableciendo la comunicación a través de una red Ethernet de alta velocidad. Dentro de la misma red coexisten Servidores, Clientes, Codificadores de Video, Decodificadores, Cámaras IP, entre otros, los cuales se pueden segmentar bajo protocolos normales de TCP/IP para conseguir un mejor rendimiento (soportar protocolos IPv4 e IPv6)

El sistema cuenta con la capacidad de grabación de pre-alarma de 30 segundos, además de las cámaras que también cuentan con esa aplicación, el software permite la capacidad de pre y post alarma.

La interfaz del usuario final es de fácil accesibilidad y manejo. Distribuido de manera tal que para el operador sea sencillo la operatividad y el accionar frente a situaciones de alarma. Adicional a ello, permite la integración con Video Wall existente en Protransporte,

para lo cual es posible poder desplegar las imágenes de video hacia dicho equipamiento.

La arquitectura modular permite una configuración detallada de todas sus funciones, permitiendo tener mapas de administración, integración de alarmas físicas que pueden relacionarse lógicamente con cualquier cámara del sistema, acceso a usuarios remotos, permisos y privilegios independientes para cada operador.

La escalabilidad y flexibilidad en el diseño de soluciones permite a XProtect poder establecer ciertos criterios de seguridad y protección del sistema.

Es una solución con estándares abiertos, interoperable, escalable y que soporta la integración de productos de diferentes fabricantes. Permite la integración con otras aplicaciones tales como control de accesos y análisis de video inteligente, para ello la plataforma de MILESTONE cuenta con el protocolo ONVIF y PSIA,

La plataforma cuenta con la capacidad de poder integrarse a dispositivos móviles, de tal manera poder visualizar las cámaras asociadas al sistema desde un Iphone, Ipad o Blackberry.

El software incluye dos (2) paquetes de instalación:

Servidor: Instalado en dos servidores (marca Dell, modelo Power Edge R310.) uno como respaldo (Configuración Fail Over), el requerimiento mínimo para el buen funcionamiento viene dado por la cantidad de cámaras que se desea administrar desde este computador. Esta aplicación posee interfaz gráfica de interacción con el usuario, puesto que se instala como servicios de Windows en segundo plano.

Cliente: Instalado en un PC con características de Estación de Trabajo. De esta instalación se desprende la aplicación Smart Client, que viene a ser la interfaz gráfica que obtiene el operador para su manejo.

3.2.4 Sistema de grabación y de visualización

La solución de grabación crea una base de datos y graba en los discos duros toda la información proveniente de los codificadores de video. Para ello se cuenta con 05 servidores que cuenta con alta disponibilidad, el cual se conectan las unidades de almacenamiento respectivas. Estos servidores son de la marca DELL, al igual que la unidad de grabación externa.

Cada servidor cuenta con un arreglo de discos de 28TB cada uno, correctamente dimensionado para el almacenamiento de las respectivas cámaras asociadas a dicho servidor. Este equipo tiene las características necesarias para un óptimo desempeño en base a los requerimientos propios del fabricante.

La solución de visualización funciona en el Centro de Control y Monitoreo requerido en el proyecto. Este cuenta con todo lo necesario para la administración y gestión global del proyecto. El equipamiento en las salas de control es:

Centro de Control y Monitoreo:

Consta de nueve (9) Estaciones de trabajo para Operadores Dell T3500 para CCIV. Cada Estación cuenta con 2 Monitores de 23 pulgadas marca Dell, modelo E231 1 H, así como también de 1 Teclado marca AXIS, modelo T831 1.

Una (1) estación de trabajo para Supervisor Dell T3500 para CCIV. Esta Estación cuenta con 2 monitores de 42 pulgadas marca PELCO, modelo PMCL542F; así como también de 1 teclado marca AXIS, modelo T831 1.

Una (1) estación de Supervisión en el Patio Norte, Estación Central y Estación Naranjal

Cada uno de estos recintos cuenta con lo siguiente:

Una (1) estación de trabajo para Supervisor Dell T3500 para CCIV. Esta Estación cuenta con 1 monitor de 42 pulgadas marca PELCO, modelo PMCL542F; así como también de 1 teclado marca AXIS, modelo T8311.

3.3 Sistema de semaforización

El tráfico en Lima, como en casi cualquier ciudad del mundo se ha convertido hoy en un problema de grandes dimensiones. La infraestructura vial de la ciudad es directamente proporcional al tamaño del parque automotor, por lo que cada vez que se inaugura un pueblo joven, una avenida, un puente o un túnel, se sabe que sus ciudadanos saturarán el sistema de cualquier forma. Por eso, asegurar que todas las ciudades cuentan con un sistema de transporte de mayoría de vehículos de tránsito público, como particulares (como en este caso) tendrán problemas de tráfico, no da lugar a controversias.

Cuando un área urbana contiene una gran densidad vehicular, disminuye las condiciones favorables de vida en general de sus ciudadanos, y se puede tornar en una ciudad contaminada. El tráfico, aumenta de manera alarmante el nivel de estrés de los conductores y peatones, y dispara los índices de contaminación, por ejemplo: Si una avenida sin intersecciones mueve n vehículos en un lapso de tiempo, la contaminación en promedio será proporcional a n . Pero si sobre dicha avenida se construye una intersección con semáforos, por la cual, cruzan igualmente n vehículos en el mismo tiempo, la contaminación en la zona no será proporcional a $2n$, sino mucho mayor, ya que detener los vehículos en los semáforos, implica mayor consumo de combustible, cada vez que se frena y se arranca nuevamente. Por eso, y por las demoras que se ocasionan, también considerarlos como los responsables de la mala circulación. En el sistema de transporte del COSAC I, se ha predispuesto el sistema de semaforización para dar preferencia al paso del material rodante del BRT.

Entonces hay que entender que hay diferentes modelos de tráfico vehicular, o flujo vehicular. Se puede afirmar que según las investigaciones, al carácter estocástico y

multivariable del tráfico vehicular, se han desarrollado modelos del flujo vehicular de todas las formas posibles e imaginables. A partir de allí, se ha determinado que el flujo puede tener dos enfoques: macroscópico y microscópico, y que en general todos los modelos deben ser regidos por las mismas variables fundamentales: *velocidad*, *densidad* y *flujo*, y por relaciones o ecuaciones entredichas variables, similares en su forma. Esto se presenta en la siguiente figura (3.7):

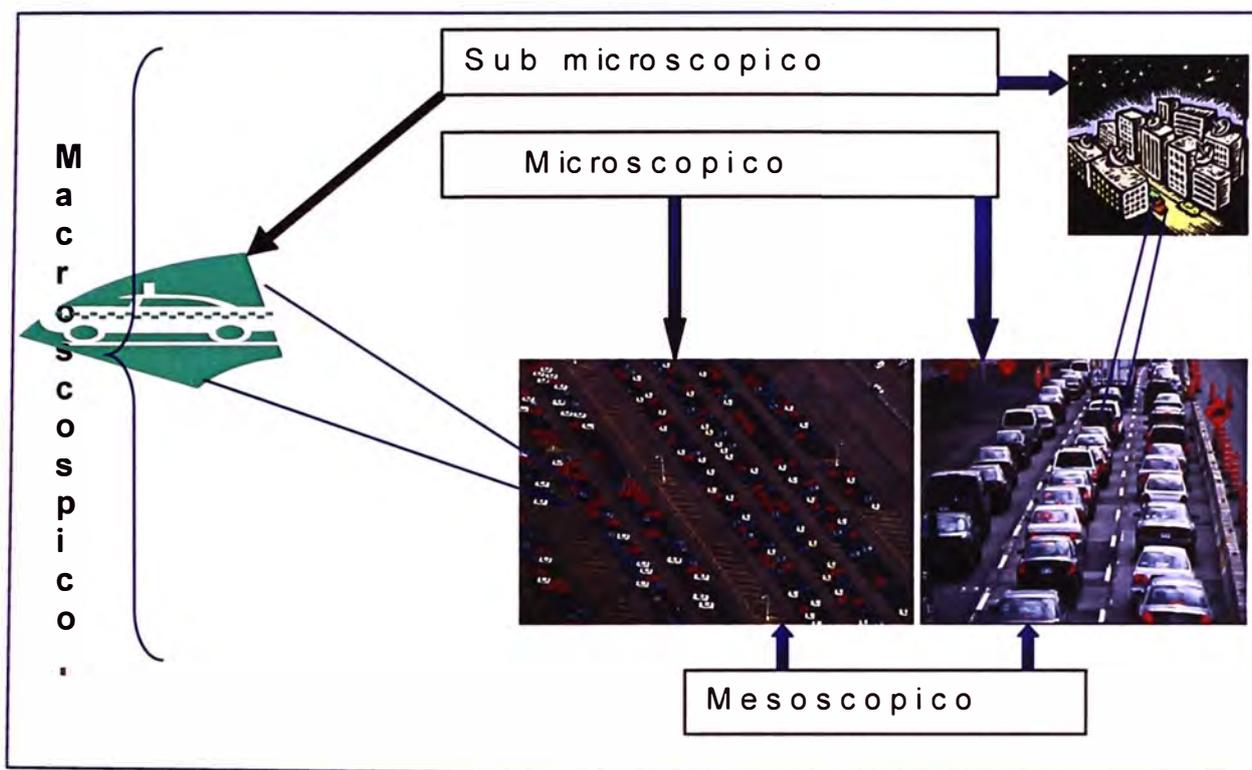


Figura 3.7 Descripción del grado de complejidad y profundidad de los modelos de tráfico.

-Modelos microscópicos: Los modelos microscópicos describen el comportamiento de un ser humano al volante de un automóvil cuando es influenciado por los diferentes estímulos y obstáculos típicos de una vía. Si se describe el comportamiento de cada vehículo, entonces podría simularse de manera casi perfecta el tráfico vehicular ya que todo lo que pase dentro del modelo sería predecible y modelable. Y son lo suficientemente complejos como para perder capacidad de simular o explicar correctamente el tráfico. Los principales modelos de este tipo son:

-Modelos de la General Motor: Son cinco (5) y se basan en el principio

(3.1)

La Respuesta está siempre representada por la aceleración o desaceleración del vehículo siguiente y el Estímulo por la velocidad relativa entre el vehículo precedente y el vehículo siguiente. La diferencia entre los 5 modelos está en cómo se representa la Sensibilidad.

- Primer modelo: Utiliza un valor constante de sensibilidad.
- Segundo Modelo: Ahora la Sensibilidad tiene uno de dos estados de acuerdo a la distancia entre los vehículos. Para una corta distancia entre vehículos, a_1 será usado. Para una distancia larga entre vehículos, a_2 será usado, con $a_1 > a_2$. Esto significa que los conductores son más sensibles a distancias cortas con respecto al vehículo siguiente que a mayores distancias.
- Tercer Modelo: Toma en cuenta la distancia de separación entre los dos vehículos. Para la sensibilidad se tiene un valor constante a_0 y la distancia de separación entre los vehículos es incluida para reflejar cómo el valor de la sensibilidad se incrementa cuando los vehículos están cerca y cómo disminuye cuando la distancia de separación se empieza a hacerse cada vez más grande.
- Cuarto Modelo: Incorpora la velocidad del vehículo siguiente. Si la velocidad del tráfico aumenta, el conductor del vehículo siguiente va a estar más sensible a la velocidad relativa entre él y el vehículo delantero.
- Quinto Modelo: Este modelo puede representar el comportamiento del flujo del tráfico asumiendo que todos los conductores tienen el mismo comportamiento y que todos los vehículos tienen las mismas características.
- Modelo de conservación vehicular: Especialmente diseñado, para simulación de flujo en autopistas de varios carriles. Se basa en la ecuación de conservación vehicular, enunciada a partir la siguiente figura (3.8):

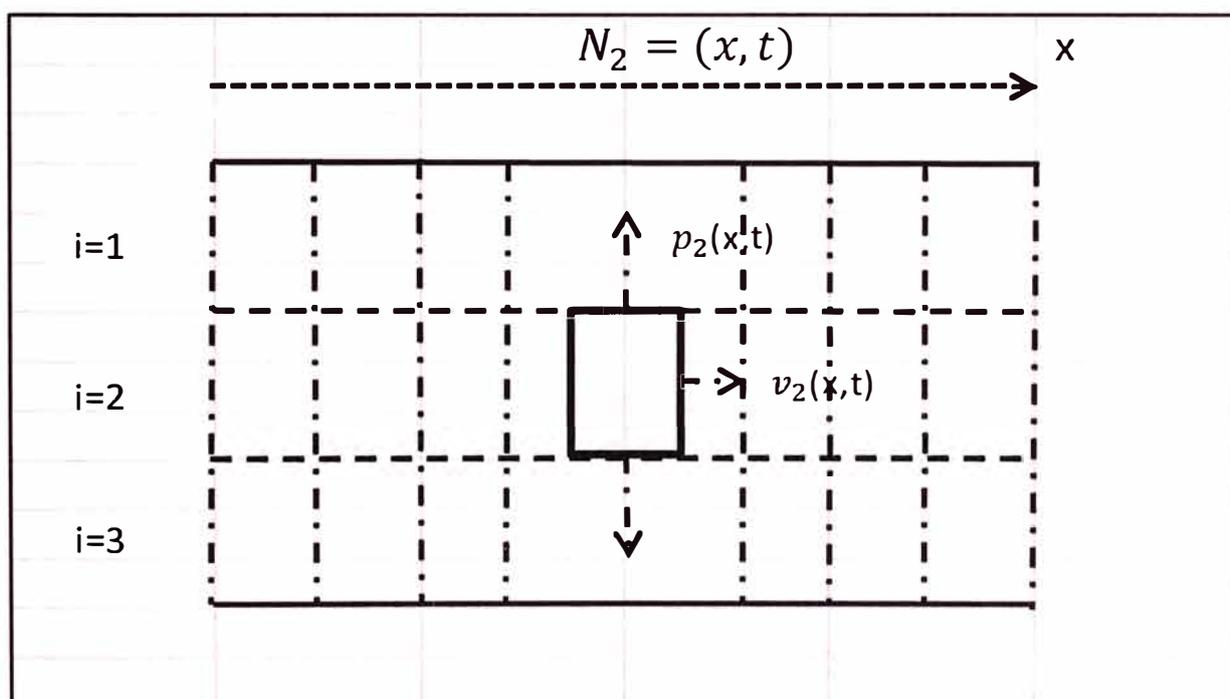


Figura 3.8 Modelo de conservación vehicular de tráfico en autopista con carriles discretos o exclusivos.

-Ecuación de conservación vehicular:

$$\frac{\partial N_{(x,t)}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \{ V_{(x,t)} N_{(x,t)} + P_{(x,t)} N_{(x,t)} \} \quad (3.2)$$

Donde:

x : Posición $N(x,t)$: Densidad

t : Tiempo $V(x,t)$: Velocidad

$P(x,t)$: Razón de cambio de carril;

-Modelos Macroscópicos: Los modelos macroscópicos no tienen en cuenta características específicas de los vehículos, y generalmente promedian todos los datos o variables cuyo comportamiento estadístico permite promediar. Buscan establecer análisis sobre volúmenes de tráfico, y dar respuestas bien aproximadas sobre los congestionamientos, las demoras, los tiempos promedio en el sistema.

Se ha abordado también el tráfico vehicular de forma macroscópica, como un problema de asignación dinámica de flujos, usando técnicas de optimización y control óptimo. Requiriendo en la práctica un comportamiento ideal y obediente de los usuarios de las vías.

-Equilibrio del usuario: Basado en el principio que afirma que "los tiempos de viaje en todas las rutas realmente utilizadas, son menores o iguales que los que requeriría un usuario en cualquier ruta no utilizada". Por lo que, el sistema gobernado por este modelo, asigna entonces usuarios a las rutas hasta encontrar un equilibrio, de manera tal que para cada usuario, una vez todas las rutas estén asignadas, será imposible cambiar su ruta, sin incrementar el costo del viaje.

-El modelo de optimización del sistema: Es algo similar a la anterior, busca minimizar el tiempo total de viaje de toda la red (similar a este trabajo), pero es meramente teórico, pues implica que cada usuario debe respetar una ruta asignada (no necesariamente la mejor) por el sistema, de manera tal que la optimización se lleve a cabo.

-Modelo de Nagel-Schreckenberger: Este modelo es basado en la relación parabólica entre el flujo ϕ y densidad ρ . Esta relación que tiene a la velocidad como tercera variable, podríamos considerarla como la más importante en cualquier análisis de tráfico vehicular, y es : $\phi = \rho v$, que sería la ecuación (3.3)

Pero dado que la velocidad es un parámetro que puede variar según muchos aspectos en una vía, los modelos de tráfico pueden determinar muchas familias de curvas según sea el caso y las leyes que lo rijan.

-Modelo lineal de B. D. Greenshields: Este es uno de los modelos más cercanos al grupo de reglas utilizadas en el simulador, y consiste en la linealización de un conjunto de datos obtenido por el investigador (encuestas colectivas), donde se establecen las diferentes

relaciones parabólicas, no sólo entre la densidad y el flujo, sino también entre la velocidad y el flujo, y una relación lineal decreciente entre la velocidad y la densidad; hecho que puede ser confirmado intuitivamente, cuando pensamos que un grupo de vehículos que viaja a mayor velocidad, viaja más disperso, es decir, los vehículos conservan mayor distancia entre ellos ó, en otras palabras, forman un flujo menos denso.

-La ecuación fundamental del modelo es:

$$v_e = v_l \cdot \left(\frac{v_l}{k_c} \right) k \quad (3.4)$$

Donde v_e : Es la velocidad media espacial (km/h)

k : Es la densidad (veh/km/carril)

v_l : Velocidad media espacial a flujo libre (km/h)

k_c : Densidad de congestionamiento según la capacidad de la vía(veh/km/carril).

-Modelo logarítmico de H. Greenberg: Este es uno de los modelos que apoyado en la analogía del flujo vehicular con el flujo hidrodinámico, tuvo más énfasis en la ingeniería y el estudio del tráfico del Cosac I. De la combinación y discretización de las ecuaciones de movimiento y continuidad de fluidos compresibles, aplicadas al flujo vehicular, se obtienen las principales ecuaciones. Tiene gran nivel de validez especialmente en flujos congestionados, pero que falla en condiciones de flujo libre.

Las ecuaciones son:

$$\bar{v}_e = v_m \ln \left(\frac{k_c}{k} \right) \quad (3.5)$$

v_m : Es la velocidad a flujo máximo sobre la capacidad de la vía.

q : Es el flujo.

Modelo exponencial de R. T. Underwood: La formulación de este modelo buscaba representar más fielmente el comportamiento del flujo libre. Es más usado para modelar autopistas y avenidas ó carreteras urbanas, donde se presenta más éste fenómeno. Tiene mucha aceptación en condiciones de flujos no congestionados. Siguiendo con la notación de los modelos anteriores, sus ecuaciones fundamentales son:

$$\bar{v}_e = v_l e^{-\frac{k}{k_m}} \quad (3.6)$$

$$q = v_l k e^{-\frac{k}{k_m}} \quad (3.7)$$

-Familia de modelos de L. A. Pipes y P. K. Munjal: Esta familia de modelos de menor trascendencia, sujeta a n como un número real mayor que 0, muestra como cuando $n=1$ se obtiene el modelo de Greenshields.

$$\bar{v}_e = v_l \left[1 - \frac{k}{k_c} \right]^n \quad (3.8)$$

Probabilidad del flujo vehicular: Todo sistema de simulación o modelado de flujo vehicular debe presentar de alguna forma la generación de vehículos, o el ingreso de éstos al modelo. Es evidente que el comportamiento del flujo en algún punto es imposible de describir determinísticamente, pero igualmente es fácil advertir que el tráfico puede ser modelado estadísticamente con cierta precisión. Para predecir los vehículos que se espera que pasen por una vía en un intervalo de tiempo, es necesario hacer una recolección preliminar de datos, por medio de aforos vehiculares.

Los aforos, son los conteos de los tipos de vehículos que pasan por un lugar en varios períodos de tiempo, que generalmente son cada cuarto de hora a lo largo de las horas de mayor congestión.

Una vez se tienen dichos aforos se debe observar, que los datos, como cualquier conjunto de datos numéricos en un experimento, tienen una distribución de probabilidad estadística, y es la que ayuda a modelar y simular el tráfico correctamente.

Existen tres condiciones fundamentales en el análisis que determina cuál es la función de densidad de probabilidad que más se acerca a describir el comportamiento disperso y aleatorio del flujo.

-Un conductor sólo condiciona la posición de su vehículo respecto a otro cuando éstos están realmente cerca.

-Para cualquier flujo vehicular, la variación del número de vehículos que pasa por un punto respecto a otro punto, es independiente en un mismo intervalo de tiempo.

-Igualmente es independiente, el número de vehículos que pasa por el mismo punto en dos intervalos de tiempo.

Por las suposiciones anteriores, la distribución de probabilidad más aproximada es la distribución de Poisson. Por lo tanto, la probabilidad de que a un punto lleguen x vehículos en un intervalo de tiempo es:

$$p(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!} \quad (3.9)$$

Donde m : Es el número de vehículos esperado en el intervalo de tiempo t .

Por lo que, también se puede reemplazar m por: $m = qt$

Y así se ve mejor como la probabilidad de encontrar vehículos depende del tiempo y del flujo. Por eso, la probabilidad de no encontrar vehículos para un intervalo t dado, es decir $p(x)=0$ es:

$$p(x) = \frac{qt^0 e^{-qt}}{0!} = e^{-qt} \quad (3.10)$$

para $x \geq 0$

Es decir, la probabilidad de no encontrar carros decrece exponencialmente con el

crecimiento del flujo q y el tiempo t .

Teoría de colas: La teoría de colas es una de las herramientas usadas en el análisis de problemas de congestionamiento. Cualquier fenómeno de espera, en donde se presta un servicio, atiende las reglas y el modelo de la teoría de colas. En los modelos de tráfico vehicular, los policías acostados, las reducciones de calzadas, las casetas de peajes y los semáforos, pueden ser perfectamente tratados como una cola.

La notación usada es:

λ : Representa la tasa de llegadas de vehículos a una estación de servicio.

μ : Representa la tasa media de servicio a la que se atienden los vehículos de la cola

La tasa de llegadas es también llamada demanda, así como la tasa de servicio es llamada capacidad.

La disciplina que rige una cola que simula cualquier fenómeno de tráfico vehicular, es la más común de la teoría de colas, y se enuncia como: "El primero que llega es el primero que sale."

La capacidad de un semáforo tiene, en el flujo de saturación su valor máximo, y será igual a μ siempre que sobre éste no se presente una cola. Es decir, si los vehículos llegan dispersos ó bajo flujo libre a la intersección con semáforo, $\lambda = \mu$; o en otras palabras, los vehículos son atendidos (salen) a la misma tasa conque llegan.

Tiempo para disipar una cola: Se puede entonces calcular, para un semáforo el tiempo que requiere para disipar una cola de una manera muy simple:

Se sabe que el servicio durante el tiempo de verde, debe igualar la demanda durante el tiempo de color rojo t_r , y el tiempo de color verde, es decir, durante todo el ciclo.

También se sabe que durante el tiempo de verde, habrá una tasa de servicio igual a la saturación mientras haya cola, es decir, en un tiempo t_d , tiempo de disipación de la cola, y en el resto del tiempo de color verde t_x la tasa de servicio es igual a la tasa de llegada: $\lambda = \mu$. Por lo tanto, un ciclo de semáforo C , se puede expresar como:

$$C = t_r + t_v = t_r + (t_d + t_x) \quad (3.11)$$

Y para disipar la cola, se debe igualar la demanda mientras el tiempo de color rojo y el de saturación, con la capacidad durante el tiempo de disipación t_d , así:

$$\lambda(t_r + t_d) = \mu t_d \quad \text{y} \quad \text{luego : } t_d = \frac{\lambda t_r}{\mu - \lambda} \quad (3.12)$$

El factor de utilización de una intersección: $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$; si se reemplaza queda:

$$t_d = \frac{t_r}{1 - \rho} \quad (3.13)$$

Se concluye entonces de las expresiones anteriores, que los cálculos de los tiempos óptimos para un semáforo dependen de la capacidad y la demanda.

Cuando se tienen sólo 1 entre 12 controladores de semáforos en 12 diferentes intersecciones funcionan en diferentes escenarios durante el día. Ya que durante el día se presentan muchos patrones de demanda en sus diferentes avenidas y calles de dichas intersecciones.

La terminología usada en el ámbito del COSAC I es la siguiente y algunas son derivadas de la terminología de ferrocarriles.

Via impedida: Cuando un semáforo o alguna otra señal está predispuesta impidiendo el paso del material rodante.

Via libre: Cuando no hay nada que se oponga al paso del material rodante.

Indicación de señal: Se refiere al encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo.

Ciclo o Longitud de ciclo: Tiempo necesario para que el semáforo efectúe una revolución completa o secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo.

Movimiento: Maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila.

Intervalo: Cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo.

Fase: Es parte del ciclo asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos.

Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, un solo movimiento peatonal, o una combinación de movimientos vehiculares y peatonales.

Secuencia de fases: Orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo.

Reparto: Porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las diversas fases.

Intervalo de cambio o despeje: Tiempo de exposición en el intervalo de color amarillo del semáforo que sigue al intervalo de color verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente.

Intervalo todo rojo: Exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a circular. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después del color amarillo de la fase que lo pierde, con el fin de dar un tiempo adicional que permita a los vehículos despejar la intersección antes de que los vehículos, que lo ganan, reciban verde. Se aplica sobre todo en aquellas intersecciones que sean excesivamente anchas. También puede ser utilizado para crear una fase exclusiva para peatones.

Intervalo de cambio de fase: Intervalo que puede consistir solamente en un intervalo

de cambio amarillo o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo.

El intervalo de cambio de fase, tiene como función principal alertar al usuario de un cambio en la asignación del derecho al uso de la intersección. Se deberá considerar el tiempo de percepción-reacción del conductor, la deceleración y finalmente el tiempo necesario de despeje de la intersección.

Para obtener un mínimo de demoras, cada fase debe incluir el menor número de movimientos simultáneos. Así se logra admitir un mayor volumen de vehículos en la intersección.

El sistema de semaforización del COSAC I, consiste en un Sistema Centralizado para 72 intersecciones, ubicadas a lo largo del corredor de transporte de alta capacidad. Incluye: el suministro, instalaciones y mantenimiento del Mobiliario Semafórico en las 72 intersecciones definidas por la municipalidad, son dispositivos formados por elementos y equipos, de última tecnología.

Los equipos de control (central y local) asociados al sistema semafórico, están en capacidad de soportar un esquema de expansión futura, de acuerdo a las necesidades que se proyecten para el COSAC I.

La tecnología que se ha implementado está garantizada para que no presente ningún tipo de dependencia asociada a una marca o proveedor de manera exclusiva, tanto en los equipos de manejo central como en los equipos de control local en las intersecciones.

La conformación geométrica de las intersecciones, ha sido previamente definida con base en los estudios de ingeniería de tránsito previos. Dicha conformación geométrica se refiere principalmente al número de carriles y secciones viales.

El Sistema de Semaforización del COSAC I, en su concepción genérica, contempla los siguientes aspectos:

Equipamiento y configuración general del Centro de Control donde reside el Sistema Central.

Suministro e instalación del Sistema de Comunicación, a través de fibra óptica, que permite la interconexión entre la central de mando y los equipos de control local en las intersecciones.

Suministro e instalación de los equipos de Control Local, de manera tal que permita un esquema de manejo donde cada uno de los equipos de control de tránsito está conectado en forma directa al Centro de Control, sin depender en su gestión de la intervención de otro Controlador, definiendo su capacidad de operar bajo dos esquemas de programación: con "tiempos fijos" (planes de coordinación preestablecidos activados en función de la hora y el día de la semana), y bajo "actuación del tránsito" (traffic responsive) el cual implementa los diversos planes de coordinación semafórica de

acuerdo al flujo vehicular y la dirección del tráfico. El Protocolo de Comunicaciones asociado al sistema es de tipo "abierto" NTCIP, para evitar la dependencia de un proveedor o una marca específica.

Suministro e instalación de un sub-sistema de detección vehicular, a partir de imágenes de video, que permite establecer programas de señales semafóricas que otorguen prioridad de circulación al tránsito del corredor segregado.

Suministro e instalación de un sub-sistema de Lazos Inductivos (espiras estratégicas) para la detección vehicular en algunas intersecciones, a fin de permitir la modificación y reprogramación de los ciclos semafóricos cuando se requiera.

El Sistema de Semaforización brinda la facilidad técnica para operar las intersecciones semaforizadas que se ubican sobre el COSAC I, las cuales se distribuyen físicamente en las siguientes tres diferentes zonas geográficas:

Zona Norte: a lo largo de las avenidas Túpac Amaru y Caquetá (Corredor Norte).

Zona Centro: en el centro de Lima, formando un circuito con las avenidas Alfonso Ugarte, Av. España, Emancipación, Jr. Cuzco, Jr. Lampa y Paseo de los Héroes Navales (Corredor Centro).

Zona Sur: a través de las avenidas República de Panamá, Bolognesi, Escuela Militar, Fernando Terán, Prolongación Paseo de la República y Av. Huaylas. (Corredor Sur y Ampliación Sur). En la Zona Centro y Zona Sur, existe un tramo de aproximadamente 9.1 kilómetros, a lo largo de los cuales discurre la Vía Expresa Paseo de la República, en la cual no existen intersecciones semaforizadas, pero si hay 12 Estaciones o paradas.

El diseño eléctrico del sistema está realizado en forma subterránea mediante una ductería canalizada a través de las cajas de paso. Los ductos tienen diámetros entre 2" y 3". En estos ductos se instalan los cables eléctricos y la Fibra Óptica.

Los ductos están formados por cables de transmisión eléctrica de 4x14 AWG y 3x14 AWG con aislamiento para 600 voltios, mediante la cual se transmite la potencia eléctrica desde el equipo de control hasta los semáforos. El sistema de interconexión para la comunicación, se ha realizado por medio de Fibra Óptica.

Los equipos de control de tráfico instalados son los controles IQ ATC-1000, fabricados por la firma holandesa PEEK TRAFFIC, los cuales cuentan con la capacidad de operar 16 fases semafóricas expandibles a 32.

3.3.1 Control Automatizado Semáforos

Existe el sistema centralizado de semaforización, que cumple con las siguientes características generales:

El Sistema de Semaforización es totalmente de Mando Centralizado, sustentado en una arquitectura de tipo Absoluto, es decir, donde cada uno de los equipos de control de

tránsito, se conecta en forma directa al Computador Central.

El Protocolo de Comunicación se rige bajo la norma de NTCIP 9001 (National Transportation Communications for ITS Protocol).

El sistema de interconexión se realiza por medio de Fibra Óptica de 24 hilos (fibras): 8 para toda la información específica del Sistema, y las 16 restantes, para realizar ampliaciones futuras. Esta fibra es "single-mode".

Una red de comunicaciones privada con dedicación exclusiva al sistema, de modo que se asegure la disponibilidad permanente de las líneas de comunicación.

Software Central y de Gestión del Tráfico denominado "IQ CENTRAL", desarrollado por la firma PEEK TRAFFIC, el cual tiene la particularidad de operar con algoritmos automáticos de respuesta al tránsito, además cuenta con la capacidad de interactuar con Controladores Esclavos o Locales de más de 5 fabricantes diferentes, utilizando el Protocolo de Comunicación de NTCIP 9001.

El Sistema de semaforización realiza aplicaciones de Manejo y Administración del Tráfico mediante una red de computadores, los cuales operan con programas especializados navegables en un ambiente amigable e intuitivo para facilitar su interacción por parte de los operarios del sistema. Es, también de Control Centralizado es del tipo Absoluto, es decir, cada uno de los equipos de control de tránsito se conecta en forma directa al Controlador Central.

El sistema está dividido inicialmente en 4 zonas, de acuerdo con la distribución de los corredores viales asociados a la operación del COSAC I, dentro de las cuales se cuenta con equipos de Control local en las intersecciones, interconectados al Centro de Control, de la siguiente manera:

Norte: 20 Controladores Esclavos;

Centro: 27 Controladores Esclavos;

Sur: 19 Controladores Esclavos

Ampliación Sur: 6 Controladores Esclavos.

El esquema NTCIP permite que las ampliaciones que se requieran (en el corto, mediano o largo plazo), se puedan realizar con cualquier otro dispositivo que cumpla NTCIP. Situación que también asegura de que los equipos propuestos no llegarán a ser obsoletos prematuramente. El Software "IQ CENTRAL", garantiza tres niveles principales de regulación; nivel controlador, nivel Centro de Control, y nivel auto adaptivo. En caso de alguna falla, habrá un "fallback" automático hasta el nivel controlador. En caso de falla de un controlador, no se debe ver afectado el Sistema. Desde el Centro de Control, se puede visualizar y controlar en tiempo real todo el sistema.

El Centro de Control dispone de los siguientes elementos:

- Computadores Centrales.
- Sistema Central con Software de Gestión de Tráfico "IQ CENTRAL".
- Sistema de control de ondas de Tráfico.
- Periféricos (equipos de impresión, etc.).
- Sistema de Comunicaciones parte operativa.
- Sistema de Proyección o Panel de Cobertura del Sistema
- Sistema de Alimentación Ininterrumpible de Energía Eléctrica (UPS).
- Sistema de Aire Acondicionado.
- Mobiliario que sea necesario para que los componentes anteriormente mencionados puedan ser instalados y que permanezcan en el Centro de Control.
- Sistema Comunicaciones.

El Sistema de gestión de tráfico IQ CENTRAL con respuesta al tránsito, es capaz de realizar el soporte y operación para la ejecución de múltiples tareas. Este software permite que mediante el despliegue de gráficas, esquemas, tablas de operación y planes de señales, el usuario interactúe con el Sistema. De esta manera se dispone de las herramientas necesarias para establecer estrategias y planes especiales de control de tráfico de la red semaforizada.

3.3.2 Simulación de control de sistema de semáforos en tráfico en Matlab

Se desarrolló un pequeño aplicativo para simular el control del sistema de semáforos en tráfico, haciendo uso del Matlab. Con este aplicativo se capacita a los nuevos operadores de control de flota para comprender los alcances y prestaciones del sistema automatizado de semaforización del Cosac I.

En la Figura 3.9 muestra las fases de los semáforos establecidos para el COSAC. Son La Fase 1 corresponde a la vía troncal y la Fase 2 a la vía transversal. Se explica a continuación (el diagrama de tiempos es referencial y varía de acuerdo a la demanda (hora pico u hora valle):

En la fase 1 se puede ver que la luz de color verde o vía libre tiene una duración de 22 segundos luego de lo cual se activa la luz de color amarillo (precaución) por un periodo de 3 segundos para luego cambiar a color rojo (vía impedida), por otro lado, la Fase dos permanece en color rojo un segundo después de finalizada la luz de color amarillo de la fase 1 para prevenir accidentes y luego pasar a luz de color verde por 19 segundos y a amarillo por tres segundos, para seguidamente ir a color rojo, repitiéndose el esquema de un segundo en color rojo ambas fases. El ciclo de 50 segundos luego se repite.

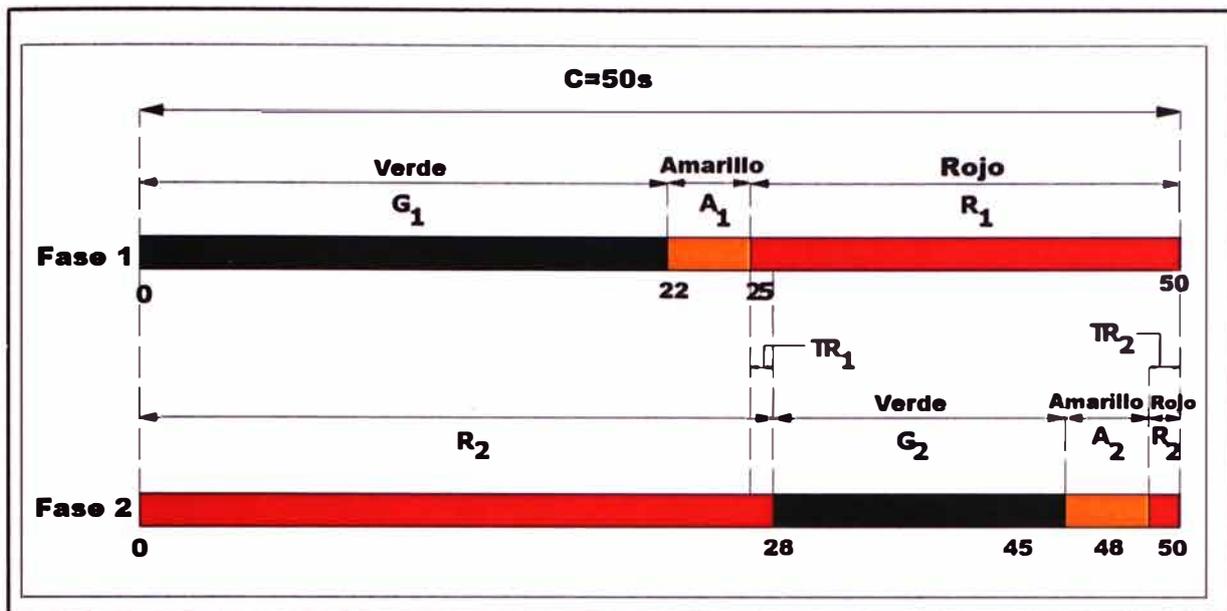


Figura 3.9 Fases de los semáforos del programa Matlab.

La Figura 3.10 corresponde a la simulación implementada:

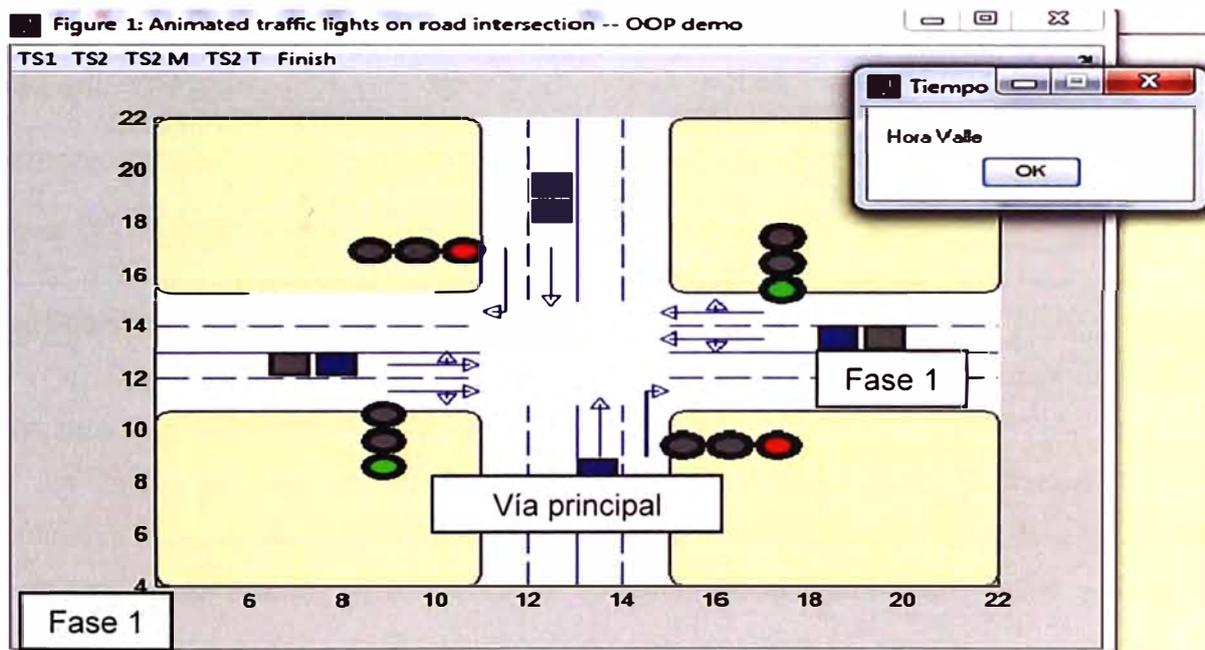


Figura 3.10 Pantalla del Programa en Matlab.

A continuación se muestra el código desarrollado tomando en consideración la hora pico y la hora valle:

```
clear,close,
%X=[14.9,10.3,8.5,17]; Y=[6.5,16.5,8.2,15];
X=[8.5,8.2,17,14.9,7.5,12.1,18.2,13.1]; Y=[8.2,16.5,15,9,12.1,18,13.1,8];
map;
% uicontrol('Style','pushbutton','String','flashY','Position',[16 5 2 0.5],'Callback','cla');
set(gcf,'MenuBar','none','Name','Animated traffic lights on road intersection -- OOP demo')
lampsAll=tLamps(X,Y);
%% traffic lights are controlled from menu now
```

```

cont=1;
menu1=uimenu(gcf,'Label','TS1', 'Callback', 'cont=1');
menu1=uimenu(gcf,'Label','TS2', 'Callback', 'cont=2');
menu1=uimenu(gcf,'Label','TS2 M', 'Callback', 'cont=3');
menu1=uimenu(gcf,'Label','TS2 T', 'Callback', 'cont=4');
menu1=uimenu(gcf,'Label','Finish', 'Callback', 'cont=0;');
disp('use menu to change lights or to finish')
%text(15.2,20,'use menu to change lights')
while cont
switch cont
case 1
h=msgbox('Hora Valle','Tiempo');
lampsAll=TS1(lampsAll);
    close(h)
case 2
    h=msgbox('Hora Pico','Tiempo');
lampsAll=TS2(lampsAll);
    close(h)
case 3
    h=msgbox('Hora Pico AM','Tiempo');
lampsAll=TS21(lampsAll);
    close(h)
case 4
    h=msgbox('Hora Pico PM','Tiempo');
lampsAll=TS22(lampsAll);
    close(h)
end
end
close

```

3.4 Subsistema de recaudo

Consiste de los subsistemas de Venta, Recarga y Validación de Medios de Acceso que conforman el Sistema de Recaudo.

La Unidad de Recaudo está instalada en la Sede Institucional de Protransporte, y se comunica a través de la fibra óptica directamente con el Centro de Control y los demás centros de supervisión de la operación, ubicados en los terminales, patios y estación central.

Se utiliza una tarjeta Inteligente sin contacto(TISC), del tamaño de un bolsillo(con las dimensiones de una tarjeta de crédito), con circuitos integrados que permiten la ejecución de cierta lógica programada(Figura 3.11).

Subsistemas de Registro de Venta: Registra y actualiza constantemente la base de datos de los usuarios clientes a través de los puestos de venta y atención al cliente.

Subsistema de Venta Externa: Compuesto por los puestos de venta automatizado (PVAS) y los puntos de venta externos.

Subsistema de Venta web: Realiza la venta virtual a través de la página web del sistema.



Figura 3.11 Tarjeta y lector del sistema de recaudo.

En el siguiente esquema Figura 3.12 se ilustra el sistema completo de recaudo:

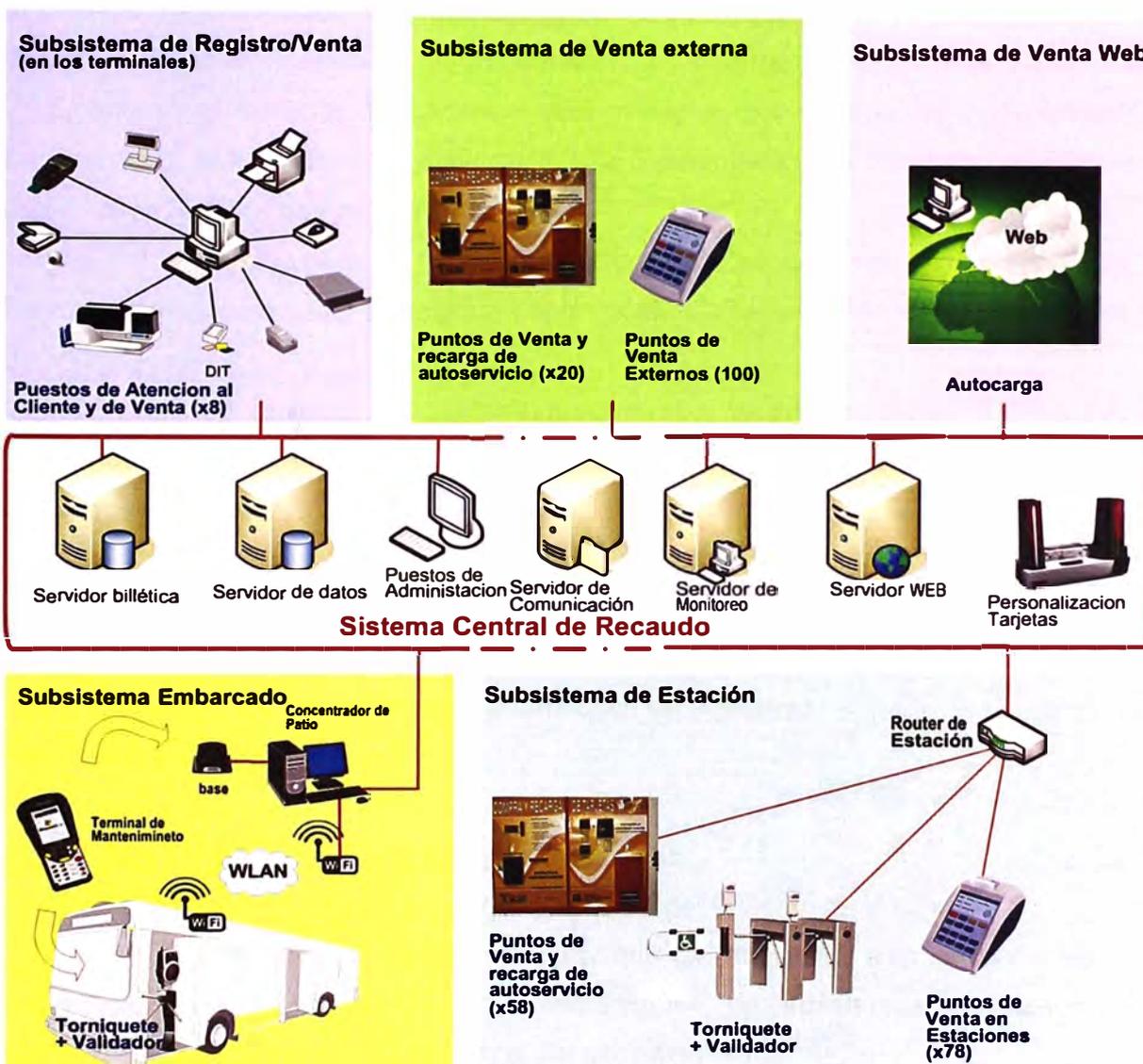


Figura 3.12 Sistema de Recaudo.

Son los siguientes:

Subsistema Embarcado: Realiza las validaciones para el ingreso de los usuarios en los Buses Alimentadores; por medio de una red WLAN y el concentrador en Patios.

Subsistema de Estación: En cada estación se tiene las recargas a través del sistema automatizado de recarga, los validadores para ingreso de los usuarios al sistema y torniquetes de salida.

Todos los subsistemas que componen el recaudo se comunican entre sí y se sirven de la data por medio de los servidores del sistema central de recaudo: Billetica, Datos, Administración, de Comunicación, de monitoreo, y servidor de la pagina web.

Entonces el sistema central de recaudo registra el recaudo de dinero, los administra según el contrato de concesión, realiza las transacciones y monitorea los periféricos instalados en la estaciones.

Todos los sistemas y pasajes están protegidos de pérdida, modificación no autorizada, y/o divulgación mientras se mantienen en un dispositivo de sistema, así como durante el movimiento de datos de un dispositivo y/o sistema a otro.

El acceso al Sistema de Recaudo está protegido por contraseña e identificación. Cada acceso, autorizado o no autorizado, a la Computadora de Patio está registrado y reportado al Sistema de Recaudo.

Los datos recibidos por el Computador Concentrador de Patio transmitidos hacia el Sistema de Recaudo están protegidos contra pérdida, manipulación mediante un método de encriptación.

ACS es el responsable por monitorear, administrar y controlar todos los aspectos de la seguridad del sistema y mantener la integridad de la información del Sistema de Recaudo, tales como:

- Control de acceso y sistemas de identificación y autenticación
- Funcionalidad de auditoria
- Validación y archivo de transacciones o paquetes de transacciones
- Mantenimiento de la integridad de la información en el sistema
- Sincronización de fecha y hora
- Control de acceso de información
- Administración de llaves de seguridad del Operador
- Investigar cualquier uso fraudulento o inapropiado del Sistema de Recaudo

Plan de Seguridad de Sistemas completo que identifique los elementos del sistema que requieran protección, e identifique mecanismos, procedimientos y procesos para contrarrestar amenazas de seguridad contra esos elementos.

3.5 Sistema automatizado de embarque y desembarque en las estaciones

Es el conjunto de subsistemas realizando la función de facilitación del ingreso al sistema de transporte BRT del "El Metropolitano" de Lima. Se explica a continuación el Ingreso de transacción del usuario y el ingreso a los Buses y descenso de los mismos y

paso por los pasillos de las estaciones de los usuarios.

Ingreso de transacción del usuario:

El usuario ingresa a la estación realiza la compra y/o recarga de una tarjeta en el Pvas.

Valida en el sensor de ingreso dispuesto la cual realiza la transmisión de información al servidor a través del enlace de fibra óptica.

También puede optar por recargar a través de las ventanillas de los CAO: Centro de Atención al Usuario.

Entonces se registra la transacción de pasajero transportado en el CGC. Centro de Gestión y Control en los servidores del subsistema de recaudo.

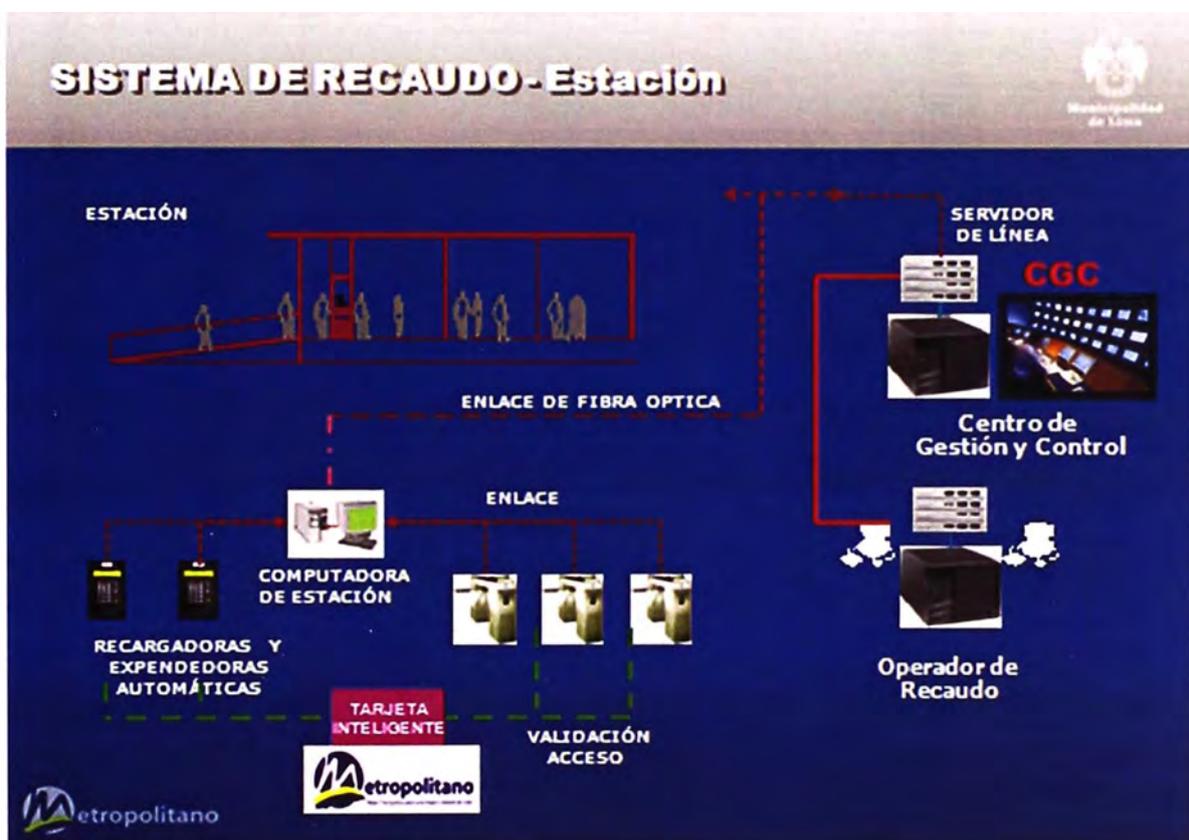


Figura 3.13 Sistema automatizado de embarque: registro de transacción.

Ingreso a los Buses y descenso de los mismos y paso por los pasillos de las estaciones de los usuarios:

Al salir de los Buses el usuario de la troncal realiza la validación de salida a través del torniquete de salida y esta se registra en el sistema.

Al ingreso valido su tarjeta en el sensor torniquete de entrada registrando su tarjeta, a continuación realiza la espera en horario, detrás de la línea de color amarillo del Bus de ruta.

Al ingreso del Bus BRT a la estación se abren las puertas de acceso al bus de la

Estación, a continuación el operador abre las puertas neumáticas del Bus. Todo esto en 25 segundos. El usuario ingresa al bus BRT y viaja a su destino.

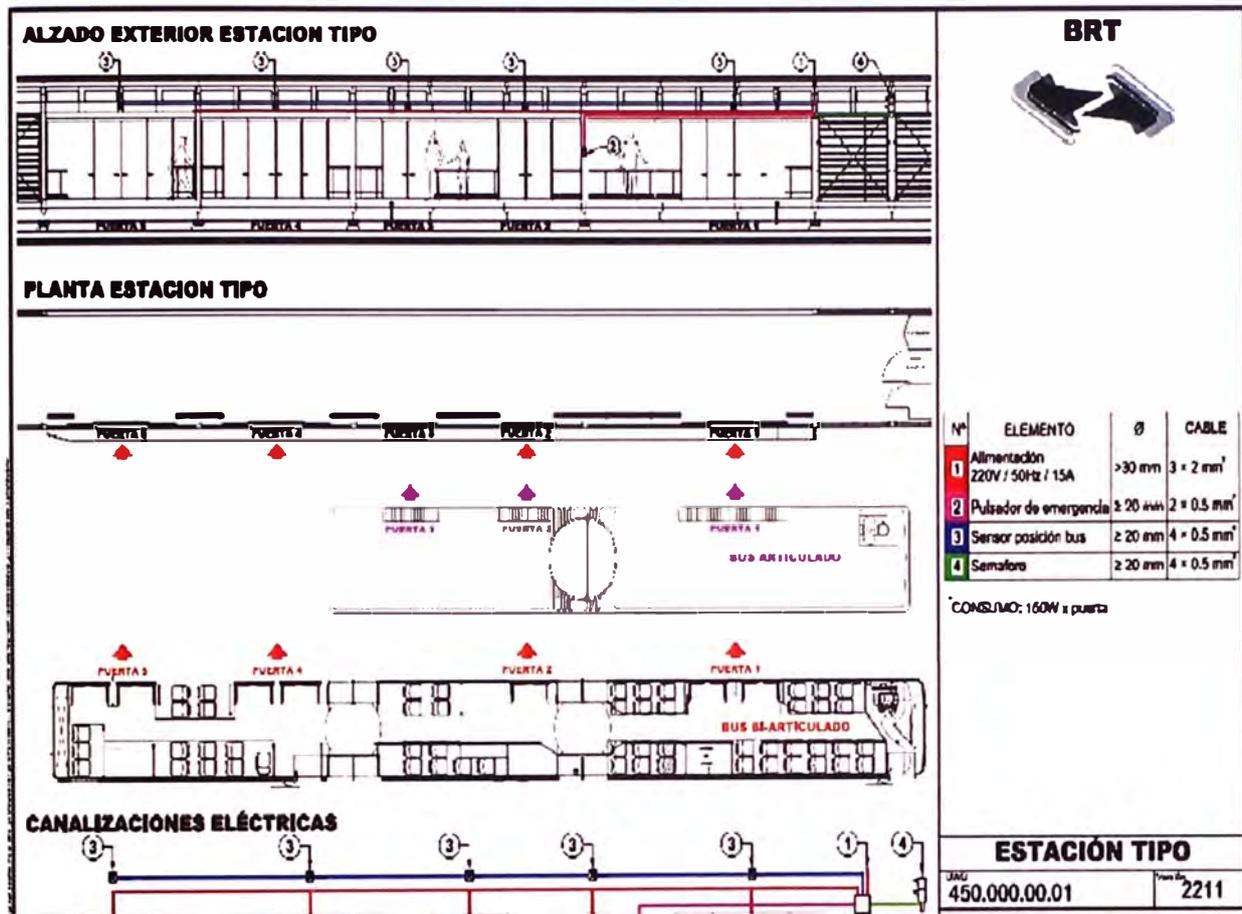


Figura 3.14 Sistema de embarque y desembarque automatizado.

CAPÍTULO IV MATERIAL RODANTE Y ACTUADORES

En el presente capítulo se tratan los temas involucrados con el material rodante y actuadores.

4.1 Material Rodante

Se refiere a los ómnibus utilizados. Ellos tienen una gran capacidad de carga, dirección hidráulica, amplia visibilidad, computador a bordo, registros de velocidad, entre otros. Estos sistemas sirven para operar el bus de una forma técnica y profesional.

Estos buses cuentan con sistemas de localización, señal de odómetro y señal de puertas abiertas; y sistemas de operación como el sistema de transmisión, sistema de frenos y sistema de aceleración.

Los equipos de comunicación es un conjunto de elementos que permiten la comunicación de voz y datos permanente entre el bus y el centro de control. Se compone de tres sistemas básicos: Sistema de localización, Unidad lógica o computador a bordo Orbstar, Sistema de radio.

Entonces se tiene:

Buses Alimentadores:

Son un tipo de vehículos de transporte de pasajeros con características especiales, debidamente autorizados para la operación del servicio de transporte de pasajeros dentro de las vías alimentadoras del Sistema, de acuerdo con la programación que establezca el Centro de Gestión y Control de la Operación.

Buses Articulados:

Son un tipo de vehículos de transporte de pasajeros con características especiales utilizados en la operación del servicio para operar en los corredores o ejes viales troncales del Sistema de acuerdo con la programación que establezca el Centro de Gestión y Control de la Operación.

Buses Troncales:

Vehículos de transporte de pasajeros con características especiales, debidamente autorizados, para operar en los corredores o ejes viales troncales del Sistema de acuerdo con la programación que establezca el Centro de Gestión y Control de la Operación.

Servicio: Los buses deben ser diseñados para ser operados en vías exclusivas y en

vías con tráfico mixto. El servicio requiere buses nuevos diseñados para poder operar continuamente por lo menos:

- 350 Km. para buses acoplados
- 300 Km. para buses convencionales
- 250 Km. para buses convencionales de menor tamaño

Sin requerir mantenimiento o recarga de GNV. Los buses deben brindar alta confiabilidad, y bajos costos de mantenimiento. Los buses que se incorporen al sistema deben ser nuevos y de alta capacidad.

Los buses deben operar bajo las condiciones ambientales, de temperatura, humedad, y polvo ambiental, esperadas en la ciudad de Lima y sus alrededores. Esto incluye los niveles de salinidad ambiental y de contaminación. Los buses deben operar en condiciones que se pueden encontrar en las calles de Lima, incluyendo polvo, basura, hojas, etc. Los buses serán capaces de operar sin pérdida de potencia, y manteniendo su nivel de emisión desde nivel del mar hasta 600 metros sobre el nivel del mar.

Requisitos Generales:

Los parámetros de diseño definidos aplican a los buses troncales y a los buses alimentadores del sistema COSAC I que serán utilizados principalmente en la vía de tráfico exclusivo (segregada del tráfico común) y en las vías alimentadoras. Los buses troncales también pueden operar en carril prioritario en conjunto con el tráfico mixto. Los buses troncales son de piso alto. Todos los componentes usados son de alta calidad habiendo sido comprobados en un servicio similar. Todos los buses deben tener una vida útil de 12 (doce) años o alcanzar 1,000,000 (un millón) de Kilómetros de recorrido (lo que ocurra primero). Todos los buses deben cumplir con las normas que tengan jurisdicción sobre el sistema de transporte.

Protransporte puede adicionar, eliminar y/o modificar elementos a la tipología de los Buses, que por su condición y/o por circunstancias tecnológicas y/o de infraestructura, mejoren la operación del sistema en cualquier momento de la vigencia del contrato. El costo de la implementación de estos cambios o modificaciones esta a cargo del Concesionario.

Materiales:

Todos los materiales en uso interno deben tener las características de:

- Resistencia al vandalismo y facilidad de lavado.
- No absorbente, resistente al desgaste, con facilidad de mantenimiento y limpieza.
- Retardante al fuego, auto extingible y no tóxico con un índice de llama menor de 150 bajo la norma ASTM E-162 o norma equivalente a nivel internacional.
- En el compartimiento del motor, no debe utilizarse ningún material de insonorización

inflamable o susceptible de impregnarse de combustible o lubricante, salvo si cuenta con un revestimiento impermeable y no inflamable.

Dimensiones generales de los buses alimentadores:

Tabla 4.1 Dimensiones generales de los buses convencionales.

Característica	Medida
Largo	12 m (+/- 0.5 m)
Ancho	2.50 m (+/- 0.15 m)
Radio de Giro (máximo externo)	13.6 m máximo
Ancho de las puertas	1.1 m mínimo
Altura Interior de las puertas	1.9 m
Altura de Piso sobre nivel de la calle	90.0 (+/- 10.0) cm. - Piso Alto
Altura del Bus	3.50 m máximo
Altura Interior	1.9 m mínimo
Capacidad de pasajeros - Parados (6,50 pax por m ² máximo) - Sentados Asientos preferenciales Sillas de rueda(*) ☑ TOTAL	48 parados máximo 32 sentados mínimo 4 preferenciales mínimo 1 silla de ruedas 80
Peso Bruto Total Mínimo	18,000 Kg.
Eje Delantero	7,000 Kg. mínimo
Eje Trasero	11,000 Kg. Mínimo
Capacidad Mínima de Carga	5,510 Kg. mínimo (basado en 81 personas a 68 Kg/pax

(*) Solamente para aquellos buses que tengan elevadores.

Tabla 4.2 Dimensiones de los buses convencionales de menor tamaño.

Característica	Medida
Largo	8.5 m. (+/- 0.5 m.)
Ancho	2.30 – 2.50 m.
Radio de Giro (máximo externo)	10.0 m. máximo
Ancho de las puertas	0.8 m. mínimo
Altura Interior de las puertas	1.9 m. mínimo
Altura de Piso sobre nivel de la calle	0.80 (+/- 0.10) m. - Piso Alto
Altura del Bus	3.25 m. máximo
Altura Interior	1.9 m. mínimo
Capacidad de pasajeros - Parados (4 pax / m ² máximo) - Sentados Asientos preferenciales Sillas de rueda(*) ☑ TOTAL	18 parados máximo 22 sentados mínimo 2 preferenciales mínimo 1 silla de ruedas 40

(*) Solamente para aquellos buses que tengan elevadores.

Dimensiones generales de los buses troncales:

Tabla 4.3 Dimensiones generales de los buses troncales.

Característica	Buses Articulados
Largo	18.00 m (+/- 0.50 m)
Ancho	2.50 m (+/- 0.15 m)
Radio de giro (máximo externo)	13.5 m máximo
Ancho de las puertas principales a la izquierda	4 puertas de mínimo 1.10 m En motores posteriores la puerta podrá tener 1.0 m
Puerta adicional (der.)	1 puerta de mínimo 0.70 m
Altura interior de las puertas	1.90 m mínimo
Altura de piso sobre nivel de la calle	90.0 cm. +/- 2.0 cm.
Altura total del bus	3.80 m máximo
Altura interior	2.0 m mínimo
Capacidad de pasajeros - Parados (6.5 pas / m ²) - Sentados Asientos preferenciales Sillas de ruedas TOTAL	118 pas máximo de pie 42 sentados mínimo 8 preferenciales mínimo 1 silla de ruedas 160 pasajeros
Peso bruto total Máximo	30,450 kg.
Eje delantero	7,350 kg. máximo
Eje libre (rodaje doble)	11,550 kg. Máximo
Eje (tracción)	11,550 kg. Máximo
Capacidad mínima de carga	10,950 kg. Mínimo (basado en 161 personas a 68kg/pas)

La carga de pasajeros se calcula con base en un peso de 68 kilogramos por pasajero. La capacidad de carga mínima incluye el peso del conductor. Todas las dimensiones de los pasajeros y conductores están basadas en la norma ISO-3411 o norma equivalente a nivel internacional. El peso del bus estará debidamente distribuido de tal manera que el peso sobre ruedas de lado opuesto del mismo eje no tenga más que 5% de diferencia.

Los límites establecidos son referenciales y en ningún caso podrán sobrepasar los límites máximos fijados por el fabricante.

Propulsión:

Motor: El motor es de tecnología para servicio BRT similar. El motor está diseñado para operar sin falla o degradación de servicio por 500,000 Km. Con mantenimiento normal, se exige el uso de motor con una potencia mínima de 300 HP para buses troncales, potencia mínima de 250 HP para buses convencionales y una potencia mínima

de 195 HP en los buses convencionales de menor tamaño.

Desempeño

El motor debe brindar al bus la energía necesaria para atender a los requisitos de potencia, torque, desempeño, y velocidades de operación señaladas en las tablas correspondientes. Debe contar con un sistema de regulación de velocidad de forma que no permita superar 60 Km/h. Las pruebas de desempeño serán realizadas a peso bruto y basado en las normas SAE J1491 o norma equivalente a nivel internacional.

Tablas de desempeño de los buses:

Tabla 4.4 Tabla de desempeño de buses articulados.

Parámetro	Condición (a peso bruto total)	Requisito
Torque		40,0 Nm/Ton. mínimo
Aceleración	Superficie Plana, promedio: 0 a 10 km/h, 0 a 20 km/h 0 a 30 km/h 0 a 40 km/h 0 a 60 km/h 6.5% inclinación, 0 a 15 km/h	3.0 Km./h/s aprox. 4 s máximo 8 s máximo 12 s máximo 15 s máximo 35 s máximo 10.0 s máximo
Desaceleración	Superficie plana, y solo frenos dinámicos	13.0 Km/h/s (de velocidad máxima a 5 km/h)
Pendiente	Capacidad de subir pendiente empezando de 0 Km./h	16 % mínimo

Tabla 4.5 Tabla de desempeño de los buses convencionales.

Parámetro	Condición (a peso bruto total)	Requisito
Torque		45,0 Nm/Ton. mínimo
Aceleración	Superficie a Nivel, promedio- 0 a 10 Km./h 0 a 20 Km./h 0 a 30 Km./h 0 a 40 Km./h 0 a 60 Km./h 6.5% inclinación, 0 a 15 Km./h	3,0 Km./h/s aprox. 4 s máximo 8 s máximo 12 s máximo 14 s máximo 30 s máximo 10,0 s máximo
Desaceleración	Superficie plana, y solo frenos dinámicos	13.0 Km/h/s (de velocidad máxima a 5 Km./h)
Pendiente	Capacidad de subir pendiente empezando de 0 Km./h	19 % mínimo

Tabla 4.6 Tabla de desempeño de los buses convencionales de menor tamaño.

Parámetro	Condición (a peso bruto)	Requisito
Torque		45,0 Nm/Ton. mínimo
Aceleración	Superficie a Nivel, promedio- 0 a 10 Km./h 0 a 20 Km./h 0 a 30 Km./h 0 a 40 Km./h 0 a 60 Km./h 6.5% inclinación, 0 a 15 Km./h	3,0 Km./h/s aprox. 4 s máximo 8 s máximo 12 s máximo 14 s máximo 28 s máximo 10,0 s máximo
Desaceleración	Superficie plana, y solo frenos dinámicos	13.0 Km./h/s (de velocidad máxima a 5 Km./h)
Pendiente	Capacidad de subir pendiente empezando de 0 Km./h	20 % mínimo

Combustible:

El único combustible aceptable para la propulsión de los buses es el gas natural vehicular GNV.

Los buses tienen sistemas de abastecimiento de GNV que permita el llenado de los cilindros de almacenamiento en tiempos adecuados, permitiendo el abastecimiento de la flota asignada con la fluidez requerida para la oportuna prestación del servicio. La presión máxima en los cilindros debe ser de 260 y la presión de operación (trabajo) de 200 bar. a una temperatura de 15° C para los buses, teniendo el GNV como combustible único.

Adicionalmente, los buses y estaciones deben contar con un sistema capaz de vaciar los cilindros de GNV de tal manera que permita el fácil mantenimiento o cambio de componentes normalmente bajo alta presión.

Todos los buses obedecen las Normas Técnicas Peruanas que versan sobre GNV.

Emisiones:

El bus en su conjunto debe certificar, tener y mantener un desempeño ambiental bajo el ciclo ETC (European Transient Cycle). Debe garantizar el concesionario que los buses, una vez ubicados en Lima y debidamente ajustados o calibrados y aclimatados, cumplan la norma de emisión señalada. El mantenimiento de los buses debe garantizar que las emisiones no sobrepasen el nivel EURO IV durante la vida útil del bus.

Los buses articulados deben tener el tubo de escape a la derecha del bus y los buses convencionales y buses convencionales de menor tamaño deben tener el tubo en la parte posterior y a la izquierda del bus.

Las emisiones de la normativa EURO IV se muestran en la tabla 4.7:

Tabla 4.7 Tabla de la normativa EURO IV.

Emisiones (g/kwh)	Normativa EURO IV
CO	4.00
NMHC	0.55
CH ₄	1.10
NOX	3.50
PM	0.03

El bus cuenta con aislamiento térmico a prueba de fuego en el área del motor y demás áreas cercanas a fuentes de alto calor, para garantizar que la temperatura al interior del habitáculo de pasajeros en las zonas cercanas a las fuentes de calor no sea superior a la mayor entre: 30° C o 5° C superior a la temperatura ambiental. La medición de la temperatura no debe tener influencia del sol u otras fuentes de radiación.

Los cilindros de GNV están encerrados dentro de una estructura metálica que los proteja en una colisión o volcadura, y estar ubicados dentro de los dos bastidores del chasis, adosados a los lados o sobre el techo de la carrocería. Los conductos o tuberías del sistema de alimentación de GNV no pasan al interior del bus, están protegidas y se mantienen libres de fugas o pérdidas. La vía de los ductos de GNV están diseñados de tal forma que una fuga no tenga posibilidad de acumularse o quedar atrapado bajo la carrocería, o estar cerca de elementos del sistema de escape o de otra fuente de alto calor.

Los cilindros de GNV deben estar montados de tal manera que permitan fácil inspección, reparación, o cambio.

Los componentes relacionados con el sistema de combustible están diseñados para mantener un alto nivel de seguridad, y deben usar como guía la práctica recomendada por SAE J2406 o norma equivalente a nivel internacional.

Los cilindros de almacenamiento de Gas Natural Vehicular cumplen con las pruebas y requisitos para almacenar este tipo de combustible en el bus y cumplirán con las normas delineadas en NFPA-52 o norma equivalente a nivel internacional.

Debe existir un aditamento de seguridad o válvula de corte de combustible lo más cerca posible a los depósitos de combustible, accionable en el tablero de mandos del puesto de conducción.

El ruido externo del bus se mide como es definido en SAE J366 o norma equivalente a nivel internacional, y a una distancia de 7 m. bajo ninguna circunstancia se permite que el

ruido externo supere los 85 dB(A). Si el ruido tiene una frecuencia discreta se le agregarán 5 dB(A) al nivel medido.

Transmisión: Todos los buses deben estar dotados con caja de velocidades automática de mínimo cuatro velocidades adelante y una de retroceso con retardador hidráulico automático incorporado.

Ejes: Los ejes incorporados en el diseño deben estar certificados para soportar el peso bruto del bus. Los buses tendrán un mínimo de tres ejes: delantero, tracción y libre. El diferencial contará con la relación apropiada para que el bus cumpla con el desempeño establecido y favorezca al mínimo consumo de combustible.

Ruedas: El bus deberá usar aros de acero o aluminio diseñados para el uso en buses de ciudad. Los neumáticos son radiales y sin cámara. Los aros y neumáticos deben ser seleccionados para soportar el peso bruto del bus y la velocidad máxima del proyecto como es recomendado por SAE J161 y SAE J341, o normas equivalentes a nivel internacional.

Los buses articulados: Debe contar con un sistema de suspensión neumática total de masa de aire variable; no se acepta suspensión de tipo mixto o de cualquier otro tipo. La suspensión debe ser capaz de regular la altura del bus y mantener a 90 cm. (+/- 2.0 cm.) el nivel del piso del bus sin importar la carga que lleve.

La suspensión contará con amortiguadores que sean capaces de detener la oscilación vertical del bus después de una perturbación en cuatro ciclos o menos.

Buses Convencionales y Buses Convencionales de Menor Tamaño: Debe contar con un sistema de suspensión mecánico (muelle o espiral) o neumática total de masa de aire variable; se aceptan suspensiones de tipo mixto.

La suspensión contará con amortiguadores que sean capaces de detener la oscilación vertical del bus después de una perturbación en cuatro ciclos o menos.

Dirección: El bus contará con dirección hidráulica con asistencia progresiva y columna ajustable diseñada para tener una vida útil de mínimo 12 años o 1,000,000 Km. En caso de golpe severo en una rueda, sistema de suspensión, o sistema de dirección, ningún componente de dirección debe fallar antes que un componente del sistema de suspensión.

Radio de giro exterior:

Para el caso de los Buses Articulados: El radio exterior de giro no debe ser mayor a 13.5 m.

Buses Convencionales no será mayor a 13 m. y los Buses Convencionales de Menor tamaño no será mayor a 10 m.

Frenos: Los frenos de servicio pueden ser hidráulicos o neumáticos. La fuerza necesaria para activar los frenos debe ser lineal en función de la desaceleración del bus. Los frenos deben cumplir con la norma SAE J257 o norma equivalente a nivel internacional, basado en las pruebas especificadas en SAE J880 o norma equivalente a nivel internacional, que especifican la disminución de velocidad de aproximadamente 13Km/h/s.

Los frenos deben tener función de anti-bloqueo (ABS). Todos los frenos deben ser de ajuste automático. Se permite freno a disco y/o tambor, pero todos los componentes deben ser de alta calidad y comprobados en uso, en servicio similar.

Los buses cuentan con frenos de estacionamiento capaces de sujetar el bus en una inclinación de 20% como está designado en las normas SAE J360 o norma equivalente a nivel internacional.

Sistema de Aire: El sistema de aire comprimido debe ser de suficiente capacidad para poder operar todos los accesorios accionados con aire del bus. La capacidad de aire debe estar de acuerdo a las normas establecidas por SAE J1609 o norma equivalente a nivel internacional. En caso de baja presión, se le debe dar prioridad a la operación de los frenos. Todos los componentes, conexiones y tuberías deben ser de alta calidad y estarán firmemente ajustados a la carrocería.

El sistema de aire debe contar con secador de aire. El montaje debe ser conforme a las normas recomendadas por SAE J2383 o norma equivalente a nivel internacional.

Estructura: La estructura del bus permite levantar al mismo su peso neto, con una gata común de mano o de piso, cuando un neumático esté totalmente desinflado; cuando el bus se encuentre en una superficie plana. El chasis y carrocería no deben tener ningún tipo de deformación permanente al ser levantados.

El bus cuenta con dispositivos para el remolque al frente y atrás, y puede ser remolcado a 110% de su peso neto sin daño o deformación permanente del chasis o carrocería.

La estructura de la carrocería del bus deben cumplir con el numeral 5 del documento "Regulation No. 66 Uniform Provisions concerning the approval of Large Passenger Vehicles with regard to the Strength of their Superstructure" de la Naciones Unidas.

Articulaciones de Buses Articulados: La durabilidad de la unión de articulación utilizada es apropiada para el servicio en transporte público. Las articulaciones (fuelles) serán igual de ancha (+/- 5 cm.) que el bus. El mecanismo de la articulación y su conexión a las secciones adyacentes del cuerpo del bus son lo suficientemente fuertes como para soportar las fuerzas esperadas durante los 12 años de servicio bajo todas las condiciones

de desempeño descritas sin falla estructural. Las articulaciones son suficientemente robustas, de modo que bajo las circunstancias previstas de operación o accidentes, el mecanismo de la articulación no sea la primera estructura a fallar.

El mecanismo de la articulación está montado a otros miembros estructurales, de tal manera que permita quitarlo para su reparación y reemplazo. Se debe proveer acceso para el retiro de las tuercas, de los pernos, y de las piezas.

El diseño debe maximizar la seguridad de los pasajeros. La sección de articulación debe estar a nivel con el resto del piso del bus y no debe presentar riesgo de tropiezo.

Movimiento Horizontal y Vertical: Las secciones acopladas (la sección trasera en bus articulado) están unidas al resto del bus por sistemas mecánicos o hidráulicos de articulación permitiendo el movimiento vertical y horizontal limitado. Las articulaciones permiten la transición de cuestas verticales de ± 8 grados en ángulo de 40 grados a la derecha o a la izquierda sin la pérdida de tracción, o levantando cualquier rueda, o imponiendo cargas excesivas en cualquier componente. Permiten vueltas constantes con aceleraciones laterales de hasta 0.3g ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$). No habrá subida vertical de las placas giratorias articuladas bajo ninguna condición de funcionamiento normal. El movimiento horizontal en las secciones articuladas es reducido al mínimo posible.

Alarma de articulación: El bus cuenta con un sistema de control y prevención inteligente que permite el control de la articulación. En caso contrario, deberá contar con una alarma audible y una señal visual en el área del conductor, que avise cuando la inclinación vertical alcance 7 grados de diferencia entre las secciones del bus. La alarma audible indica cuando la articulación horizontal alcanza un ángulo inseguro. Durante operaciones de reversa, el freno se aplicará automáticamente cuando el ángulo de la articulación se está acercando al límite. El freno automático debe desactivarse cuando se seleccione marcha delantera.

Instrumentación: Todos los buses cuentan con un tablero de instrumentos, con los siguientes componentes, como mínimo:

- Velocímetro en Kilómetros/hora
- Odómetro en Kilómetros
- Indicador de revoluciones del motor en revoluciones por minuto
- Presión de GNV
- Presión de aceite
- Temperatura del agua del radiador
- Voltaje
- Luces encendidas
- Manómetro para la presión de aire del sistema de frenos

-Sensores de peso.

-Además tienen un indicador en forma visible al conductor, que alerte siempre que haya una variación en las condiciones normales de operación del sistema de frenos. Las señales de anomalías en las condiciones de operación normal deben ser compatibles con la unidad lógica del bus.

Equipos de Emergencia: Las instrucciones para casos de emergencia deben ser colocadas a la vista en todos los buses.

Todos los buses articulados deben estar equipados con tres (3) extintores tipo ABC con capacidad mínima de 15 libras debidamente señalizados: uno de ellos debe estar ubicado próximo al asiento del conductor, el segundo en el área de la articulación a una altura mínima de 1.20 m del nivel del piso, y el tercero extintor en el segundo cuerpo.

Todos los Buses Convencionales y Buses Convencionales de Menor Tamaño deben contar con dos (2) extintores de fuego tipo ABC de capacidad mínima de 15 libras debidamente señalizados; uno de ellos debe estar ubicado próximo al asiento del conductor y el segundo en el área trasera del bus ubicado a una altura mínima de 1.20 metros del nivel del piso, los cuales deben estar debidamente señalizados.

Todos los espacios para el alojamiento de los extintores deben de ser de fácil acceso y estar adecuadamente señalizados.

En cada Bus debe preverse un espacio a la vista de los pasajeros, para la fijación de un (2) botiquines de primeros auxilios para Buses Articulados y uno (1) para Buses Convencionales y Buses Convencionales de menor Tamaño.

Los extintores de incendio y los botiquines de primeros auxilios pueden estar protegidos contra el robo y el vandalismo (por ejemplo estando colocados en un compartimiento cerrado o detrás de un vidrio rompible), con la condición que su emplazamiento este claramente indicado y que estén provistos de los medios que permitan su fácil utilización en caso de emergencia.

4.1.1 Sistema de localización

Este sistema permite al centro de control ubicar un bus en cualquier momento durante la operación y realizar un seguimiento detallado de su actividad, para controlar, regular y prestar un óptimo servicio al usuario.

El GPS por medio de una antena localizada en la parte superior del bus, envía la información de sus coordenadas las que permiten conocer la ubicación del bus en todo momento de la operación.

El odómetro, ubicado en el tablero de instrumentos del bus, envía una señal de

distancia recorrida desde el inicio de su marcha, lo que permite al centro de control localizar el bus.

Cada vez que el operador del bus abre las puertas se envía una señal al computador central, mostrando la ubicación del bus en ese momento.

4.1.2 Unidad Lógica

Permite el control del servicio, la ubicación del bus y la comunicación permanente con el centro de control. La unidad lógica ayuda a manejar correctamente el tiempo en la prestación del servicio y a cumplir con las normas establecidas.

Gestiona el almacenamiento de datos concernientes a la operación y gestión de mantenimiento de los vehículos, las variables de control de la operación, recaudo y transmite esta información al Sistema de Gestión de Control Operacional. CGC.

4.1.3 El radio

A través de la unidad lógica de procesamiento acoplada al bus; permite la comunicación de voz con el centro de control a través de la plataforma definida por Movistar en comunicación celular integrada.

4.2 Sensores de temperatura y humedad

El sistema cuenta con un control electrónico de temperatura, montado en el evaporador, junto al área de retorno del aire el cual regula la capacidad de enfriamiento según la ocupación del bus. La cual se muestra en el panel, con ajuste pre programado de la temperatura. Se cuenta con graduación de por lo menos, tres velocidades de emisión de aire. Debido a esto la temperatura en el compartimiento de los pasajeros del autobús no es superior a 28 °C.

4.3 Controles de velocidad

El Bus posee la potencia, Par Motor y relación de transmisión necesaria para permitirle en condiciones de masa técnicamente admisible partiendo desde el reposo alcanzar una velocidad de 40 KPH en un tiempo inferior o igual a 22,5 segundos en condiciones de terreno plano. Se dispone de control electrónico que no permite rebasar los 60 km por hora.

4.4 Sistema ambiental y ventiladores

El bus cuenta con un sistema de acondicionador de aire y que cumple con lo siguiente:

Se considera la carga térmica con la ocupación máxima de los autobuses, el número y ubicación de las puertas y la frecuencia de apertura y cierre de las mismas, iluminación y las demás cargas térmicas externas existentes contando con un factor de seguridad adecuado.

La temperatura interior del autobús debe estar entre 22 y 24°C; en caso de tener

temperaturas exteriores superiores a los 30°C, se debe asegurar una diferencia entre el interior del autobús y la temperatura ambiente de no menos de 10°C con un tope máximo de 27°C al interior del autobús.

El refrigerante utilizado cumple con todas las normas ambientales.

Durante el funcionamiento del sistema los niveles de ruido cumplen con los niveles permisibles para los pasajeros.

4.5 Software de control y equipo Orbstar

Es el conjunto de sistemas que permite controlar adaptativamente la pluralidad del conjunto de variables de control de los Buses, que comprende: El sistema de posición global (GPS) para recibir una señal GPS que indica una posición geográfica del vehículo.

El sistema de navegación acoplado al receptor GPS.

El procesador para recibir la indicación de la posición geográfica, el procesador se comunica con la unidad de procesamiento de control (CPU) acoplada al bus.

Un medio de almacenamiento para almacenar primero los datos de control geográficas acoplados al bus.

Una interfaz de receptor GPS acoplado al bus y con el receptor GPS.

Un conjunto de interfaces de nodos de comunicación ACS a los que el procesador proporciona datos y controla los nodos de ACS en base a los datos introducidos por el usuario.

Un medio de almacenamiento que almacena los datos introducidos por el usuario acoplado al bus.

Una interfaz de usuario de entrada-dispositivo para la recepción de los datos introducidos por el usuario.

Los datos que se proporcionan al procesador son cualquier combinación de eventos como: Sistema de control del bus, el sistema de control de velocidad, el sistema de seguridad, la batería, el desgaste de los frenos composición de revestimiento, presión de aceite, temperatura, sistema de iluminación y el rendimiento de millas por galón.

Contiene también los medios de almacenamiento y memorias no volátiles.

CAPÍTULO V

CONTROL DE FLOTA Y MONITOREO DE RUTA EN LA OPERACIÓN

En el presente capítulo se desarrollan los temas involucrados al sistema de transporte inteligente (ITS) de los Buses de Transito rápido: BRT en “El Metropolitano”.

5.1 Programación de flota

Se define a partir de la revisión y validación de los estudios existentes, complementada con toma directa de información y el resultado final del estudio de demanda y origen-destino en los corredores. Se calibró un modelo para definir el diseño operacional del BRT y por ende: La Programación de Flota.

Entonces se ha conformado un modelo de transporte por medio del software o TRANSCAD y EMME- 2 y 3, que permite conocer indicadores operacionales como:

Cobertura del sistema y demanda no atendida.

Porcentaje de transbordos.

Flota requerida.

El tiempo de viaje de los usuarios.

Se procedió a la validación de la matriz origen-destino con estudios de frecuencia y ocupación, en puntos estratégicos localizados a lo largo del área de estudio (corredor troncal y corredores de alimentación) para el período de modelación. Con esta información se procede a validar la calibración del modelo, y por ende la matriz origen – destino, de tal forma que se pueda determinar el grado de exactitud del proceso de modelación.

De ser necesario se realizan revisiones de las trayectorias de las rutas actuales y de los costos generalizados de viaje con el propósito de refinar la calibración del modelo de transporte del BRT y del área de influencia afectada por la implantación del BRT.

Los períodos horarios adoptados para la modelación son los siguientes:

Período Punta de Mañana (HPM) que comprende el tramo horario de 7:00-9:00 h (2 horas).

Período Punta de Tarde (HPT) que comprende el tramo horario de 18:00-20:00 h (2 horas).

Período Valle (HV) que comprende promedio del período de 6:00-23:00 h (17 h), descontando los períodos punta (13 horas).

Lo anterior sirve de fuente también para la estructuración de la estrategia de incorporación de los transportistas actuales al nuevo sistema BRT, chatarreo y/o su reubicación en otros corredores de la ciudad de manera temporal mientras el BRT se extiende a toda el área de la ciudad en las zonas que se estudió previamente. Y son 489 zonas de transporte en Lima y 19 zonas externas y se ha desagregado en el eje del futuro nuevo corredor creando 40 zonas adicionales. La tabla 5.1 muestran los resultados globales de la asignación (2009).

Tabla 5.1 Resultados globales de la asignación.

		DATOS DEL SISTEMA			
		HPM	HPT	HV	TOTAL DIA
Veh*Km Privado	Coche	976.561	682.743	513.681	9.996.461
	Taxi	677.490	751.232	533.232	9.789.460
	VehPesados	360.686	264.898	305.562	5.223.474
Veh*Hr Privado	Coche	60.536	36.340	24.838	516.646
	Taxi	41.363	42.638	27.066	519.860
	VehPesados	18.951	13.504	14.268	250.394
Veh*Km Público	Camioneta rural	217.948	204.868	168.298	3.033.506
	Microbús	137.605	124.421	127.755	2.184.867
	Ómnibus	49.605	38.276	36.088	644.906
Viajeros	Rutas TP	1.191.561	875.355	577.398	11.640.006
Viajeros*km	Rutas TP	8.553.924	6.761.363	4.733.974	92.172.236
Matriz de viajes		1.011.688	670.920	465.549	9.417.353
% Traslados		17,8%	30,5%	24,0%	24,0%
Tiempo medio de viaje		58,2	63,0	59,5	59,8
Tarifas medias		1,2	1,3	1,2	1,2

Se observa que en el periodo valle el tiempo promedio de viaje para el transporte público es ligeramente superior al del periodo punta de mañana

En el periodo valle, el recorrido promedio de los viajes es un 20% superior al de la hora pico de mañana (en realidad, la velocidad promedio es un 17% superior en el periodo valle que en el periodo punta de mañana)

En el periodo valle hay un porcentaje de trasbordos superior al de la hora punta de mañana, esto añade más periodos de espera y transferencia al tiempo total

Los intervalos de paso de las rutas de transporte público son mayores en el periodo valle, lo que también provoca tiempos de espera superiores que se añaden al tiempo total de viaje

En el caso de nuestro sistema de transporte segregado, es decir: en carril exclusivo obliga a definir las condiciones de circulación para su incorporación al modelo.

Se consideran dos elementos básicos: velocidad de circulación y tiempo en parada. La velocidad comercial (la percibida por el usuario) de cada ruta se compone de un tiempo de recorrido de cada tramo más un tiempo de parada en cada una de las que realice la ruta.

Para el cálculo del tiempo de recorrido de cada tramo se parte de una velocidad en flujo libre, penalizada con demoras en las intersecciones. Se considera una demora media por intersección semaforizada de 15 segundos. Las velocidades en flujo libre consideradas por tramos y las velocidades de recorrido resultantes son las siguientes (Tabla 5.2):

Tabla 5.2 Velocidades en flujo libre consideradas por tramos y las velocidades de recorrido resultantes del COSAC I.

Tramo	Longitud	Vel.Base	Carriles	Semaf	Vel.Recorrido
Terminal Norte	0.99	20	2	1	18.45
Túpac Amaru I	1.41	40	2	0	40
Túpac Amaru II	2.89	35	2	5	27.95
Caquetá/Ugarte/España	5.01	35	2	9	27.73
Vía Expresa	9.24	45	1	0	45
Rep. Panamá/Bolognesi	2.47	35	1	5	27.02
Esc.Militar/Prep	3.45	35	1	3	31.06
Final	0.68	35	1	0	35
Emancip/Lampa	3.23	30	1	11	21.04

El tiempo en parada (TP) se calcula (en segundos) como:

$$TP = 25 + 80 / P \quad (5.1)$$

Siendo P el número de paradas de la ruta. Los 25 segundos de tiempo fijo se componen de tres partes:

Unos 15 segundos de tiempo mínimo perdido en parada para frenar, abrir y cerrar puertas y acelerar,

Más 5 segundos de demoras por colas de autobuses.

Por último: Más 5 segundos ficticios de incomodidad real, que intentan representar la preferencia general por rutas expresas frente a rutas paradoras (experiencia de Transmilenio).

El factor variable representa el tiempo de movilización de 240 pasajeros a una media de 3 pasajeros por segundo, cifra que puede considerarse como promedio por viaje, que se reparten entre el número de paradas de la ruta. Así, una ruta con parada en 34 paraderos y terminales tendría un tiempo medio en parada de 27,4 segundos, mientras que una ruta que parase en 10 paradas tendría un tiempo medio en parada de 33 segundos.

Con estos datos, las rutas finales presentan unas velocidades comerciales entre 25,7 y 29,7 km/h, inferiores a las del sistema Transmilenio de Bogotá (entre 26 y 31km/h).

Se introduce una penalización al transbordo entre rutas troncales de 2 minutos.

5.2 Herramienta de programación de flota Schedule Master

The Master Schedule: (Maestro Programador de Transporte): Es un Sistema de programación de ruta fija; llamado TMS (por sus siglas en Ingles) es realizado bajo el entorno informático basado en PC: en ambiente Microsoft Windows. Es un sistema de Programación de Tránsito Masivo.(Publico). Basado en componentes incorporados de sistemas e integrado con el software MapInfo y los productos de informes Crystal Reports.

MapInfo: es una potente herramienta de Sistemas de Información Geográfica que permite realizar diversos complejos análisis geográficos para la toma de decisiones: Captura, Consulta, Edición, Análisis y Reportes de Información Geográfica Dinámicamente relacionada con Bases de Datos. Donde se gestiona mapas desde puesto de trabajo con un potente software de gestión de mapas basado en PC. En GIS visualiza y analiza las relaciones entre datos y geografía. Las características clave son perfecta conectividad con bases de datos relacionales, representación de mapas 3D y herramientas de listado, un creador de informes integrado, ricas funciones de representación temática y múltiples opciones de publicación.

Crystal Reports: es una aplicación de inteligencia empresarial utilizada para diseñar y generar informes desde una amplia gama de fuentes de datos (bases de datos). Varias aplicaciones, como Microsoft Visual Studio, incluyen una versión OEM de Crystal Reports como una herramienta de propósito general para informes/reportes que es usada con el TMS en esta aplicación de programación de ruta para transporte masivo.

Cualquier inventario de parada (electrónica) se puede cargar fácilmente en TMS, y las paradas se registran con los atributos escritos. No hay límite para el número de paradas o puntos horarios en la base de datos. Todos los puntos horarios pueden ser geocodificados manualmente, o a través de una interfaz para tratar mapas externas. Las coordenadas se pueden registrar en Latitud/Longitud o Este/Norte.

Tanto las interfaces tabular y gráfica para definir el aspecto de la definición de las rutas de TMS emplean puntos horarios y paradas definidas. Una plantilla de "base" se desarrolla para cada ruta y dirección, y opcionalmente, servicio. Esta plantilla de "base" detalla -en orden transversal - los puntos horarios y paradas en la ruta. No hay límite para el número de puntos horarios y/o paradas en cualquier plantilla. Cualquier número de subplantillas puede ser definido en una ruta, mostrando por ejemplo, media ruta (salida, entrada), vuelta corta, y express.

Un ejemplo se muestra a continuación:

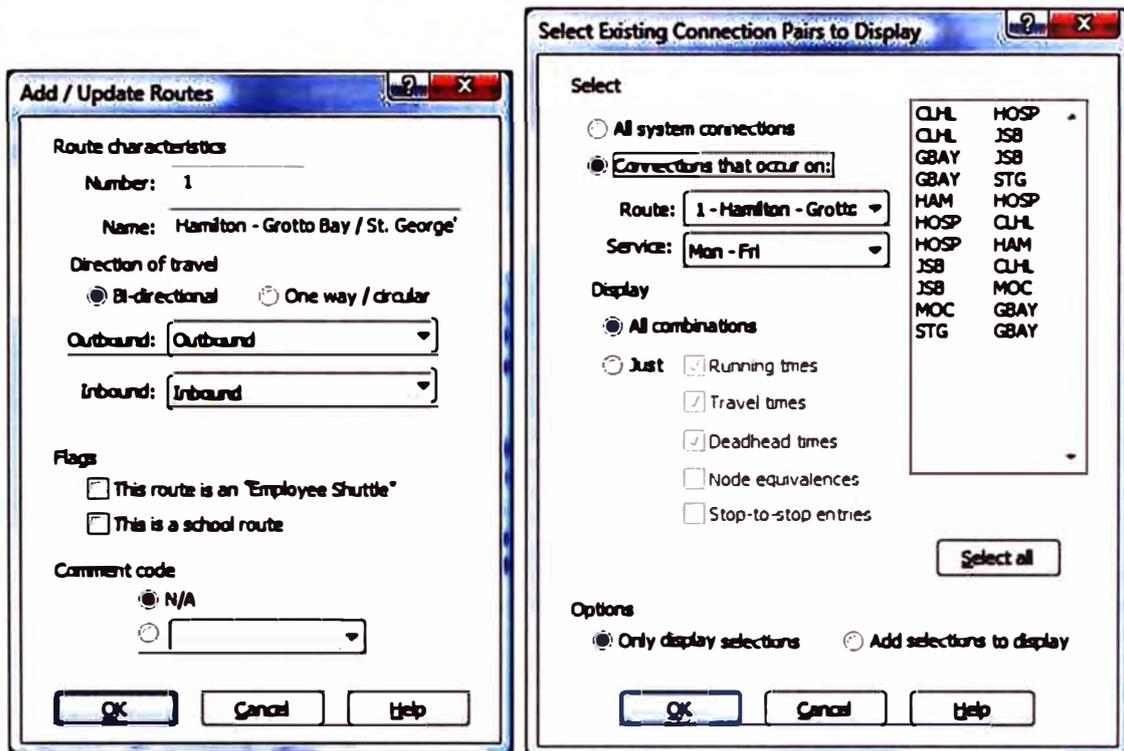


Figura 5.1 Definición de una ruta de Hamilton a St. Georges, definiendo las conexiones entre Puntos Horarios en el schedule master de Acs.

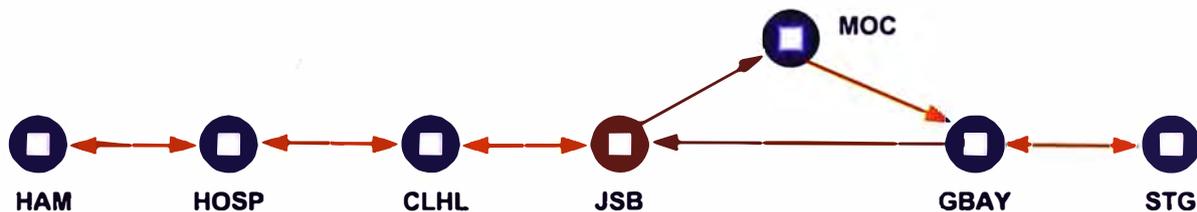


Figura 5.2 Grafica de la Definición de una ruta de Hamilton a St. Georges, definiendo las conexiones entre Puntos Horarios como puntos.

Desarrollo programado / Elaboración de viaje / Creación de horarios:

Los tiempos de conexión - claramente son la piedra angular del sistema - se pueden ingresar manualmente, cargar a partir de una fuente de datos existente, o, en el caso de datos históricos, ser determinados estadísticamente antes de completar la tabla de los tiempos de conexión. Los tiempos de conexión se mantienen en TMS en base a un "Caso general - Caso excepcional". Cualquier número de variaciones de tiempos de conexión puede ser desarrollado en TMS, basado en la ruta, servicio, plantilla, momento del día y dirección del viaje. Al lugar de tener tiempos, la tabla de conexiones también puede tratar distancias de un punto horario a otro y de parada a parada. Los tiempos de recorrido en vacío y viaje del conductor también se mantienen en la tabla de conexiones, así como las definiciones de para intermedia de medio viaje. Parada intermedia de fin de viaje es una función de los bloques.

Al alimentar ambas plantillas y tiempos de conexión, los viajes son creados y mantenidos en la base de datos TMS de manera normalizada. Específicamente, los registros del viaje en TMS se refieren a las plantillas y tiempos de conexión más recientes siempre que este registro de viaje se use en el sistema. Todas las plantillas y desvíos de tiempo de marcha se conservan en la plantilla y a nivel del tiempo de conexión. Como resultado, nunca se necesita "regenerar" viajes siempre que los datos complementarios cambien. Se soporta el desvío de programación de ruta fija en TMS ampliando el "tiempo de conexión" donde las rutas desvían.

Los viajes se pueden visualizar sobre forma gráfica (Figura 5.3) como sigue.

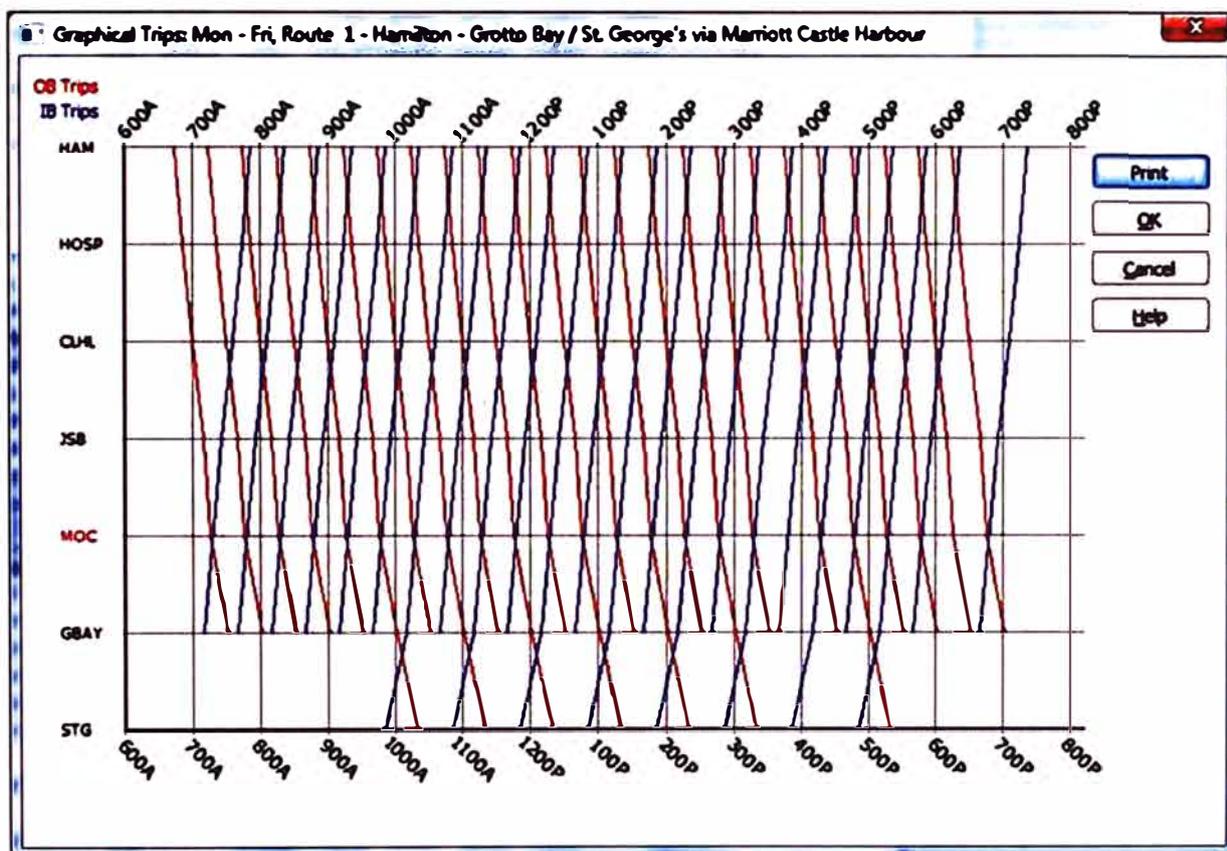


Figura 5.3 Diagrama de Malla horaria de presentación de los viajes.

Bloqueo de Viajes y Servicios:

TMS ofrece el bloqueo "interactivo" y "óptimo". Ambas técnicas prestan atención a las restricciones interlíneas, recorridos en vacío y parada intermedia. Las dos técnicas se pueden usar de manera intercambiable hasta que el programador produzca el resultado deseado. En modo "interactivo", los bloques existentes se visualizan junto con los viajes desenganchados. Usando este método, el programador puede construir fácilmente bloques de vehículos basados en la experiencia u otras preferencias.

El generador de bloques TMS óptimo produce una solución matemáticamente probable de bajo costo, nuevamente, basada en las restricciones de entrada. El bloqueador óptimo TMS resuelve el problema minimizando el requisito de vehículo pico,

el número de salidas y entradas de vehículos, y la cantidad de recorrido en vacío. En igualdad de condiciones, el algoritmo distribuye las paradas intermedias lo más igual posible a los bloques que crea.

Informes desde el módulo de programación:

TMS usa el escritor de informes Crystal para todas sus funciones de informes en la pantalla. A través de la interfaz con Crystal, los informes se pueden imprimir o exportar en una gran variedad de formatos, incluidos Word, Access y Excel. Todas las tablas visualizadas en TMS pueden obtener cualquiera de los datos destacados y copiados en el portapapeles.

TMS sigue un modelo de tabla de base de datos relacional orientada. Los componentes de datos, como las rutas, los patrones, los viajes, y los bloques son escritos directamente en el sistema, o se genera en base a datos de entrada. Los servicios de nodo a nodo que se ejecutan, los viajes y viajes en vacío se mantienen en una ubicación central, ofreciendo facilidad de uso cada vez que los datos han de ser vistos o modificados. El bloqueo se puede realizar de forma manual o de manera óptima en el sistema. El Blocker óptimo TMS ofrece viaje a vehículo asignaciones que son matemáticamente demostrable como la más rentable. El corte de (Runcutter) TMS también funciona en los modos manual y óptima, y produce carreras precisas basada en reglas definidas por el usuario de costeo. El módulo de Turnos (Rostering) TMS crea tareas semanales que maximizan el número de días consecutivos fuera. El módulo de pujas permite el "estilo cafetería" para licitación del operador. El planificador de viaje puede producir múltiples itinerarios en varios rutas.

5.3 Control operacional de flota mediante ObrCAD

En el caso del BRT (Bus de Transito Rápido) de Lima; se ha implementado el ITS (Sistema de transporte Inteligente) el cual se constituye de servicios e infraestructura con una variedad de tecnologías, tratamientos y estrategias que permiten mejorar el flujo de tráfico de los Buses BRT frente a los sistemas de tráfico mixto.

Con lo cual se aporta eficiencia al sistema con el objetivo de proporcionar alta calidad de servicio de transporte rápido para los usuarios clientes.

EL sistema operacional de control de flota realiza las funciones con el software proporcionado por el operador ACS: el cual forma parte del sistema de ayuda a la explotación, denominado SAE.

SAE: Es la parte medular del conjunto de tecnologías que solucionan la explotación del sistema de transporte.

La matriz de integración de la tecnología de ITS para el BRT de Lima esta descrita en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 BRT/ITS Matriz de Integración de tecnología.

	Cliente	Operador
Modo marcha	Precisión de acoplamiento	Señal de prioridad en tránsito. Tecnologías de control de Ruta (bus intermitente carriles) Carril guía. Aplicación automatizada
Estación	Información a los pasajeros (a bordo, en la estación. En la línea). Peajes (en la estación, a bordo). Vigilancia / CCTV / seguridad de los sistemas. Precisión de acoplamiento. Pasajeros Wi-Fi. Información comercial de pasajeros / publicidad. (Es decir, Transit TV).	Vigilancia / CCTV / seguridad de los sistemas operacionales. Carril guía.
Vehículo	Información a los pasajeros (a bordo, en la estación. En la línea). Peajes (en la estación, a bordo). Vigilancia / CCTV / seguridad de los sistemas. Precisión de acoplamiento. Pasajeros Wi-Fi. Información comercial de pasajeros / publicidad. (Es decir, Transit TV).	Señal de prioridad en tránsito. Tecnologías de control de Ruta (bus intermitente carriles). Contadores automático de pasajeros Control y localización automática de vehículos. Seguridad de los sistemas. Video Vigilancia. CCTV. Botón de pánico y respuesta de emergencia. Despacho asistido por ordenador. Gestión de la flota y seguimiento. Sistemas de evitación de colisiones. Aplicación automatizada de las prestaciones.
Off-corredor	Información al pasajero en tiempo real (a bordo, en estación, en línea).	Señal de prioridad en tránsito. Contadores de pasajeros automáticas. Localización y control automático de vehículos. Peajes (en la estación, a bordo). Seguridad de los sistemas. Video Vigilancia. CCTV. Botón de pánico y respuesta de emergencia. Control de despacho asistido por ordenador. Gestión de la flota y seguimiento. Supervisión del rendimiento de cada ruta, vehículo, flota, etc. Archivo y Base de datos.

circulación de Buses del BRT; para mejorar el servicio y gestión. Entre estas tecnologías figuran un localizador GPS; un servidor central de proceso y un sistema de

comunicaciones con el que se transmite en tiempo real, la posición del vehículo al (CGC) centro de gestión y control. Esta información se procesa en el centro de control donde a través de una consola de operador, se pueden tomar decisiones para que ordenar al operador del vehículo realice las maniobras necesarias para la operación segura del mismo mediante el Orbcad; que es la herramienta de Control de flota del SAE.

Las aplicaciones de un sistema SAE son diversas; sin embargo, destacan la gestión de flotas de vehículos, por ejemplo flotas de autobuses, coches de alquiler, sistemas de reparto, etc. Mediante un sistema SAE, es posible entre otras acciones:

Confirmar la regularidad de paso por parada de autobuses en el caso de líneas regulares.

Informar a los pasajeros del tiempo estimado de llegada del siguiente autobús.

Verificar que Bus del BRT; no sale de la zona acordada en el contrato y que su circulación sea exclusivamente por la ruta programada.

Optimizar las rutas y la ubicación de las grúas de una aseguradora.

Optimizar la ubicación de los vehículos de auxilio mecánico y los de seguridad operacional.

El hecho de embarcar una unidad central de proceso en cada vehículo, habilita la posibilidad de conectar otros periféricos para obtener ventajas adicionales: esta unidad central de proceso embarcado es el ORBSTAR.

Las funciones más avanzadas del sistema Orbcad se apoyan en sistemas celulares comerciales para el procesamiento de las llamadas y de las llamadas de datos.

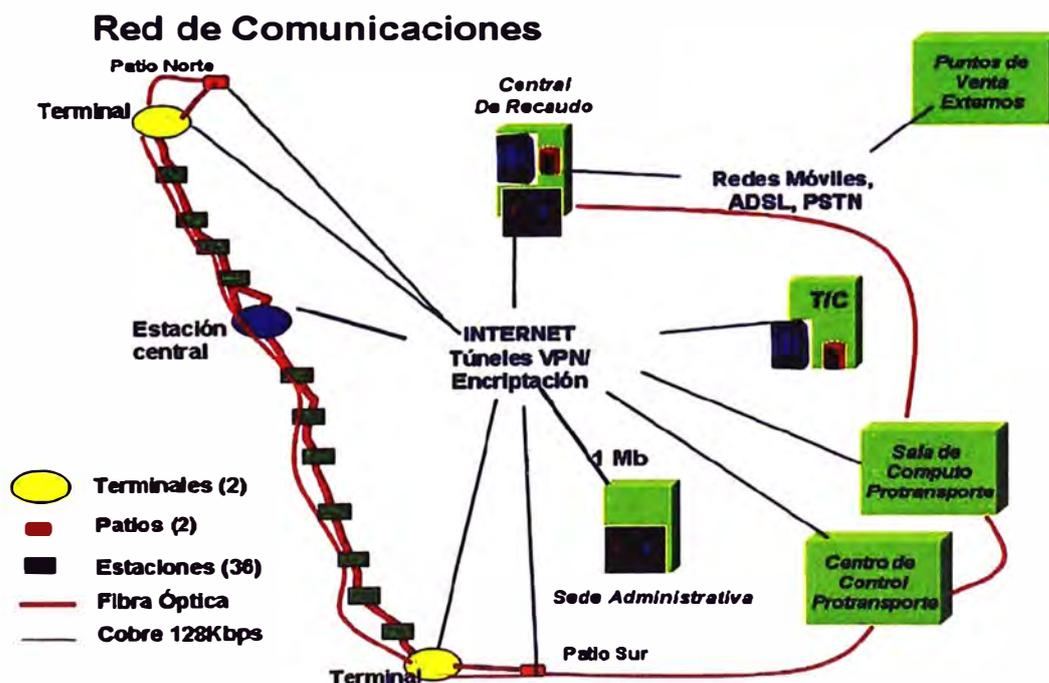


Figura 5.4 Diagrama de la Red de comunicaciones del COSAC I.

Arquitectura y diseño detallados:

El sistema CAD/AVL de Protransporte para vehículos de ruta fija incluye un equipo informático en las instalaciones del centro de control, usa un sistema de comunicaciones de datos y vocal celular y un equipo embarcado en el vehículo para los vehículos de ruta fija. Las comunicaciones integradas y el sistema CAD/AVL proporcionan un control CAD de las comunicaciones de datos y vocales entre los operadores del vehículo, controladores, supervisores y otros usuarios del sistema.

Los principales componentes del sistema CAD/AVL de Protransporte CAD/AVL son el subsistema fijo y el subsistema embarcado en el vehículo:

Subsistema de comunicaciones fijo:

El subsistema fijo es ante todo un conjunto de equipos en el centro operacional central. El sistema celular GSM/GPRS proporciona comunicaciones entre los servidores/estaciones de trabajo y los vehículos.

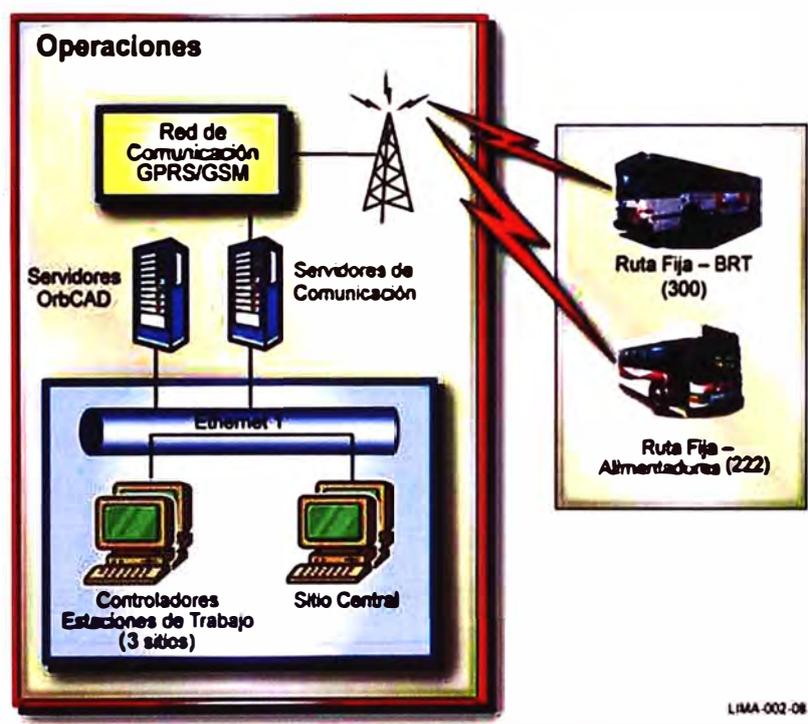


Figura 5.5 Arquitectura de comunicaciones del COSAC I.

El equipo de comunicaciones del subsistema fijo se compone de lo siguiente:

- Controladores de comunicaciones de datos redundante (DCC).
- Conmutador de red.
- Routers
- G-TMD (dispositivo módem de transmisión)

Interfaz celular:

El IVU proporciona una interfaz de comunicaciones que controla el teléfono celular/módem para la operación de datos y vocal. El IVU gestiona todas las

comunicaciones con el subsistema fijo a través de una interfaz directa con la unidad celular. El IVU recibe mensajes de datos del teléfono que contiene el tipo de llamada y otra información de comunicaciones de datos. Luego, el IVU gestiona el teléfono para efectuar una comunicación vocal o de datos según sea necesario.

Controladores de comunicaciones de datos (DCC) y Router:

El sistema Protransporte tiene dos DCC. Están configurados para una espera activa en caliente. En caso de avería, el DCC de respaldo se conmuta automáticamente para mantener la comunicación de los datos. Ambos DCC están situados en el centro operacional.

El DCC es responsable de la gestión de las comunicaciones de datos hacia y desde los vehículos. Los mensajes entrantes de los vehículos se transfieren a los DCC donde son descodificados e interpretados. En base al contenido del mensaje se genera un reconocimiento y se devuelve al vehículo si fuese necesario. Luego, los mensajes se distribuyen simultáneamente a los servidores del sistema central (servidor de aplicación Orbcad y base de datos SQL) y a las estaciones de trabajo. La distribución simultánea de los mensajes asegura que los mensajes críticos, tales como ubicación del vehículo durante una emergencia, sean distribuidos a las estaciones de trabajo aunque ocurran averías en el sistema/red o servidor.

El software DCC también es responsable de la gestión del flujo de los mensajes salientes hacia los vehículos. Se mantiene una cola para cada vehículo y los reintentos de transmisión de mensaje son gestionados por el DCC para aquellos mensajes donde un reconocimiento específico de la recepción del mensaje es esperado desde el vehículo.

Finalmente, el DCC sirve como fuente de tiempo del sistema fijo para los servidores Orbcad, estaciones de trabajo y vehículos. El DCC puede usar directamente receptores GPS vinculados para la sincronización de la hora o puede ser sincronizado con otros servicios de tiempo, en la medida en que la fuente de tiempo está a su vez sincronizada con la base de tiempo GPS.

El software Orbcad se ejecuta en el DCC primario y en el de respaldo en vivo/redundante de tal manera que se ejecuta una conmutación rápida a la máquina de respaldo cuando se detecta un fallo en el servidor primario.

El controlador de comunicaciones de datos (DCC) envía y recibe datos a través de la red IP disponible en el router conectado. Los DCC redundantes son parte de una VLAN dedicada separada que soporta estas comunicaciones basadas en IP con el router y finalmente con la flota.

Dispositivo módem (G-TMD/RMD): El G-TMD/RMD es un servidor interfaz del sistema de datos. Funcionalmente, el G-TMD/RMD encamina las comunicaciones de datos de/hacia

vehículos específicos vía la interfaz de red. Los mensajes de texto salientes, mensajes de desvío, datos de programación, reconocimientos de recepción de mensaje y reconocimiento simple, etc. se envían vía paquetes UDP a través de la interfaz de red de comunicaciones los vehículos. Los mensajes entrantes y de datos se reciben vía la infraestructura celular, pasan a través la interfaz de red móvil inalámbrica hacia el G-TMD/RMD. Un servidor G-TMD/RMD se proporciona en el centro operacional. El DCC controla todas las comunicaciones de datos hacia y desde los G-TMD/RMD.

Redundancia, fiabilidad y mantenimiento de las comunicaciones Orbcad:

El subsistema de comunicaciones de datos Orbcad es robusto, fiable y de mantenimiento fácil. Se proporcionan diagnósticos a nivel del material para la mayoría de los equipos fijos y en caso de avería se han instalado componentes redundantes a fin de continuar las operaciones. ACS piensa que la redundancia de los elementos clave centrales del sistema es necesaria para ofrecer la disponibilidad del sistema informático.

Interfaz operador de control:

Se dispone de tres modos de comunicación con el sistema CAD/AVL Protransporte para cumplir con los requisitos:

Modo comunicaciones de datos (por defecto): El modo de comunicación de datos es el modo por defecto para el subsistema embarcado. En este modo de funcionamiento, se efectúan los mensajes bidireccionales entre el subsistema embarcado en el vehículo y el equipo fijo. Se ingresa a este modo al lanzamiento del equipo embarcado. Bajo condiciones de funcionamiento normal, se ingresa a otros modos de comunicación a través de mensajes del subsistema fijo.

Modo comunicación vocal bidireccional: El modo vocal bidireccional soporta las comunicaciones vocales bidireccionales entre el subsistema embarcado y el subsistema fijo en el sistema vocal. Al operar en este modo, los mensajes de datos no pueden interrumpir la conversación vocal en curso. Los mensajes (entrantes y salientes) se ponen en cola y se transmiten sólo cuando el subsistema embarcado vuelve al modo comunicación de datos. Se ingresa normalmente al modo vocal bidireccional bajo el mando del subsistema fijo después de una demanda de hablar (RTT) recibida del operador del autobús o por inicio del controlador. El modo vocal bidireccional se termina cuando el operador del autobús desconecta o cuando el vehículo detecta un fin de llamada (configurable) y se restaura el modo de comunicación de datos.

Modos de alarma de emergencia : El modo de alarma de emergencia es similar al modo de comunicaciones de datos. La diferencia es la rapidez del informe de ubicación aumentado a cada 15 segundos (configurable) y es posible el monitoreo vocal unidireccional. ACS soportará ambos interruptores de alarma de Protransporte. El modo

alarma de emergencia (EA) soporta comunicaciones vocales unidireccionales a partir del subsistema embarcado hacia el subsistema fijo vía el micrófono secreto integrado en la consola del conductor de OrbStar. Una vez activado pulsando el interruptor EA, se envía la transmisión del micrófono secreto al controlador. El modo micrófono secreto se ingresa en el mando a partir del subsistema fijo (después de recibir un evento alarma de emergencia del vehículo). El modo micrófono secreto se termina cuando el controlador inicia la acción de anulación del micrófono secreto en la consola.

Interfaz operador del vehículo:

Tal como se explicó, las comunicaciones de datos son el modo por defecto para el vehículo. Cuando el operador del autobús desea contactar al controlador a través del modo vocal, dispone de las funciones siguientes:

- RTT (demanda de hablar)
- PRTT (prioritaria demanda de hablar)
- Alarma de emergencia (EA)

Cada uno de estos tipos de llamada sólo son categorías de petición y se comunican de Orbstar a los controladores. El controlador está disponible para iniciar y terminar la llamada vocal. El controlador Protransporte puede realizar llamadas vocales a vehículos específicos. En general, hay dos tipos primarios de llamadas, llamadas bidireccionales y unidireccionales. Las llamadas iniciadas por el controlador en respuesta a mensajes RTT y PRTT de un vehículo, vía el botón de llamada, son llamadas vocales bidireccionales. Para la petición de alarma de emergencia, la llamada vocal es una llamada unidireccional del micrófono secreto donde el controlador puede escuchar la conversación en el vehículo pero no pueden comunicar con el vehículo a través del sistema vocal.

Para establecer una llamada vocal, el vehículo seleccionado es conmutado al modo vocal. El IVU activa el teléfono móvil en el vehículo para conmutar correctamente al teléfono del controlador solicitador. Una vez configurada la llamada, se puede realizar la comunicación vocal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Sistema de Transporte Masivo basado en BRT: Al ser un sistema de control de alta dimensionalidad, es un sistema de gran escala, de alta complejidad debido a que están formados por múltiples subsistemas con muchas entradas y salidas. La información que se tiene también es restringida y existen perturbaciones desconocidas. Entonces por estas razones el diseño o análisis de estos sistemas de gran escala no puede hacerse como un sistema de reducidas dimensiones. Debido a esto es que el presente informe se realiza mediante la descripción de subsistemas de control operacional desacoplados; lo que se quiere decir es que no se ha tenido en cuenta sus interconexiones. Es decir cada subsistema de control está descrito como un sistema débilmente acoplado con los otros subsistemas de control.
2. El caso del subsistema de Semaforización debe implementarse de tal manera que se usen todas las prestaciones instaladas como es el de vía libre por más tiempo en las horas pico para los Buses del BRT en la vía Troncal, haciendo realidad la vía segregada. Es lo que se denomina: Ola verde.
3. En los sistemas de control centralizado de los trenes: El enclavamiento es el sistema que realiza el establecimiento seguro de los itinerarios y generación de los mandos de movimiento (aspectos permisivos de las señales). De tal manera que una vez establecidos y comprobados los itinerarios, como el enclavamiento no tiene ninguna actuación sobre los mandos del tren por sí mismo. Esto se realiza mediante equipos ATP (Automatic Train Protection) o ERTMS (European Rail Traffic Management System), mediante dispositivos colocados en la vía al paso del tren llamados balizas o boyas, que actúan sobre el tren. Entonces la vía férrea se encuentra dividida en circuitos de vía cada 2 o 3 kilómetros, (llamados también bloqueos de vía) según sea el caso. Entonces el paso del tren se realiza mediante el establecimiento de itinerarios (sobre la vía: riel) y encaminamientos (sobre el cambiavía) y requiere el mando, control (enclavamiento) y comprobación de los elementos físicos de las vías de los ferrocarriles, para lograr un perfecto y seguro movimiento de los trenes en cualquier línea ferroviaria. Por lo que en el sistema de control por ATP los tiempos de adelanto o atraso son muy pequeños o casi no

existen.

Dicho esto: En cambio en el BRT de Lima: En el sistema Orbcad con el AVL (Ubicación automática de vehículos): Se define como adherencia al sistema que con ayuda del GPRS localiza y da la posición del vehículo. Pero hay una gran desventaja respecto del sistema ATP de los trenes. Es que esta localización está desfasada en el tiempo en un intervalo que va desde 1:30 minutos a casi 3:00 minutos; y distancia en intervalo de 50 a 100 metros. Y aun cuando sea configurable; esto incide mucho en el monitoreo y control de flota: tiempos de retardo o de adelanto que no son precisos.

4. El Sistema transporta más de trecientas mil personas diariamente desde los distritos del cono norte. Pero aún falta cubrir la demanda que se origina en esta parte de la ciudad metrópoli.

Recomendaciones

1. Dotar a cada una de las Estaciones de un sistema de energía ininterrumpida, de manera que ante el corte de la energía eléctrica, el sistema en su conjunto siga operando sin problemas. Esto se puede realizar adicionando un UPS enlazado para control desde el Comando de Operaciones del Centro de Gestión y Control (CGC).

2. Se podría optimizar el sistema si se involucra a los operadores del BRT (Conductores) modificando el software del siguiente modo: que el equipo de abordaje emita pitidos cortos cuando el Bus troncal esta con adelanto de más de 3 minutos y cuando esta con retardos, emita pitidos largos. Esto es para que el conductor este informado de este tiempo de desfase y proceda a regularse en tiempo y distancia. (Aun cuando se sabe además de que este adelanto o retardo ya está visualizándose en la pantalla del equipo de abordaje Orbstar).

3. El control de la Intersección semafórica tratado como Circuitos de vía: involucrando en los parámetros de diseño de un dispositivo para visualizar cada bus como los tiempos de layover, de embarques, de apertura de puertas, de trasbordos; la velocidad del bus en la troncal, la distancia entre estaciones. De tal manera que al iniciar el ciclo de vía libre (aspecto verde del semáforo) puedan pasar 6 buses consecutivamente. Para esto se debe desarrollar un controlador automático que permita el paso de 6 buses cuando la vía sea segregada realmente.

Con estos parámetros se debe programar los semáforos de las intersecciones segregadas con la seguridad de que la operación pueda permitir el paso regulado del material rodante y su respectiva visualización en un dispositivo a realizarse llamado: Cuadro Sinóptico de posicionamiento del convoy de buses.

4. Dotar de un sistema de radio troncalizado propio para mayor seguridad de la

operación de control y monitoreo de flota. Por cuanto la radio se escucha en multitud y las órdenes impartidas darán comunicación efectiva de tal manera que todos los involucrados tomaran conocimiento cabal de la situación presentada y tomaran las acciones coordinadamente para la solución imperativa inmediata.

5. Adoptar medidas de contingencia para cada uno de los subsistemas claves del "El Metropolitano" de Lima. Los siguientes casos deben ser contemplados.

-Cuando se bloquea el Sistema de Control y Monitoreo de Flota.

-Cuando el sistema de semaforización tiene una o más incidencias en una o más intersecciones con pérdida de tiempo en cada fase afectando así a la regularidad de cada servicio.

-Cuando la fibra se corte por un evento máximo.

-Adoptar un sistema alternativo de estadística de tráfico para cuando el sistema de ACS entre en avería por cobertura.

-Adoptar entonces un sistema de identificación alternativo de los vehículos del BRT por avería del sistema de ACS.

6. Se deben implementar estaciones más al norte para captar la demanda que se origina en los distritos del cono norte. Por ejemplo en Sinchi Roca, Puente Piedra, Carabaylo, Collique y Zapallal.

ANEXO A
PRUEBAS DEL COSAC I

La puesta en marcha del COSAC I ha requerido actividades no solamente técnicas, sino logísticas, estratégicas, administrativas y sociales.

Las condiciones mínimas para las pruebas y la puesta en marcha del COSAC I fueron las siguientes:

- Corredores terminados
- Estaciones terminadas
- Terminales terminados
- Red de comunicaciones (fibra óptica) terminada.
- Etapa1: Corredor Sur (Matellini-Estación Central)
- Operación Temprana: Servicio Troncal Terminal Matellini-Estación Central y Servicio de Alimentación Sur
- Primera fase reestructuración de rutas transporte colectivo (GTU)
- Propuesta de plan de servicios para Etapa 1 (Diseño Operacional)
- Pruebas previas independientes y conjuntas (marcha blanca)
- Conductores vinculados, capacitados y con entrenamiento en la ruta (a cargo de Concesionarios
- Ajustes contractuales necesarios reflejados en las Adendas
- Operadores organizados
- Seguros contratados
- Acceso y servicios al Patio Sur culminados
- Equipamiento de Patios a cargo del operador (lavado, grúas, compresoras, máquinas enllante, otros)
- Suministro de buses articulados (troncal) y convencionales (alimentadores)
- Gasocentros culminados

A continuación se muestran los cuadros de pruebas del Cosac:

ANEXO B
PRECIOS Y PARTES BASE DEL COSAC I

El financiamiento total de los concesionarios es aproximadamente de US\$ 200 millones, de los cuales el 80% fue financiado mediante créditos de Interbank y el 20% con recursos propios.

Entonces los precios de los servicios corresponden la ficha técnica del COSAC 1; como sigue:

Demanda	: 700 mil pasajeros / día
Oferta hora punta	: 16 mil pasajeros / hora / sentido
Velocidad Promedio	: Entre 25 y 30 Km./h.
Estaciones	: Centro de la calzada con plataforma elevada.
Buses	: Plataforma elevada y a gas natural.
Sobrepaso de buses	: Posibilidad de servicios expresos.
Tiempo de espera	: 3 minutos a 5 minutos según servicio
Pago de pasaje	: Mediante tarjeta inteligente
Validación	: En el acceso a las estaciones o en buses alimentadores

Que fue elaborada por Movilidad Sostenible en para la actualización del Diseño Operacional del COSAC I. (Octubre del 2009).

La distribución de Buses por concesionario esta descrita en la Tabla B.1:

Tabla B.1 Descripción de la flota del COSAC I.

Lote	Zona de Alimentación	Buses		
		Articulados	Convencional	Convencional
1	Sur Lima Vías Express SA.	78	39	---
2	Norte 1A Lima Bus Internacional S.A.	78	39	---
3	Norte 1B Transvial S.A.C.	78	20	56
4	Norte 2 Perú Masivo S.A.	78	75	---
TOTAL		312	173	56
TOTAL BUSES			541	

EL costo de equipamiento por cada bus esta descrito en el siguiente cuadro; cabe mencionar que dicho costo es mayor en el Bus Alimentador que el Bus Troncal.

Tabla B.2 Equipamiento por bus alimentador de 9 a 12 metros.

Equipos de recaudo	Cantidad	Precios
Torniquetes Alimentadores	01	\$3,553,09
Validador	01	\$909.93
Terminal transmisión datos	01	\$663.64

Equipos CGC		
GPS	01	\$348.09
Computador	01	\$3,104.63
Panel exterior frontal	01	\$3,244.73
Panel interior puertas	01	\$879.47
Panel interior fijos en techo	01	\$908.11
Terminal transmisión de datos	01	\$752.64
Equipos de audio y voz	01	\$715.01
Sensor conteo alimentadores	01	\$1,813.96
Total inversión adicional en 01 bus alimentador		\$16,892.29

Tabla B.3 Equipamiento de 01 bus troncal 18 metros.

Equipos de recaudo	cantidad	Precios
Torniquetes Alimentadores	0	\$0.00
Validador	0	\$0.00
Terminal transmisión datos	0	\$0.00
Equipos CGC		
GPS	01	\$348.09
Computador	01	\$3,104.63
Panel exterior frontal	01	\$3,244.73
Panel interior puertas	02	\$1,758.94
Panel interior fijos en techo	02	\$1,816.22
Terminal transmisión de datos	01	\$752.64
Equipos de audio y voz	01	\$715.01
Sensor conteo alimentadores	00	\$0.00
Total inversión adicional en 01 bus Troncal		\$11,740.26

Entonces el costo total seria :\$11,740.26 x 312=\$3'662,961.12 en Buses Troncales. Y en Buses Alimentadores: \$16,892.29 x 229 =\$3'868,474.10.

Contrato de Concesion de recaudo se tiene la informacion base:

1. Demanda en indice de crecimiento: Promedio diario de demanda: 642,857 al inicio de la operación.
2. Tasa de crecimiento de la demanda 1% por año a lo largo de los 14 años de la concesion.
3. Factor de actualizacion de 2.5% por año a lo largo de los 14 años de la concesion.

Con una estructura de inversion descrita en el Contrato de Concesion de recaudo y sus anexos 10 y 16.

En el siguiente cuadro se visualiza la inversión prevista para las años 0 al 14.

Tabla B.4 Inversión inicial en recaudo y en el centro de control y gestión.(USD)

Periodo	Inversión	Depreciación/amortización
Año 0	19 164 263.99	0
Año 1	972 789.74	2 858 248.50
Año 2	20 475.00	2 858 248.56
Año 3	0	2 858 248.56
Año 4	0	2 858 248.56
Año 5	0	2 802 011.99
Año 6	534 582.64	2 783 667.38
Año 7	534 582.64	2 202 197.43
Año 8	0	944 291.54
Año 9	0	312 141.57
Año 10	0	287 564.44
Año 11	0	131 493.66
Año 12	1 955 307.17	314 755.42
Año 13	1 955 307.17	629 510.84
Año 14	0	629 510.84

Y las características del financiamiento:

Tabla B.5 Características del Financiamiento (USD).

Tasa Anual de la Deuda (TEA)	8.70%
Porcentaje de la deuda/capital propio	514.41%
Plazo de la deuda (años)	6.5
Años de gracia a capital	1.3
Años de gracia a intereses	0
Modalidad de pago	Mensual

Y los Costos de Operación por año:

Tabla B.6 Costo inicial en recaudo y en el centro de control y gestión (USD).

Tipo	Costo (1er año)	%
TISC	26 080.00	0.43
Piezas de reemplazo de los equipos y dispositivos de recaudo	883 548.67	13.45
Costo de mantenimiento y recaudo y Centro de Gestión y Control	518 909.54	7.90
Soporte de Sistema & Software de Recaudo y Centro de Gestión de control	2 099 605.41	31.95
Transporte de valores	875 651.92	13.32
Seguro de equipos	50 000.00	0.76
Año Costos de personal	2 115 704.88	32.20

ANEXO C
EXTRACTO DEL ALGORITMO DEL SOFTWARE DEL MODELO DE LA RED DE
TRANSPORTE ESTRAUS

La formulación del modelo considera un equilibrio bimodal entre vehículos de transporte privado y vehículos de transporte público, considerando explícitamente las interacciones de congestión existentes entre ellos dado que operan sobre la misma infraestructura y compiten por la misma capacidad.

Dependiendo del nivel de detalle del análisis, y de las hipótesis que se hagan respecto del impacto que la implementación del plan a evaluar pudiera tener sobre la distribución y la partición modal de los viajes, pueden utilizarse dos modelos de comportamiento diferentes en la ejecución de ESTRAUS: Un modelo de equilibrio simultáneo de distribución, partición modal y asignación conjuntas, en que se supone impactos en las tres etapas del modelo; y un modelo de equilibrio simultáneo de partición modal-asignación, con matrices de viajes fijas (distribución fija), en que sin embargo la repartición entre los modos no se realice por simple asignación sino como resultado de un proceso de elección modal.

El modelo considera restricción de capacidad tanto para la red vial como para la red de servicios de transporte público. El modelo incorpora además "Asignación Multiclase" de vehículos a la red vial. Ello permite considerar que el valor de la tarifa, a nivel de las elecciones de los usuarios sobre la red vial, es percibida en forma diferenciada por los individuos, dependiendo naturalmente de su nivel de ingreso.

La red básica, utilizada para la asignación de transporte privado, está representada por un grafo $G = (N, A)$, donde N es el conjunto de nodos y A el conjunto de arcos.

El primero representa las intersecciones de calles y los centroides de las zonas (localización del origen y destino de los viajes), y el segundo conjunto representa las calles de la ciudad. Existe, además, una red para modos que efectúan combinación entre transporte privado y transporte público (caso del BRT, metro), compuesta por la red básica a la cual se agregan arcos que representan las rutas mínimas sobre la red de transporte público independiente. Los viajes de transporte privado y de estos modos combinados se asignan sobre las respectivas redes, sin embargo, se consideran las interacciones de congestión entre ambos tipos de usuarios.

Redes de transporte público:

Existe también una red para cada uno de los modos de transporte público, que representa los servicios ofrecidos a los usuarios, y está dada por el grafo $G^m = (N^m, r)$, en el cual N^m es un subconjunto de N y r es el conjunto de todas las líneas del modo m sobre la red.

La aplicación a ESTRAUS del concepto de restricción de capacidad de los servicios de transporte público hace necesario considerar las siguientes redes de servicios:

Una red para cada modo simple (bus, taxi colectivo, metro), que contiene sólo arcos virtuales de viaje del modo, arcos de transbordo entre servicios del modo y arcos de acceso.

Una red para cada modo combinado (bus BRT-metro, taxi colectivo-metro) que corresponden a la suma (superposición) de las redes de los modos simples que los componen.

Modelos de demanda:

La modelación de la demanda (distribución y partición modal) considera distintos propósitos de viaje (trabajo, estudio y otros) y distintas categorías de usuarios, resultantes de la combinación de niveles de ingreso y niveles de propiedad del material rodante, eliminando las combinaciones inconsistentes entre ambos niveles.

Para la distribución de viajes se utilizaron modelos gravitacionales doblemente acotados, y para la partición modal, modelos de elección discreta.

Para los usuarios de transporte privado, sólo es relevante establecer diferencias según el nivel de ingreso, pues ello está relacionado con la percepción de la tarifa. Entonces, el conjunto de todas las clases de usuarios de transporte privado para efectos de asignación R , es un subconjunto de las categorías totales V utilizadas por los modelos de demanda.

Para el comportamiento individual de cada usuario, la solución de equilibrio se define por tres conjuntos de condiciones. La primera de ellas se refiere a los principios de comportamiento a nivel de asignación (sobre la red vial), la segunda se refiere a supuestos de comportamiento de los usuarios de los servicios de transporte público a nivel de asignación y finalmente, la última se refiere a la elección de los usuarios en las etapas de demanda.

Primero: La solución de equilibrio se obtiene cuando: "Para todos los usuarios de transporte privado, en cada clase, y cada par origen-destino de viaje, ningún viajero tiene incentivo para cambiar unilateralmente de ruta sobre la red respectiva"; luego para cada par O-D y cada clase de usuarios, todas las rutas utilizadas presentan igual costo de operación, en tanto las no utilizadas, presentan costo de operación superiores.

Segundo: La solución de equilibrio se obtiene cuando: "Para todos los usuarios de transporte público, de modos puros o combinados y cada par origen-destino de viaje, ningún viajero tiene incentivo para cambiar unilateralmente de ruta sobre la red respectiva"; luego, para cada par O-D, todas las rutas utilizadas presentan igual costo de operación, en tanto las no utilizadas, presentan costo de operación superiores. Para el caso de los usuarios de los modos combinados, la ruta compuesta tiene una parte en

cada modo que la compone.

Tercer término: La proporción de usuarios que viajan entre pares de estaciones, con propósitos diversos, pertenecientes a la misma ruta y, utilizando para ello el modelo de transporte masivo, está dado por el modelo de la función de demanda, que depende del vector de utilidades modales, que corresponde a los viajes realizados entre el par O-D. En la categoría (resultado del modelo de distribución, o dato exógeno si se usa modelo con distribución fija. (Resultado del modelo de partición modal).

A continuación se representa el diagrama de la formulación del modelo matemático y problema de optimización equivalente planteada que corresponde a un problema de equilibrio oferta-demanda, multimodal:

Algoritmo de solución para el equilibrio simultáneo:

El algoritmo presentado corresponde al modelo general en que las etapas de distribución, partición modal y asignación se consideran variables. En el caso de considerarse distribución fija, el algoritmo aplicado es totalmente equivalente, con la salvedad que no es necesario calcular las matrices de distribución (que son dato exógeno al problema), ni los costos compuestos y otros factores asociados al submodelo de distribución.

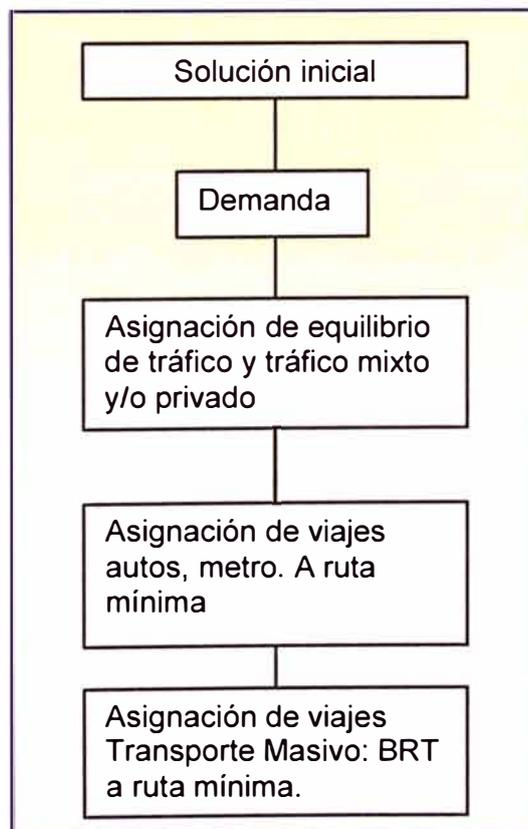


Figura C.1 Solución inicial del proceso de modelamiento de transporte ESTRAUS.

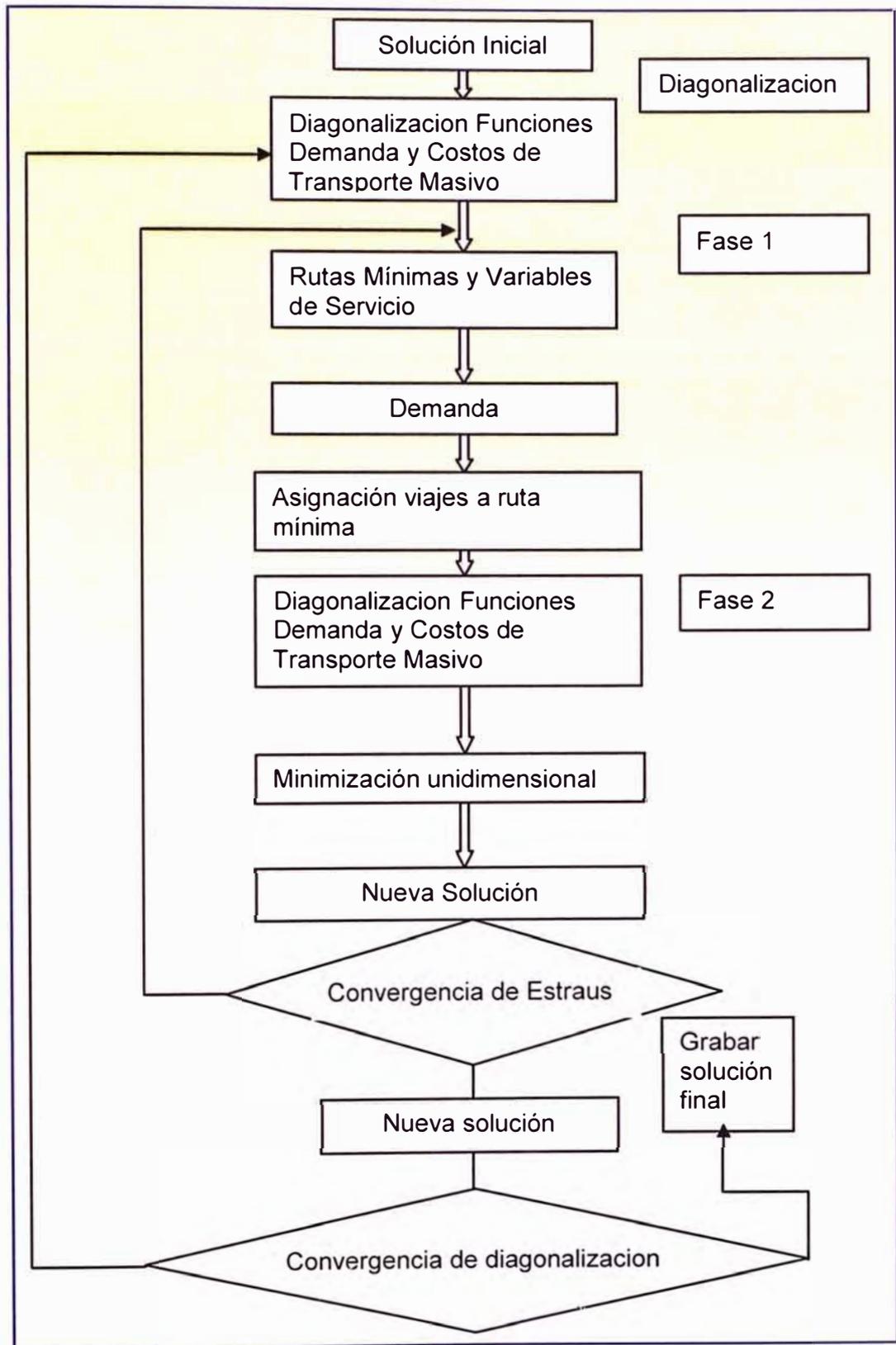


Figura C.2 Proceso de modelamiento de transporte ESTRAS.

ANEXO D
ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

AATE:	Autoridad autónoma p.e. sistema de transporte eléctrico
AISUM:	Software integrado de modelización de transporte masivo
APC:	Automated passenger counter
ASA:	Automatic stop annunciators
ASTM E-162:	American Society for Testing and Materials
ATP:	Automatic train protection
AVL:	Automatic vehicle location
BRT:	Bus rapid transit
CAD:	Computer-aided dispatch
CAS:	Collision avoidance system
CCTV:	Closed-circuit television
CGC:	Centro de Gestión y Control
CO:	Monóxido de carbono
COSAC:	Corredor segregado de alta capacidad
CRTMA:	Charles River Transportation Management Association
Crystal Report:	Bases de datos escritor de informes
CTA:	Chicago Transit Authority
Cuencas de demanda:	Ámbito GIS del sistema de transporte
DCC:	Controlador de comunicación de datos
DOT:	Department of Transportation
DRT:	Demand responsive transit
DMTU:	Dirección general de transporte urbano
Elab. Propia:	Elaboración propia
Efecto Invernadero:	Fenómeno de retención de gases GEI
EMME- 2,3:	Software de modelación predictivo de transporte urbano
ERTMS:	European Rail Traffic Management System
ESTRAUS:	Modelo computacional de un sistema de transporte urbano
ETC:	European Transient Cycle
EURO IV:	Norma europea de emisiones de gases de combustión
ETA:	Estimated time of arrival
FHWA:	Federal Highway Administration
FTA:	Federal Transit Administración
GEI:	Gases de efecto invernadero
GHG PROTOCOL:	Normativa huella de carbono, ISO 14064-1, PAS 2050
GIS:	Geographic information systems
GPRS:	General packet radio service

GPS:	Global Positioning System
G-TMD/RMD:	Servidor interfaz del sistema de comunicación de data vehicular
HPC:	Control predictivo hibrido
IBL:	Intermittent bus lane
IPK:	Índice Promedio Kilométrico
ITS:	Intelligent transportation systems
IVR:	Interactive voice response
IVU:	Unidad vehicular inteligente
ISO-3411:	Norma sobre medidas ergonómicas y espacio envolvente del operador.
LACMTA:	Los Angeles County Metropolitan Transit Authority
LED:	Light-emitting diode
Lima Bus I.:	Concesionario de transporte del BRT.
Lima Vías:	Concesionario de transporte del BRT.
Matlab:	Laboratorio de matrices, herramienta de software matemático
MATRIZ OD:	Matriz origen destino
MB:	Megabytes
MBL:	Moving bus lane
MBTL:	Moving Bus/Tram Lane (study)
MCTS:	Milwaukee County Transit System
MDC:	Mobile data computer
MDT:	Mobile data terminal
Método bottom up:	Programación estructurada discretizada
Metodo Top Down:	Programación estructurada analiza efecto invernadero
MPC:	Model Predictive Control
MVA:	Motor Vehicle Administration
NFPA-52:	National Fire Protection Association 52
NCTD:	North County Transit District
NOX:	Oxido de nitrógeno
OCTA:	Orange County Transportation Authority
Orbcad:	Control asistido por computadora
OrbStar:	Equipo de navegación a bordo del Bus de BRT
$\left[\frac{Pas}{m^2}\right]$:	Pasajeros por metro cuadrado.
$\left[\frac{Pas}{Bus}\right]$:	Pasajeros por Bus
pas/hr/sentido:	Pasajeros por hora por sentido

[pas/min]:	Pasajeros por minuto
(pas/u.t.):	Pasajeros por unidad de tiempo
PDA:	Personal digital assistant
PM:	Materia particulada orgánica
Perú Masivo:	Concesionario de transporte del BRT.
Proceso de Poisson:	Proceso estocástico de tiempo continuo
PRTT:	Prioridad de demanda de hablar
PWC:	Plant wide control
Recaudo:	Recaudación
ROSTERING:	Listado o hoja de ruta de servicios
RTT:	Demanda de hablar
RUNCUTTER:	Método de programación de servicios de transporte
SAE:	Sistema de Ayuda a Explotación
SAF:	Sistema de Administración Financiera
SAU:	Sistema de Atención al Usuario
SCD:	Sistema de Control de Demanda
SCR:	Sistema Central de Recaudo
SAE J1491:	Normas para desempeño de aceleración mecánica.
SAE J2406:	Society of Automotive Engineers J2406
SEPTA:	Southeastern Pennsylvania Transit Authority
SICE:	Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas
Servicios Troncales:	Servicios de transporte con bus de 18m.
Schedule Master:	Maestro programador de TMS
SOX:	Óxidos de azufre
ESTRAUS:	Software de solución de redes de transporte
Transvial:	Concesionario de transporte del BRT.
TCRP:	Transit Cooperative Research Program
TMS:	Sistema de programación de ruta fija
TRANSCAD:	Software de planeamiento de transporte con GIS
TSP:	Transit signal priority
UDP:	Use datagram protocolo: Se usa para intercambio de datagramas de y hacia los vehículos.
$\left[\frac{u.t.}{Bus}\right]$:	Unidad de tiempo por Bus.
(u.t.)	Unidad de Tiempo.
VMS:	Variable message signs

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alvarez Icaza, Luis, "Simulación y control de tráfico vehicular, México: UNAM 2005.
- [2] M.Sc. Ing. Fanny Eto Chero, "Situación actual y problemática del transporte público en Lima Metropolitana", Protransporte, 2003.
http://www.Protransporte.gob.pe/pdf/info/publi2/situac_TPub_1-25.pdf.
- [3] Updated Project Information Document, Banco Mundial Junio, 2003.
<http://www.Protransporte.gob.pe/pdf/info/publi2/World%20Bank%20Proj%20Info%20Doc.pdf>.
- [4] Genovez Mendieta, Klever. "Diseño de una red OTN para la integración de tecnologías de telecomunicaciones del Sistema Eléctrico de transporte de Lima y Callao" (Tren Eléctrico) , Informe de Suficiencia, 2012.
- [5] Joseh Maria Rossell Garriga. "Contribución a la Modelización y al Control Descentralizado de Sistemas de Gran Escala Mediante Descomposición con Solapamiento, Tesis Doctoral, 1998.
- [6] Avishai Ceder. "Public Transit Planning and Operation". Theory, Modeling and Practice.
- [7] ACS Transport Solutions Inc., Grupo Transportation Management Solutions. "Manual del Usuario de CAD para el Sistema Orbcad.
- [8] ACS Transport Solutions Inc., Grupo Transportation Management Solutions." Diseño del Sistema Central de Recaudo y del Centro de Gestión y Control. Concesión de la Operación de Recaudo.
- [9] Movilidad Sostenible. Bogotá, Colombia. www.movilidadesostenible.com. "Actualización del Diseño Operacional del COSAC I. Para el Instituto Metropolitano Protransporte de Lima."
- [10] Instituto Metropolitano Protransporte de Lima. "Contrato de Recaudo. Especificaciones Técnicas de la Unidad de Recaudo. Anexo 01,09 y 10. Lima Julio 2008."
- [11] Instituto Metropolitano Protransporte de Lima. "Contrato de Concesión de la Operación del Servicio de Transporte de Pasajeros Mediante Buses Troncales y Alimentadores en el Sistema de Corredores Segregados de Buses de Alta Capacidad (COSAC I). Y sus Anexos. Lima Julio 2008."
- [12] Jorge Napoleón Almeida Garzón. "Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Monitoreo Centralizado de Flujo Vehicular y Peatonal"
- [13] Francesco Corman. "Real-time Railway Traffic Management: dispatching in complex, large and busy railway networks".

- [14] Michiel Vromans. "Reliability of Railway Systems".
- [15] Thanatchai Kulworawanichpong. "Optimising AC Electric Railway Power Flows with Power Electronic Control".
- [16] Javier Madrigal Caballero. Bombardier Spain "Proyecto diseño de las instalaciones de señalización, control de tráfico centralizado, protección y seguridad y sistemas auxiliares de detección del tren para un tramo de línea de alta velocidad.
- [17] Josep Maria Rosell Garriga." Contribucion a la Modelación y al Control descentralizado de Sistemas de Alta Escala mediante descomposición con solapamiento".
- [18] Jorge Eduardo Graña. "Sistema electrónico de seguimiento y posicionamiento de una Flota de Vehículos en tiempo real".
- [19] Yachiyo Engineering CO., Ltd. en asociación con Pacific Consultants International Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). Consejo de Transporte de Lima y Callao Ministerio de Transportes y Comunicaciones de la República del Perú: Plan Maestro de Transporte Urbano para el área Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú.