

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Logística Urbana en Quito: Esquema de distribución para
DINADEC (Cervecería Nacional) en el Centro Histórico de Quito**

Juan Pablo Córdova Paredes

Director de Tesis

MS. Daniel Merchán Dueñas

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Industrial

Quito, mayo de 2013

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Logística Urbana en Quito: Esquema de distribución para
DINADEC (Cervecería Nacional) en el Centro Histórico de Quito**

Juan Pablo Córdova Paredes

Daniel Merchán Dueñas. MS.
Director de Tesis
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova PhD.
Miembro del Comité de Tesis
Directora de Ingeniería Industrial
Decana del Colegio de
Ciencias e Ingeniería

Diego Güilcapi MS.
Miembro del Comité de Tesis

Quito, 21 de mayo de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: _____

Nombre: Juan Pablo Córdova Paredes

C. I.: 1715829956

Lugar: Quito, Ecuador

Fecha: 21 de mayo de 2013

DEDICATORIA

Ama y haz lo que quieras, San Agustín.

A mi Madre que es luz y que me guarda desde el Cielo y a mi Pa, el Mau y el Peque con quienes hemos logrado “salido jugando” a lo largo de estos cinco años, mi razón de lucha cada día.

De manera especial a la abuelita Marujita y al abuelito Pepe, ejemplo claro del amor que lo da todo sin esperar nada a cambio.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María que con su diaria compañía han llenado mi vida de Amor a lo largo de este camino.

A mi Pa, el Mau y el Peque por su apoyo incondicional.

A mis abuelitos, Marujita y Pepe que con su cariño y su oración me han fortalecido y han mantenido a la familia unida.

A mi familia que ha estado siempre pendiente de mí. De manera especial a Amparo y Daniela.

A los profesores de la Universidad San Francisco de Quito, protagonistas también de este proceso de crecimiento humano y académico. Realizo un reconocimiento especial a Daniel Merchán.

A mis amigos que han caminado conmigo en este proceso en medio de risas, lágrimas, viajes y largas jornadas de trabajo y a Guerreros de la Fe.

A Cervecería Nacional S.A por haber gentilmente abierto las puertas para la realización del presente estudio.

Al programa Chancellor Grants que ha dado sustento financiero para el estudio.

Resumen

La red actual de distribución de DINADEC en el Centro Histórico de Quito es caracterizada y analizada desde una perspectiva de Logística Urbana. En base a este análisis se diseñó un nuevo esquema distribución utilizando un enfoque de Toma de Decisiones Multicriterio en base al Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) y en varios modelos de Investigación de Operaciones. Se utilizó grafos de red para representar los diseños de red a lo largo del proceso de modelado. La red propuesta cumple con las restricciones municipales en el CHQ, disminuye las distancias recorridas por camiones en el CHQ y balancea los tiempos diarios de entrega.

Abstract

The current DINADEC's distribution network in the Historic Center of Quito is characterized and analyzed at an Urban Logistics perspective. Based on the analysis a new distribution scheme is designed using a Multi Criteria Decision Making approach based on AHP and several operation research models. Network graphs were used to represent the network designs through the modeling process. The proposed network fulfills the municipality restrictions, diminishes truck route distances inside the HCQ and balances daily delivery times.

Índice General

Resumen	7
Abstract.....	8
Índice General.....	9
Índice de figuras.....	15
Índice de Tablas	19
1 Introducción.....	22
1.1 Antecedentes.....	22
1.1.1 El Centro Histórico de Quito.....	22
1.1.2 Cervecería Nacional y DINADEC.....	23
1.1.3 Justificación	24
1.2 Problema de estudio	25
1.3 Objetivos del estudio.....	26
1.3.1 Objetivo General.....	26
1.3.2 Objetivos específicos.....	26
1.4 Alcance	27
1.4.1 Factores incluidos.....	27
1.4.2 Factores excluidos.....	28
1.5 Marco Teórico.....	28
1.5.1 Logística	28
1.5.1.1 Redes logísticas	28
1.5.1.2 El concepto de Logística Urbana	29

	10
1.5.2	Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) para la toma de decisiones multicriterio..... 30
1.5.3	Investigación de operaciones y modelos de optimización 32
1.5.3.1	Modelos de Investigación de Operaciones 32
1.5.3.2	Clasificación de modelos de Investigación de Operaciones 33
1.5.4	Algunos tipos de geometría para medición de desplazamientos..... 35
1.5.4.1	Distancia del gran círculo 35
1.5.4.2	Geometría del Taxista 38
1.5.5	Introducción a Teoría de Grafos..... 39
2	<i>Revisión Literaria</i>..... 41
2.1	Géneros de literatura incluidos en la revisión.....41
2.2	Metodología de revisión literaria41
2.3	Investigación actual en Logística Urbana.....42
2.3.1	Metodologías de transferibilidad 42
2.3.2	Caracterización de ciudades y lugares de estudio..... 46
2.3.3	Algunas aplicaciones en Logística Urbana 47
2.3.3.1	Mejores prácticas propuestas por BESTUFS 47
2.3.3.2	Algunos casos de estudio expuestos en TURBLOG 50
2.3.3.3	Una solución de Logística Urbana en el Centro Histórico de Lucca, Italia. 52
2.3.3.4	Zonas de Carga y Descarga en Paris 54
3	<i>Metodología y Diseño de la Investigación</i>..... 57
3.1	Descripción de la metodología a utilizarse.....57
3.2	Justificación de la metodología59
3.3	Fuentes y recolección de datos60
3.4	Equipo de trabajo61

4	<i>Desarrollo y Análisis</i>	62
4.1	Descripción logística del Centro Histórico de Quito	62
4.1.1	Delimitación Municipal	62
4.1.2	Características demográficas y comerciales.....	64
4.1.3	Aspectos logísticos de interés	65
4.1.3.1	Velocidades de circulación	65
4.1.3.2	Nodos y arcos logísticos importantes.....	67
4.1.4	Restricciones municipales de circulación.....	68
4.2	Caracterización del Problema de Estudio	70
4.2.1	Cadena de Suministro de Cervecería Nacional	70
4.2.2	Descripción del proceso de Venta y Distribución de DINADEC	71
4.2.3	La Red de Distribución de DINADEC en el Centro Histórico	75
4.2.3.1	Definición del Perímetro de incidencia del problema	75
4.2.3.2	Número de clientes y Drop Size promedio.....	77
4.2.3.3	Frecuencia de visitas.....	78
4.2.3.4	Indicadores actuales de desempeño.....	79
4.2.4	Costos de distribución para Distribuidora Aleaga Fuigeroa	81
4.2.5	Problemática encontrada en el Centro Histórico.....	84
4.2.6	Retos logísticos	86
4.3	Esquema de solución propuesto	87
4.3.1	Redes de distribución alternativas	87
4.3.1.1	Mejores prácticas en logística urbana.....	87
4.3.1.2	Esquemas de distribución de empresas de consumo masivo en el CHQ	89
4.3.1.3	Esquemas propuestos de distribución	91
4.3.2	Elección del Diseño de Red	96
4.3.2.1	Criterios de decisión	96
4.3.2.2	Determinación de valores de cada criterio y subcriterio	98

4.3.2.3	Selección del Diseño de Red mediante AHP	100
4.4	Caracterización de la alternativa de decisión actual.....	105
4.4.1	Una propuesta de solución: Zonas de carga y descarga.....	105
4.4.2	Determinación de posibles lugares para implementar Zonas de Carga y Descarga en el CHQ.	108
4.4.3	Selección de los veinte mejores posibles lugares para la implementación de zonas de carga y descarga.....	109
4.4.4	Determinación de Rutas Maestras de Distribución	111
4.4.4.1	Criterios de decisión	111
4.4.4.2	Modelo de asignación de lugares (zonas) de carga y descarga a rutas maestras de distribución	114
4.4.4.3	Rutas maestras encontradas	114
4.4.4.4	Comparación de las rutas obtenidas con las rutas maestras actuales de distribución dentro del polígono del CHQ.....	116
4.4.4.5	Asignación de días de distribución para las rutas determinadas.....	119
4.4.5	Detalles operativos de la solución.....	120
4.4.5.1	Conformación de los equipos de entrega.....	120
4.4.5.2	Uso de carretillas de mano.....	121
4.4.5.3	Nuevos tiempos totales de entrega bajo las nuevas condiciones operativas.....	123
4.4.6	Plan de contingencia	124
4.5	Análisis de viabilidad.....	127
4.5.1	Viabilidad técnica.....	127
4.5.1.1	Diseño de Zonas de Carga y Descarga	128
4.5.2	Viabilidad legal	128
4.5.3	Viabilidad económica.....	129
4.5.3.1	Costos adicionales sin considerar plan cooperación CN – DMQ	130
4.5.3.2	Costos adicionales considerando plan cooperación CN-DMQ	131

4.5.3.3	Beneficios esperados con la implementación del nuevo Esquema	132
4.5.4	Cooperación público-privada Cervecería Nacional – Municipio del Distrito Metropolitano de Quito	134
5	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	136
5.1	Hallazgos más importantes del estudio	136
5.2	Limitaciones del estudio	139
5.3	Recomendaciones.....	140
5.4	Futuros estudios	141
6	<i>Referencias</i>	142
7	<i>Anexos</i>	147
7.1	Anexo 1. Descripción de los perfiles logísticos identificados por TURBLOG (TURBLOG, 2011-B).....	147
7.2	Anexo 2. Comparación en términos de impacto para varios casos de estudio analizados por TURBLOG.....	148
7.3	Anexo 3. Cadena de suministro de Cervecería Nacional. Flujos de producto, información y dinero	149
7.4	Anexo 4. Modelo de costos de Diseño de Red	153
7.5	Anexo 5. Escala de importancia relativa para comparaciones pareadas utilizadas en AHP (Saaty, Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process, 1986).....	167

7.6 Anexo 6. Listado de las posibles zonas de carga y descarga en el polígono de estudio del CHQ.....	168
7.7 Anexo 7. Determinación de Coordenadas de ubicación de clientes bajo la Geometría del Taxista.....	170
7.8 Anexo 8. Modelo de selección asignación zonas de carga/ descarga y clientes.....	175
7.8.1 Definición del Modelo	175
7.8.2 Resolución del modelo para el caso de Cervecería Nacional con la Distancia del Gran Círculo	177
7.8.2.1 Visualización de la red diseñada.....	181
7.8.3 Solución al modelo de asignación bajo la geometría del taxista	183
7.9 Anexo 9. Modelo de asignación de rutas maestras	188
7.9.1 Definición del modelo	188
7.9.2 Método heurístico de resolución	190
7.9.3 Resolución del Modelo para el caso de Cervecería Nacional	192
7.9.3.1 Parámetros utilizados	192
7.9.3.2 Resolución del modelo para la creación de 5 rutas de distribución.....	194
7.9.3.3 Resolución del modelo para la creación de 6 rutas de distribución.....	200

Índice de figuras

<i>Figura 1.1-1. Instalaciones de la CIA. de Cervezas Nacionales en Guayaquil, Ecuador. Fuente: (Ekos, 2012) _</i>	<i>23</i>
<i>Figura 1.5-1. Procedimiento de toma de decisiones siguiendo el Análisis Jerárquico de Procesos. Fuente: (Saaty, Decision Making with the Analytical Hierarchy Process, 2008) Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes __</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1.5-2. Clasificación de modelos de Investigación de Operaciones. Fuente: (N.K. Tiwari, 2006) _____</i>	<i>35</i>
<i>Figura 1.5-3. Un círculo de latitud constante entre dos puntos en la superficie de la Tierra (izq) y un Gran Círculo que pasa por los mismos puntos (der). Fuente: (Clynch, 2006) _____</i>	<i>36</i>
<i>Figura 1.5-4. Mapa de la parte Central de Chicago y un desplazamiento siguiendo trayectorias paralelas a los ejes x e y. Fuente: Google Maps, 2013 _____</i>	<i>39</i>
<i>Figura 1.5-5. Definición de arcos dirigidos. En (a) el arco (A,B) tiene asociada una dirección. En (b) no está asociada una dirección al arco (A,B), de manera que el arco (A,B) es igual al arco (B,A). Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.3-1. Definición del perfil logístico en términos de sus 3 pilares fundamentales. Fuente: (TURBLOG, 2011-B) _____</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.3-2. Metodología de transferibilidad propuesta por CIVITAS y utilizada por TURBLOG. Fuente: (TURBLOG, 2011) _____</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.3-3. Esquema de distribución de CEDM en Las Murallas, Lucca Fuente: (Di Bugno, Guerra, Ambrosino, & Boero, 2008). _____</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.3-4. Ejemplo de una zona Half-Lincoln. Elaborado por: (Paris City Council Roads & Transport Department, 2005) _____</i>	<i>55</i>
<i>Figura 2.3-5. Diseño de una zona Lincoln de Carga y Descarga. Fuente: (Paris City Council Roads & Transport Department, 2005) _____</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3.1-1. Metodología propuesta de investigación. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____</i>	<i>59</i>
<i>Figura 4.1-1. Delimitación Parroquia Centro Histórico de Quito y Casco Colonial. (D'Ercole & Metzger, 2002).</i>	<i>63</i>
<i>Figura 4.1-2: Límites del Centro Histórico de Quito. Elaborado por Juan Pablo Córdova Paredes _____</i>	<i>64</i>
<i>Figura 4.2-1. Esquema general de la cadena de suministro de Cervecería Nacional. _____</i>	<i>71</i>
<i>Figura 4.2-2. Proceso de televenta y distribución de CN y DINADEC Quito. _____</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4.2-3. Captura de RoadShow desplegando la ruta de Distribución del día Martes en el CHQ. Los clientes (minoristas) están representados por círculos mientras que los depósitos por cuadrados. _____</i>	<i>73</i>
<i>Figura 4.2-4. Proceso de realización de entregas en ruta. _____</i>	<i>75</i>

<i>Figura 4.2-5. Polígono que define las zonas más conflictivas de acuerdo al primer criterio de delimitación.</i>	76
<i>Figura 4.2-6. Definición del Polígono de trabajo para el estudio de distribución en CN.</i>	77
<i>Figura 4.2-7. Histograma ordenado de clientes de CN y clientes activos de acuerdo al volumen de consumo en CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdova. Fuente: DINADEC</i>	78
<i>Figura 4.2-8. Clientes de CN en el polígono del CHQ de acuerdo al día de visita. Amarillo Lunes, Celeste Martes, Lila Miércoles, Verde Jueves, Rojo Sábado. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	79
<i>Figura 4.2-9. Causas de rechazos en CHQ, Dic 2012 - Ene 2013.</i>	80
<i>Figura 4.2-10. Elementos de costos para DAF. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes. Fuente: DINADEC S.A.</i>	82
<i>Figura 4.2-11. Tarifa por servicio de reparto Urbano para DAF.</i>	83
<i>Figura 4.2-12. Rangos de pago para cada indicador. Fuente: DINADEC S.A.</i>	83
<i>Figura 4.3-1. Diseño de red con Centro de Distribución cerca del CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	93
<i>Figura 4.3-2. Diseño de red con Punto de Crossdock cerca del CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	94
<i>Figura 4.3-3. Diseño de red envío directo desde Cumbayá. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	96
<i>Figura 4.3-4. Jerarquía de toma de decisiones para la selección del Diseño de Red. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	101
<i>Figura 4.3-5. Captura de pantalla de Maxima. En la izquierda se muestra la matriz P1 y en la derecha el resultado de elevar la matriz a la potencia 44. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	102
<i>Figura 4.3-6. Matriz P2 para la comparación de los subcriterios Costo. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	103
<i>Figura 4.3-7. Matriz P3 para la comparación de los subcriterios Dificultad de maniobra. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	103
<i>Figura 4.3-8. Matrices de comparación de alternativas y criterios resultantes. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	104
<i>Figura 4.4-1. Imagen satelital del polígono de Quito con las 6 zonas de carga y descarga actualmente existentes en el polígono definido para el estudio.</i>	107
<i>Figura 4.4-2. Mapa del polígono del CHQ con los 56 posibles lugares para implementar zonas de carga y descarga.</i>	109

<i>Figura 4.4-3 Configuración de red definitiva para la distribución en el CHQ utilizando 5 días semanales.</i>	
<i>Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	115
<i>Figura 4.4-4. Configuración de red definitiva para la distribución en el CHQ utilizando 6 días semanales.</i>	
<i>Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	116
<i>Figura 4.4-5. Diagrama red con los actuales para DINADEC (Abril 2013). Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	118
<i>Figura 4.4-6. Histograma de distancias entre clientes y posibles zonas de carga y descarga asignadas. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	122
<i>Figura 4.4-7. Carrito de mano extensible con capacidad de carga de hasta 150Kg (10 cajas) Fuente: (Sydney Trolleys, 2013)</i>	123
<i>Figura 4.5-1. Comparación territorial de las Rutas Antiguas y Ruta nueva de 5 días para CN en el CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	134
<i>Figura 7.3-1. Flujo de Productos en el Sistema de Distribución de CN en Quito</i>	150
<i>Figura 7.3-2. Flujo de Información en el Sistema de Distribución de CN en Quito</i>	151
<i>Figura 7.3-3. Flujo financiero en el Sistema de Distribución de CN en Quito</i>	152
<i>Figura 7.4-1. Captura de pantalla de Lingo con con el planteamiento del Modelo 1. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	164
<i>Figura 7.4-2. Captura de pantalla de Lingo con el planteamiento del Modelo de Diseño de Red 2. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	165
<i>Figura 7.4-3. Captura de pantalla de Lingo con el planteamiento del Modelo de Diseño de Red 3. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	165
<i>Figura 7.4-4. Resolución de los 3 modelos en Lingo. Algunos datos han sido removidos de la captura de pantalla por motivos de espacio. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	166
<i>Figura 7.7-1. Cuadrícula del polígono de trabajo del CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	171
<i>Figura 7.8-1. Captura de Pantalla en Open Solver para el Modelo de Asignación y Selección de Clientes y Zonas</i>	178
<i>Figura 7.8-2. Grafo con las zonas de carga y descarga (L) y sus puntos de entrega respectivos (C). Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	181
<i>Figura 7.8-3. Solución al modelo de asignación de clientes a zonas representada en la red de la geometría del Taxista. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	182

- Figura 7.8-4. Grafo de la solución encontrada utilizando la geometría del Taxista visualizada dentro de la red del CHQ bajo la geometría del taxista. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 186
- Figura 7.8-5. Vista en coordenadas geográficas de la solución obtenida bajo la geometría del taxista. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 187
- Figura 7.9-1. Matriz de asignación resultante para una solución inicial de 5 rutas generada en OpenSolver. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 196
- Figura 7.9-2. Solución inicial obtenida para el problema de asignación de 5 rutas. Los arcos son formados como resultado de la matriz de asignación de la Figura 7.9-1. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 197
- Figura 7.9-3. Matriz de asignación de rutas para la solución inicial, junto con los valores de holgura. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 198
- Figura 7.9-4. Solución encontrada para el problema de asignación de 5 rutas y 20 posibles zonas de carga y descarga. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 199
- Figura 7.9-5. Cinco rutas encontradas a través de la heurística de asignación de rutas. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 200
- Figura 7.9-6. Matriz de asignación resultante para una solución inicial de 6 rutas generada en OpenSolver (MS Excel). Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 201
- Figura 7.9-7. Solución inicial obtenida para el problema de asignación de 6 rutas. Los arcos son formados como resultado de la matriz de asignación de la Figura 1. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 202
- Figura 7.9-8. Matriz de asignación de rutas para la solución final, junto con los valores de holgura para el problema con 6 rutas de entrega. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 203

Índice de Tablas

<i>Tabla 2.3-1. Objetivos y acciones sobre el acceso de vehículos de mercadería en zonas urbanas.</i>	
<i>Fuente: (Allen, 2007)</i>	48
<i>Tabla 4.1-1. Indicadores característicos del Centro Histórico de Quito y otras parroquias de interés.</i>	65
<i>Tabla 4.1-2. Velocidades promedio de circulación reportadas en Waze para 10 vías importantes del CHQ.</i>	67
<i>Tabla 4.1-3. Clasificación General de los Vehículos de Carga. Fuente: Ordenanza 147.</i>	69
<i>Tabla 4.1-4. Algunos camiones disponibles en el mercado ecuatoriano de acuerdo a la Ordenanza 147.</i>	69
<i>Tabla 4.2-1. Porcentaje de ocurrencia de rechazos por día. El porcentaje está calculado en función del total de rechazos. Es decir, el 41.4% de los rechazos en el CHQ ocurren los días Lunes.</i>	81
<i>Tabla 4.3-1. Valores que definen el perfil logístico de Cervecería Nacional en el CHQ</i>	88
<i>Tabla 4.3-2. Resumen de casos de estudio y buenas prácticas recogidas por la Revisión Literaria, adaptables al perfil logístico del CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	89
<i>Tabla 4.3-3. Estimación de ciertos generadores de costo para las instalaciones requeridas por los diseños de red. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	99
<i>Tabla 4.3-4. Resumen de los valores para cada uno de los criterios de selección del diseño de red. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes.</i>	100
<i>Tabla 4.3-5. Matriz P1 para la comparación de los criterios de más alto nivel con el objetivo final. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	103
<i>Tabla 4.3-6. Matriz de Decisiones Final. La alternativa M3 fue aquella con mayor prioridad resultante, es por tanto la alternativa a elegirse. Elaborado por: Juan Pablo Córdova</i>	105
<i>Tabla 4.4-1. Priorización de criterios para la creación de rutas maestras. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	113
<i>Tabla 4.4-2. Comparación entre las rutas maestras diseñadas y las existentes actualmente en el CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes</i>	119

<i>Tabla 4.4-3. Comparación cruzada entre las rutas diseñadas y los días de llamada vigentes. L=Lunes, M=Martes, I= Miércoles, J=Jueves, V=Viernes, S=Sábado. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	120
<i>Tabla 4.4-4. Asignación de rutas de entrega propuesta tanto para 5 o 6 días de reparto. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	120
<i>Tabla 4.4-5. Comparación de los tiempos totales de entrega anteriores (Ant) y los nuevos bajo las consideraciones operativas descritas. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	124
<i>Tabla 4.4-6. Territorios ocupados por los nodos para las rutas de distribución de 5 (derecha) y seis días (izquierda). Los nodos grises sin arcos corresponden a las zonas no asignadas. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	126
<i>Tabla 4.5-1. Costos operacionales adicionales incurridos en el nuevo esquema de distribución. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	130
<i>Tabla 4.5-2. Costos anuales del plan de cooperación CN-DMQ suponiendo la inversión de infraestructura está a cargo de CN. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	132
<i>Tabla 7.4-1. Parámetros utilizados en el Modelo de Costos de Diseño de Red para el Modelo 1. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	160
<i>Tabla 7.4-2. Parámetros utilizados en el Modelo de Costos de Diseño de Red para el Modelo de CrossDock cercano al CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	161
<i>Tabla 7.4-3. Parámetros utilizados en el Modelo de Costos del Diseño de Red para el Modelo de envío directo desde Cumbayá. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	162
<i>Tabla 7.7-1. Calles y sus respectivas coordenadas para la transformación a coordenadas de la geometría del taxista. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	172
<i>Tabla 7.7-2. Coordenadas para los 371 clientes de CN en la geometría del taxista. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba</i>	174
<i>Tabla 7.7-3. Coordenadas (geometría del taxista) para las 56 zonas posibles de parqueo en el CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes</i>	174
<i>Tabla 7.8-1. Zonas de carga y descarga seleccionadas y sus clientes asignados bajo la métrica del gran círculo.. Elaborado por: Juan Pablo Córdoba Paredes.</i>	180

Tabla 7.8-2. Solución para el problema de asignación utilizando la distancia del taxista, se muestran las zonas y sus nodos asignados. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 185

Tabla 7.9-1. Parámetros característicos de las 20 posibles zonas de carga y descarga consideradas para la creación de rutas. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes _____ 194

1 Introducción

1.1 Antecedentes

1.1.1 El Centro Histórico de Quito

El Centro Histórico de Quito CHQ ha sido desde los inicios de la ciudad, un espacio de alto movimiento comercial, cultural e incluso público en la capital del Ecuador. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, actualmente la zona tiene una densidad poblacional 10 mil hab/km² (INEC, 2010). Esta cifra es comparable con la de muchas Megaciudades¹ en la región. Las autoridades han dado estricta prioridad a la movilidad de personas y a la conservación del Patrimonio de la Humanidad de manera que las operaciones logísticas de distribución en la zona se han dificultado en los últimos años. Esto se debe principalmente a la ausencia de infraestructura logística adecuada y a las restricciones municipales para vehículos de carga².

El CHQ es posiblemente el mayor referente turístico de la ciudad de Quito. Su ubicación geográfica hace que se constituya como un punto de conexión entre el Norte y el Sur de la Ciudad, y por esta razón ha tenido alta dinámica comercial. Un estudio reciente³ identificó diez nodos logísticos importantes en el CHQ considerando mercados mayoristas y centros comerciales. Se conoce que en horas

¹ Megaciudades se definen como áreas metropolitanas cuya población total excede los 10 millones de habitantes. (Pearce, 2006)

² El 2 de marzo de 2005 entra en vigencia en todo el Distrito Metropolitano de Quito la Ordenanza 147 referente al transporte de carga y productos Químicos (Consejo Metropolitano de Quito, 2005) permitiendo que sólo vehículos de carga liviana puedan acceder al CHQ con normalidad.

³ Basado en datos del Grupo de Logística Urbana de la Universidad San Francisco de Quito.

pico, en el CHQ, la velocidad de circulación es de 10 Km/h y en horas menos congestionadas hasta de 30 Km/h (El Comercio, 2010). Todos estos elementos complican las operaciones logísticas en la zona.

1.1.2 Cervecería Nacional y DINADEC.

Cervecería Nacional nace como una modesta fábrica de hielo y cerveza en el mítico barrio de las Peñas en Guayaquil hacia 1887 (Ekos , 2012) bajo el nombre corporativo de CIA de Cervezas Nacionales. Una fotografía de inicios del siglo XX muestra sus primeras instalaciones (Figura 1.1-1). “En 1913 la compañía lanza al mercado Pilsener, la cerveza que con el tiempo se convertiría en la Cerveza preferida por los ecuatorianos” (Ekos , 2012). Finalmente, hacia 2005, Cervecería Nacional pasa a formar parte del grupo internacional SABMiller.



Figura 1.1-1. Instalaciones de la CIA. de Cervezas Nacionales en Guayaquil, Ecuador. **Fuente:** (Ekos, 2012)

Desde su lanzamiento en Mayo de 2009, DINADEC se constituyó como la Empresa de Distribución de Cervecería Nacional – Sab Miller en Ecuador. DINADEC a través

de la concesión de la franquicia⁴ adquiere el derecho de operar bajo el nombre de Cervecería Nacional como corresponsal de Sab Miller en el área de distribución en Ecuador.

1.1.3 Justificación

El presente es el primer estudio en materia de logística urbana que se realiza en la ciudad de Quito. Muchos estudios similares se han realizado en diversas ciudades del mundo y en la región entre las que se destacan intervenciones en Santiago, Lima, Belo Horizonte, etc. (TURBLOG, 2011-C). El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito ha definido la movilidad como uno de sus ejes estratégicos de acción (Agencia Pública de Noticias de Quito, 2010) de manera que reducir el impacto de maniobras en el Centro Histórico de Quito para empresas de consumo masivo está vinculado dentro de este eje de acción.

Por otro lado, la red de clientes de Cervecería Nacional es muy representativa dentro del sector del consumo masivo especialmente en Quito, contando con más de 22 mil clientes en el Distrito Metropolitano de Quito. De esta manera, un estudio orientado a la red de distribución en el CHQ podrá constituirse en un punto de referencia para el planteamiento de mejoras en la distribución de productos de consumo masivo en Quito y en varias ciudades de América Latina. Cabe mencionar que la problemática evidenciada por Cervecería Nacional constituye un problema latente de manera que la probabilidad de implementación en el corto plazo es alta (aunque depende en

⁴ Enrique González, citado en (Villagrán, 2012) define franquicia como: "Un contrato que tiene por objeto la transferencia por parte de una persona llamada franquiciador, de bienes, servicios, propiedad intelectual e industrial y conocimientos a otra denominada franquiciatario, con el fin de que éste último los explote comercialmente bajo su riesgo empresarial, de acuerdo con las directrices e instrucciones que al efecto le son provistas por el primero"

cierto grado del nivel en que la alternativa propuesta llegue a afectar a la estructura actual).

1.2 Problema de estudio

La problemática para este estudio se desarrolla desde la perspectiva de agentes públicos y privados. En el primer caso, la inexistencia de políticas orientadas a la mejora de distribución de mercaderías en el DMQ y de manera especial en el Centro Histórico de Quito ha causado conflictos entre los agentes públicos (autoridades municipales) y privados (empresas encargadas de la distribución de mercaderías). En concreto se evidencia que las regulaciones de transporte de mercaderías en la ciudad, y de manera especial en el CHQ no están soportadas por planes, ni infraestructura que permitan la gestión eficiente de la distribución por parte de los actores privados. En muchos de los casos, las empresas requieren operar al margen de las legislaciones incurriendo muchas veces en multas y gastos operativos adicionales.

De manera particular las rutas de distribución en el Centro Histórico de Quito realizan un uso indebido de la infraestructura de la zona ante la ausencia de zonas autorizadas de carga y descarga. Estas maniobras incluyen parqueo sobre aceras, obstaculización del tránsito e inobservancia de normas de tránsito que derivan en mayores tiempos de ruta. De acuerdo a miembros del equipo de planificación y entrega de DINADEC, el CHQ se constituye en la zona de mayor complejidad de entrega.

Tomando en cuenta la problemática que expuesta, se define de manera específica el problema de estudio. Se busca determinar si existe un esquema de distribución más eficiente en términos de tiempo, costo y dificultad de maniobrabilidad para Cervecería Nacional en el CHQ y diseñarlo utilizando herramientas matemáticas de modelado.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un esquema de distribución para DINADEC en el Centro Histórico de Quito. El esquema deberá reducir la complejidad⁵ en las operaciones de entrega en el Centro Histórico de Quito satisfaciendo las regulaciones e infraestructura existentes actualmente.

1.3.2 Objetivos específicos

- Describir logísticamente la zona de distribución del Centro Histórico de Quito en función de las características de sus nodos comerciales y demografía, regulaciones municipales existentes, infraestructura y problemática logística actualmente evidenciada y demás factores definidos en el alcance del proyecto.
- Caracterizar a profundidad la problemática de Distribución de DINADEC en función de la complejidad de las operaciones dentro de un área geográfica definida dentro del CHQ.

⁵ La complejidad de las operaciones está medida en función de la probabilidad de encontrar lugares de parqueo, tiempos de entrega y distancia total recorrida.

- Construir un esquema de distribución de DINADEC en el área geográfica definida del CHQ incluyendo tamaños de flota, requerimientos de infraestructura y equipos, diseño de rutas y todos los aspectos mencionados en el alcance del proyecto. Para ello se deberá:
 - Seleccionar un diseño de red adecuado utilizando el Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) como herramienta de análisis multicriterio.
 - Estructurar la red de distribución a nivel táctico y operativo de forma óptima utilizando modelos de investigación de operaciones.
 - Realizar un análisis de viabilidad de la propuesta mediante herramientas de ingeniería económica.

1.4 Alcance

1.4.1 Factores incluidos

En la descripción logística del Centro Histórico de Quito

- Descripción demográfica del CHQ en comparación a otras zonas de interés en el Distrito Metropolitano de Quito DMQ
- Tamaño y tipo de clientes, frecuencia de entregas, ventanas temporales, drop size y la existencia o no de clientes con similares requerimientos de producto y de entrega.
- Regulaciones municipales aplicables a la zona
- Problemática y retos logísticos de la distribución en la zona
- Infraestructura existente

- Descripción detallada de las operaciones que actualmente se realizan (diagramas de flujo)

En el esquema de solución propuesto

- Tamaño de flota y tipo de vehículos a utilizarse para la entrega
- Requerimientos de infraestructura y equipos.
- Capital humano requerido para las operaciones de distribución.
- Diseño de rutas de distribución
- Diagramas de flujo de la operación de distribución propuesta.

1.4.2 Factores excluidos

- Análisis de las rutas de distribución fuera del área geográfica definida del CHQ para el estudio. Solamente se considerarán los clientes que geográficamente estén ubicados dentro del área definida.
- Implementación del esquema. El estudio culmina con la estructuración completa del esquema de distribución de acuerdo a los factores incluidos en la sección 1.4.1. La implementación del sistema cae fuera de los límites del estudio.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Logística

1.5.1.1 Redes logísticas

“El proceso de planeación de la red logística consiste en el diseño del sistema a través del cual partes y productos fluyen desde proveedores hasta los puntos de

demanda” (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2004). A nivel de la cadena de suministro, una red logística determina el camino por el que principalmente los flujos de producto atravesarán durante el ciclo de rotación de inventario.

Una red logística está conformada por un conjunto de instalaciones conectados a través de servicios de transporte (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2004). Dicha red puede representarse mediante grafos (ver sección 1.5.5). En los grafos que estudian redes logísticas es común que cada nodo represente un punto en el que el flujo de productos, dinero o información cambia en términos de forma, volumen, modo de transporte utilizado o propiedad. Comúnmente aunque no necesariamente, los nodos están asociados a instalaciones. De igual manera los arcos entre nodos comúnmente representan los canales a través de los cuáles fluyen los productos. Algunos nodos incluyen, puntos de entrega de producto, puntos de trasbordo (crossdock), centros de distribución, plantas de producción, etc.

Las redes logísticas son la estructura física de un sistema logístico. Los sistemas logísticos están determinados por tres actividades principales: procesamiento de órdenes, manejo de inventario y transporte. Cada una de estas actividades está asociada a un flujo determinado de información, productos y personas y está definida por un conjunto de procedimientos operativos.

1.5.1.2 El concepto de Logística Urbana

El concepto de logística urbana, también comúnmente referido como logística de ciudades concierne o hace referencia a las actividades de entrega y recolección de bienes en ámbitos urbanos dentro de ciudades (European Comission, Directorate

General for Energy and Transport, 2006). Vincula el proceso entero de manipulación, almacenamiento, logística inversa y servicios de última milla. En (Macário, Galelo, & Martins, 2008) se vincula a logística urbana con el último eslabón en la cadena logística o de abastecimiento, sin embargo existen aplicaciones de logística urbana que no necesariamente hacen referencia a la logística de última milla.

La idea de estudiar los procesos de logística urbana surge del crecimiento de las poblaciones urbanas dentro de las ciudades a nivel mundial y especialmente en Europa donde se han llevado a cabo los mayores esfuerzos en materia de investigación. El contexto en el que se desarrolla logística urbana está caracterizado por altas densidades poblacionales, altos niveles de consumo de bienes y servicios donde se ha visto que la infraestructura de tráfico y las posibilidades de crecimiento están limitadas, haciendo que las operaciones logísticas no sean sostenibles (European Commission, Directorate General for Energy and Transport, 2006).

1.5.2 Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) para la toma de decisiones multicriterio

De acuerdo a Saaty, *“El proceso jerárquico de análisis (AHP por sus siglas en inglés Analytic Hierarchy Process) es una teoría de medida en base a comparaciones pareadas basadas en el juicio de expertos para derivar escalas de prioridad [...] Las comparaciones son realizadas utilizando una escala de juicio absoluto que representa qué tanto más un elemento domina a otro con respecto a un elemento dado”*. (Saaty, Decision Making with the Analytical Hierarchy Process, 2008).

El proceso de decisión se lleva siguiendo el procedimiento descrito en la Figura 1.5-1. En el primer paso, se define el problema, objetivo y el tipo de conocimiento buscado. El segundo paso busca estructurar la jerarquía de decisión, estableciendo en la parte superior el objetivo de la decisión determinado en el primer paso, siguiendo con los criterios en los niveles subsecuentes y finalizando con las alternativas en el nivel inferior.

El tercer paso consiste en construir un conjunto de matrices de comparaciones en pares. Cada elemento de la jerarquía se utiliza para comparar los elementos que se encuentren en un nivel inferior con respecto a él. La solución del vector propio principal de cada matriz establece la prioridad para cada renglón de la matriz de comparación. Este vector principal se obtiene al elevar la matriz de comparación a potencias altas y dividir la suma total de cada renglón con la suma de todos los elementos de la matriz (Saaty, *Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process*, 1986).

En (Saaty, *Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process*, 1986) se muestran los fundamentos axiomáticos del proceso de análisis jerárquico. En dicho trabajo se muestra que siendo B una matriz finita de comparaciones a pares, recíproca positiva por definición, la solución del vector propio principal de B es apropiada para generar el orden de clasificación de datos inconsistentes y que el vector propio es estable para pequeñas perturbaciones en los datos. Se requiere cierto nivel de homogeneidad entre los subniveles comparados al generar la matriz de comparación.

Por último, se debe utilizar las prioridades obtenidas en las comparaciones pareadas para ponderar las prioridades en el nivel inmediato inferior hasta llegar al nivel de las alternativas. De esta manera se construye la matriz final de decisión que determinará un porcentaje estable de prioridad para las alternativas en función de todos los criterios jerárquicamente desarrollados. En el Anexo 5 (pág. 167) se muestra la matriz de comparaciones sobre la cual se basa la definición axiomática del método (Saaty, Axiomatic Foundation of the Analytical Hierarchy Process, 1986).

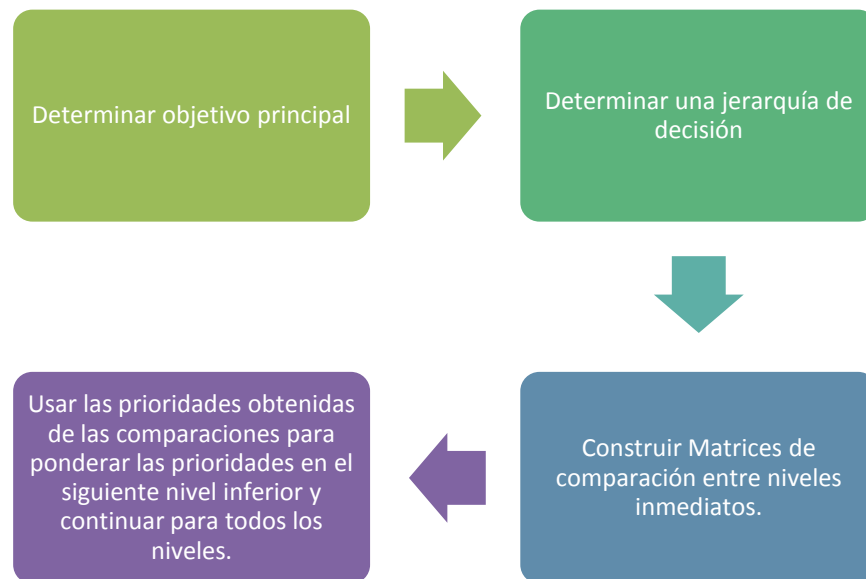


Figura 1.5-1. Procedimiento de toma de decisiones siguiendo el Análisis Jerárquico de Procesos. **Fuente:** (Saaty, *Decision Making with the Analytical Hierarchy Process*, 2008) **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

1.5.3 Investigación de operaciones y modelos de optimización

1.5.3.1 Modelos de Investigación de Operaciones

La investigación de operaciones hace referencia, como su nombre lo indica a la conducción y coordinación de operaciones o actividades dentro de una organización (Hillier & Lieberman, 1997). La idea fundamental es que a partir de la

observación de un problema de estudio se puede construir un modelo científico utilizando relaciones matemáticas “que intenta abstraer la esencia del problema real” (Hillier & Lieberman, 1997). Los procedimientos de investigación de operaciones se orientan hacia la búsqueda de optimalidad. La metodología seguida por investigación de operaciones incluye al menos tres etapas importantes: (1) Definición del problema, (2) Formulación de un modelo matemático que representa al problema y (3) Desarrollo de un procedimiento, muchas veces basado en computadora para derivar una solución al problema a partir del modelo.

Los modelos clásicos de investigación de operaciones buscan expresar una *decisión* a través de una combinación de un conjunto de variables conocidas como *variables de decisión*. La medida de desempeño de la combinación de variables está dada por una función matemática conocida como *función objetivo*. Se utiliza también expresiones matemáticas para modelar limitaciones en el modelo, dichas expresiones son conocidas como *restricciones* (Hillier & Lieberman, 1997).

La función objetivo al igual que las restricciones, manejan relaciones entre las variables de decisión. Dichas relaciones utilizan con frecuencia combinaciones lineales y no lineales y están acompañadas de coeficientes numéricos conocidos como *parámetros* del modelo (Hillier & Lieberman, 1997).

1.5.3.2 Clasificación de modelos de Investigación de Operaciones

En (N.K. Tiwari, 2006) se mencionan cinco criterios para clasificar a los modelos de investigación de operaciones: Método de solución, Tiempo de solución, Certidumbre, Funcionalidad y Estructura. La Figura 1.5-2 resume la clasificación planteada.

Existen muchas otras formas de clasificar modelos en función del uso, ramas de aplicación, tipo de información, dificultad de información, etcétera. En (Wilson, 1985) se revisan estas clasificaciones.

En el estudio que se desarrolla muchas de las decisiones se tomarán en base a resultados de modelos de investigación de operaciones. En concreto se utilizarán modelos cuyo método de solución es en algunos casos analítico y en otros heurístico, con parámetros estáticos, determinísticos, normativos y simbólicos.

Dentro de investigación de operaciones es de peculiar interés el estudio de modelos de programación lineal. Dichos modelos están formulados en base a tres importantes supuestos: aditividad, divisibilidad, y certidumbre. El primero de los supuestos garantiza que las funciones y restricciones que definen el modelo sean lineales, el segundo que las variables de decisión puedan tomar cualquier valor real (podrían satisfacer restricciones de negatividad) y el tercero, que supone que los parámetros son todas constantes conocidas (Hillier & Lieberman, 1997). Una de las ventajas de este tipo de modelos es que se puede llegar analíticamente a una respuesta óptima a través del método Simplex.

Cuando se relaja el supuesto de divisibilidad, se da paso a una segunda gama de problemas normativos dentro de investigación de operaciones. Este es el caso de los problemas de programación entera y programación de entera mixta. Existen procedimientos como la técnica de ramificación y acotamiento y resolver problemas más sencillos que permiten acotar y descartar conjuntos de soluciones (Hillier & Lieberman, 1997).

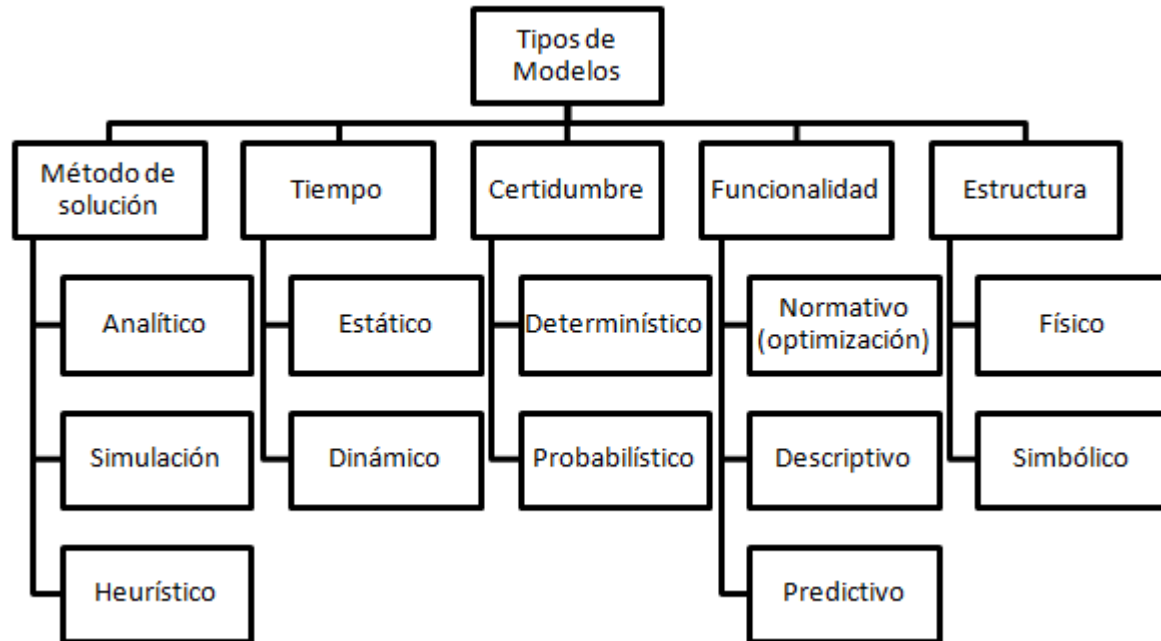


Figura 1.5-2. Clasificación de modelos de Investigación de Operaciones. Fuente: (N.K. Tiwari, 2006)

1.5.4 Algunos tipos de geometría para medición de desplazamientos

1.5.4.1 Distancia del gran círculo

Existen numerosas trayectorias entre dos puntos sobre la superficie y solo pocas de ellas han sido relevantes. Entre estas se destaca la distancia del gran círculo (Clynch, 2006). Si se modela la Tierra como una esfera perfecta, un gran círculo se define como la intersección de un plano y la esfera, donde el origen de la esfera es uno de los puntos pertenecientes al plano (Clynch, 2006). Una de las propiedades interesantes del Gran Círculo es que minimiza la distancia que conecta dichos puntos a través de la superficie de la tierra o de la esfera en cuestión. Existe un círculo único para cualquier par de puntos no antipodales en la superficie de la esfera, en el caso de puntos antipodales (diametralmente opuestos en la esfera)

existirán dos grandes círculos. La Figura 1.5-3 muestra la intersección de dos planos distintos para dos puntos específicos sobre la superficie de la Tierra. El plano que interseca la esfera en el lado derecho pasa por el origen de la esfera y forma por tanto un gran círculo.

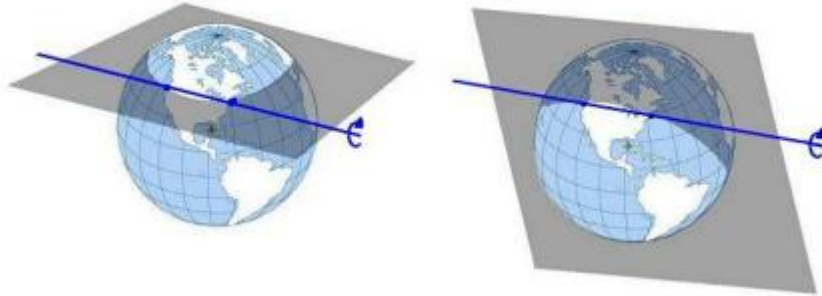


Figura 1.5-3. Un círculo de latitud constante entre dos puntos en la superficie de la Tierra (izq) y un Gran Círculo que pasa por los mismos puntos (der). **Fuente: (Clynch, 2006)**

Si es que α es el ángulo central del arco formado por dos puntos i, j sobre la superficie de la Tierra, se mostrará que:

$$\cos(\alpha) = \sin(\text{lat}_j) \sin(\text{lat}_i) + \cos(\text{lat}_j) \cos(\text{lat}_i) * \cos(\text{long}_i - \text{long}_j)$$

Sea \vec{e}_i el vector unitario de dirección al punto i , y sea \vec{e}_j el vector unitario de dirección al punto j . Se sabe que la expresión en coordenadas cartesianas para un punto sobre la superficie de la tierra en función de su ángulo polar θ (medido desde el eje \mathbf{z} hasta el vector posición de dicho punto), acimutal φ (el ángulo en el plano xy medido de acuerdo a la mano derecha entre el eje x y la proyección del vector sobre el plano xy) y radio r está dada por:

$$x = r \sin(\theta) \cos(\varphi)$$

$$y = r \sin(\theta) \sin(\varphi)$$

$$z = r \cos(\theta)$$

Ahora bien, por convención se sabe que la longitud de algún punto i ($long_i$) coincide con el ángulo acimutal φ de acuerdo a la convención Este Oeste tomando el eje z sobre el meridiano de Greenwich. Por otro lado, se sabe también que la longitud de un punto i ($long_i$) satisface $\theta = \frac{\pi}{2} - long_i$ dado que la longitud es medida teniendo al Ecuador como referencia y no el eje z como lo está el ángulo polar. De esta forma:

$$x = r \sin\left(\frac{\pi}{2} - long_i\right) \cos(lat_i)$$

$$y = r \sin\left(\frac{\pi}{2} - long_i\right) \sin(lat_i)$$

$$z = r \cos\left(\frac{\pi}{2} - long_i\right)$$

Las anteriores expresiones se reducen a:

$$x = r \cos(long_i) \cos(lat_i)$$

$$y = r \cos(long_i) \sin(lat_i)$$

$$z = r \sin(long_i)$$

De esta manera se puede determinar las coordenadas cartesianas de los vectores unitarios \vec{e}_i y \vec{e}_j .

$$\vec{e}_i = \begin{pmatrix} \cos(long_i) \cos(lat_i) \\ \cos(long_i) \sin(lat_i) \\ \sin(long_i) \end{pmatrix}$$

Ahora bien, para encontrar el ángulo α entre este par de vectores se puede utilizar el producto punto entre los vectores unitarios

$$\cos(\alpha) = \vec{e}_i \cdot \vec{e}_j$$

$$\begin{aligned} \cos(\alpha) = & \cos(long_i) \cos(lat_i) \cos(long_j) \cos(lat_j) \\ & + \cos(long_i) \sin(lat_i) \cos(long_j) \sin(lat_j) + \sin(long_i) \sin(long_j) \end{aligned}$$

Dado que $\cos(lat_i - lat_j) = \cos(lat_i) \cos(lat_j) + \sin(lat_i) \sin(lat_j)$. La anterior expresión se deriva en:

$$\cos(\alpha) = \sin(lat_j) \sin(lat_i) + \cos(lat_j) \cos(lat_i) * \cos(long_i - long_j)$$

De esta manera, se puede calcular la longitud del segmento de arco que pasa por la superficie a través del gran círculo utilizando la siguiente expresión:

$$d_{ij} = \text{ArcCos}(\sin(lat_j) \sin(lat_i) + \cos(lat_j) \cos(lat_i) * \cos(long_i - long_j)) \times 6371 \text{Km} \quad (1)$$

1.5.4.2 Geometría del Taxista

Es de gran utilidad en muchas aplicaciones prácticas la utilización de geometrías distintas a la Euclidiana para definir la distancia entre un par de puntos. De manera particular, la geometría del taxista o también conocida como la geometría de Manhattan. Dicha geometría asume que sólo es posible desplazarse en el plano a través de movimientos paralelos a los ejes x e y . Bajo esta geometría, la distancia entre dos puntos se define a través de la ecuación (2). Fue definida por primera vez por Hermann Minkowski en el siglo XIX.

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2)$$

Leonard Euler) (Fošner & Kramberger, 2009). Dicha rama perteneciente matemáticas y a las ciencias de la computación contempla el uso de estructuras matemáticas para modelar las relaciones entre pares de objetos.

Un grafo es formalmente un par de conjuntos $G = \{V, E\}$ donde $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\}$ es un conjunto finito de vértices o nodos, y $E = \{(V_1, V_2), (V_1, V_3), \dots, (V_i, V_j)\}$ un conjunto de subconjuntos de dos elementos llamado el conjunto de arcos (Ruohonen, 2008). Los grafos pueden clasificarse entre dirigidos o no dirigidos, en función de la direccionalidad o no de los arcos que conectan nodos. Cuando no existe diferencia entre el arco (V_i, V_j) y el arco (V_j, V_i) se dice que este arco es no dirigido (Ruohonen, 2008). La ilustra la definición de arcos dirigidos y no dirigidos.



Figura 1.5-5. Definición de arcos dirigidos. En (a) el arco (A,B) tiene asociada una dirección. En (b) no está asociada una dirección al arco (A,B), de manera que el arco (A,B) es igual al arco (B,A). **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

2 Revisión Literaria

2.1 Géneros de literatura incluidos en la revisión

La revisión de literatura se enfocó en artículos académicos publicados en Journals Peer Review principalmente desde aplicaciones de éxito publicadas por City Logistics. Se considera además entregables publicados a manera de compendio de iniciativas público privadas en Logística Urbana en Europa y Estados Unidos. Muchos de los documentos publicados por estas organizaciones han sido resultados de conferencias y sesiones de trabajo. Se ha incluido casos de estudio y buenas prácticas tanto en soluciones de logística urbana como en metodologías de estudio y transferibilidad de conocimiento. De igual manera se ha condensado el trabajo publicado por iniciativas públicas a nivel local, de manera particular, planes y proyectos orientados a logística y movilidad planteadas desde las autoridades municipales.

2.2 Metodología de revisión literaria

Los temas incluidos en la revisión literaria fueron esbozados a partir de la revisión de artículos y publicaciones referentes en materia de logística urbana. En muchos de los casos ciertos temas fueron sugeridos por profesores de la Universidad San Francisco de Quito vinculados con estudios al respecto, y por referencia de centros de investigación reconocidos en la región como la iniciativa Logyca y el Centro de Logística Integrada en Bogotá, Colombia. Se consideran los siguientes temas

principales: *Metodologías de transferibilidad de conocimientos en Logística Urbana, Caracterización Logística de Ciudades y Casos de Estudio y aplicaciones actuales.*

2.3 Investigación actual en Logística Urbana

2.3.1 Metodologías de transferibilidad

Europa es posiblemente el principal centro de desarrollo de soluciones y transferencia de conocimientos. Varias iniciativas en muchos de los casos co-financiadas por la Unión Europea han sido desarrolladas, entre ellas: TURBLOG, BESTUFS, CIVITAS, NICHES, SUGAR. Dichas iniciativas han generado espacios de discusión y evaluación de proyectos y en todos los casos, han elaborado metodologías para transferir medidas de acción y soluciones de Logística Urbana en otras ciudades. Dichas metodologías parten de la caracterización de la ciudad y el diagnóstico inicial de problemas para en una segunda etapa buscar mecanismos para transferir conocimiento y experiencias anteriores.

Por ejemplo TURBLOG en (TURBLOG, 2011-B) parte de la definición del perfil logístico de la ciudad desarrollado por Macario en (Macário, Galelo, & Martins, 2008) basado en 3 pilares fundamentales: Características de la Ciudad, Necesidades de los agentes de transporte de mercancías y Características de los productos transportados Figura 2.3-1. Cada uno de los 3 pilares contiene características con sus respectivos criterios de evaluación que en definitiva permiten comparar objetivamente las ciudades desde la perspectiva de logística urbana.

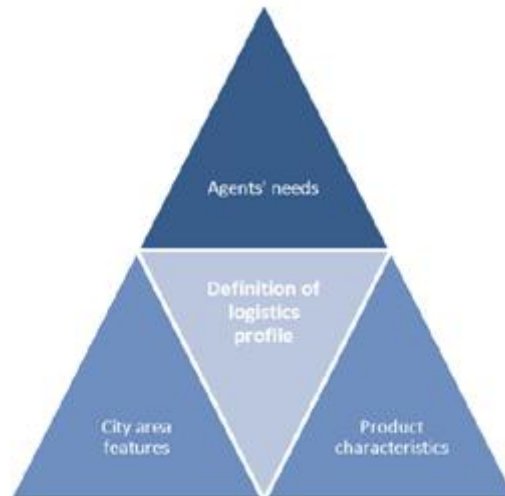


Figura 2.3-1. Definición del perfil logístico en términos de sus 3 pilares fundamentales. **Fuente:** (TURBLOG, 2011-B)

Una vez caracterizado el perfil logístico, se prosigue por buscar contextos similares en casos de estudio existentes (TURBLOG, 2011-B). El objetivo de esta etapa es, vincular problemas y contextos del caso actual con otros casos antes desarrollados y adaptar soluciones a diferentes escalas. Existe un marco teórico bastante extenso mostrando los criterios de calificación para las soluciones propuestas, estas incluyen: relevancia, eficiencia, efectividad, utilidad y sostenibilidad. La Figura 2.3-2 muestra el algoritmo adoptado por (TURBLOG, 2011) para completar un estudio en logística urbana.

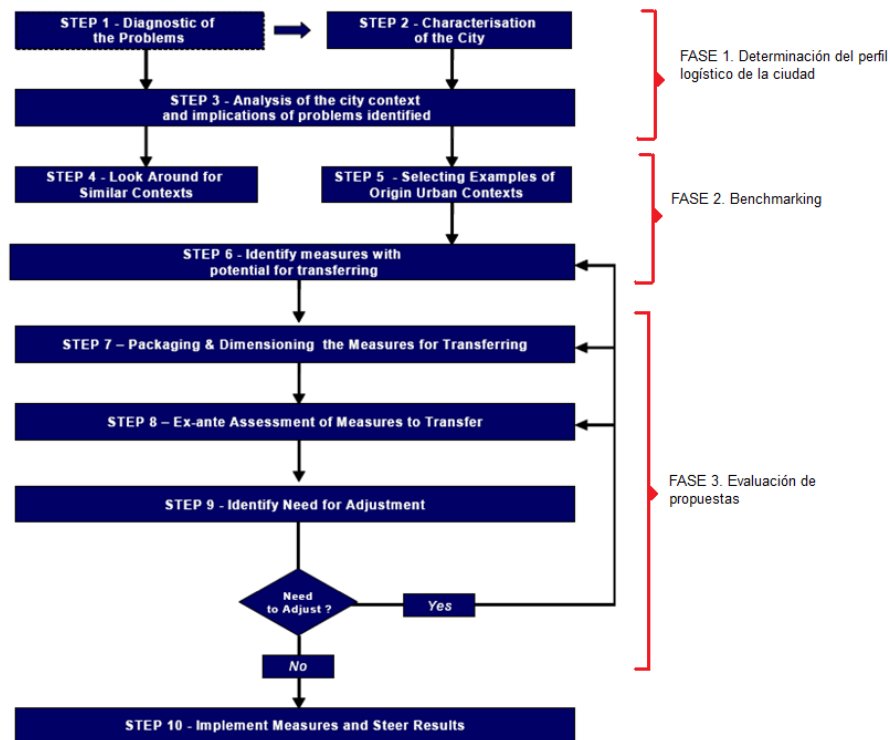


Figura 2.3-2. Metodología de transferibilidad propuesta por CIVITAS y utilizada por TURBLOG. **Fuente:** (TURBLOG, 2011)

Una metodología distinta es utilizada por BESTUFS. “El principal objetivo es identificar, describir y difundir las mejores prácticas, criterios de éxito y soluciones a los problemas originados por el transporte urbano de mercancías” a nivel europeo (Allen, 2007). El trabajo es llevado a cabo a través de talleres vinculando académicos, agentes y representantes de diversas ciudades europeas. En BESTUFS la transferencia de conocimiento está dada a través de la guía de buenas prácticas especializadas en diferentes soluciones y aplicaciones de logística urbana.

Por otra parte un modelo alternativo para el desarrollo de aplicaciones en logística urbana fue llevado a cabo en NICHES. En su primera etapa el proyecto buscó determinar un grupo selecto de ciudades con experiencias exitosas en movilidad y logística urbana (ciudades campeonas), tomando en cuenta aspectos como la

calidad de las aplicaciones, uso de conceptos, nivel de compromiso, y alcance geográfico (Polis, 2008). Paralelamente, se llevaron a cabo talleres de trabajo para definir las cuatro áreas temáticas más importantes para un desarrollo sostenible de la movilidad urbana (Polis, 2008). Los talleres permitieron establecer 12 conceptos innovadores fundamentales que se utilizarán en cada paso de la metodología. La idea fundamental es a partir de las experiencias de éxito en las Ciudades campeonas, extraer guías de implementación para cada uno de los 12 conceptos innovadores.

Las iniciativas Europeas antes analizadas, este es el caso de CIVITAS, TURBLOG e incluso BESTUFS muestran un interesante punto de partida para estudios en Logística Urbana. No obstante, sus planteamientos están basados en talleres de trabajo y experiencias, sin tener una base científica sólida.

En el caso de NICHES +, los doce conceptos innovadores surgen a partir de experiencias de casos de éxito de Ciudades Campeonas, sin embargo un caso de éxito no es evidencia suficiente para probar la validez de un concepto. De igual manera, las metodologías de transferibilidad, especialmente en el caso de CIVITAS, proponen una secuencia general de pasos a seguir sin entrar en suficiente profundidad en cada etapa. Por ejemplo, una de las etapas del método CIVITAS sugiere buscar contextos similares, sin embargo, no se incluye herramientas que puedan medir objetivamente el grado de similaridad de dichos contextos.

2.3.2 Caracterización de ciudades y lugares de estudio

Como se mencionó, la transferencia de conocimientos depende en gran medida de la caracterización de la zona de estudio considerada. Sin embargo la caracterización puede realizarse desde varios niveles y los resultados obtenidos no siempre pueden comparar las necesidades de dos diferentes ciudades. En este contexto, existen dos herramientas que permiten abordar el problema de caracterizar ciudades en términos logísticos, estos son el perfil logístico y el perfil de ciudad desarrollados en (Macário, Galelo, & Martins, 2008) y en la iniciativa CIVITAS (ISIS - Istituto di Studi per L'integrazione dei sistemi, 2006) .

Dichas herramientas parten de la hipótesis de que es posible encontrar zonas o ciudades con necesidades logísticas homogéneas. En Macario, se analiza zonas definidas dentro de las ciudades en base a tres aspectos fundamentales: características de las ciudades, necesidades de los agentes y características de los productos. En CIVITAS, se diferencian ciudades utilizando dos criterios principales: densidad de tráfico y modalidad de transporte.

Existen otras prácticas que intentan agrupar ciudades con ciertas características de uniformidad. Un estudio de transporte urbano en India (Ministry of Urban Development, India, 2008) utilizó una perspectiva diferente para categorizar y seleccionar las ciudades más conflictivas en términos logísticos. Treinta ciudades representativas fueron tomadas de un total de 87, donde se consideraron 6 factores: tamaño y forma de la ciudad, disponibilidad de transporte público, nivel económico de la ciudad y ubicación geográfica (Ministry of Urban Development, India, 2008).En

el estudio las ciudades fueron clasificadas en función de su población dentro de 7 grupos principales.

2.3.3 Algunas aplicaciones en Logística Urbana

2.3.3.1 Mejores prácticas propuestas por BESTUFS

El trabajo de BESTUFS ha sido plasmado en las guías de buenas prácticas en logística urbana publicadas en 17 idiomas. Dichas guías se clasifican en 3 secciones, que representan 3 de los más importantes problemas de logística urbana (Allen, 2007): (1) Acceso de vehículos de mercadería y carga/descarga en zonas urbanas, (2) Soluciones para la entrega final y (3) Centros de consolidación urbanos.

Existen 4 objetivos de mejora principales relacionados con el acceso de vehículos de mercadería en zonas urbanas de acuerdo a BESTUFS. La Tabla 2.3-1 muestra dichos objetivos con algunas acciones para alcanzarlas. Muchas de las acciones mencionadas han sido aplicadas en muchas ciudades europeas. Las áreas de reparto en proximidad (ELP), definidas como “un espacio en la calle destinado a la carga y descarga de mercancías a los comercios adyacentes” (Allen, 2007). Los ELP tienen flexibilidad de espacio y horario y han sido implementados en Burdeos y Rouen (2007). La principal ventaja de las áreas de reparto es el hecho de no necesitar montos altos de inversión en infraestructura.

Objetivos	Acciones
Mejorar la seguridad en el trayecto	Telemática en el transporte
	Señalización
	Mapas del transporte de mercancías
Reducir la distancia y número de desplazamientos	Rutas de camiones
	Centros de consolidación urbanos
	Telemática en el transporte
Mejorar las operaciones de entrega y recolección	Muelles de entrega en la calle
	Áreas de entrega próxima
	Centros de consolidación urbanos
Disminuir el impacto ambiental	Normas de circulación
	Entregas nocturnas
	Carriles camión
	Fomentar uso de vehículos ecológicos

Tabla 2.3-1. Objetivos y acciones sobre el acceso de vehículos de mercadería en zonas urbanas. **Fuente:** (Allen, 2007)

La entrega final constituye un aspecto fundamental dentro de la cadena de suministro de empresas que carecen de puntos físicos de venta (como supermercados) o que utilizan canales de negocios personalizados a través de plataformas como teléfono o Internet. Sin embargo, pese a que cada vez más empresas optan por ventas a domicilio en Europa y Estados Unidos, el sistema actual de entregas al cliente es deficiente. Una encuesta en Reino Unido reveló que el 95% de los vendedores no ofrecen garantías en la entrega, menos del 12% permiten que el cliente elija el día de la entrega, y adicionalmente, los horarios de entrega coinciden con los momentos en que la mayoría de hogares se encuentran vacíos (Allen, 2007). Lo anterior muestra que la forma en que operan las cadenas de suministro, hacia la entrega final, no están orientadas al cliente (razón de ser de la cadena de suministro).

BESTUFS define dos modalidades de entrega final y plantea ciertas recomendaciones para cada una de ellas. El Reparto presencial, es recomendable

para entrega de comida u objetos delicados. Pese a ser el tipo de reparto más popular, tiene complicaciones logísticas en vincular las disponibilidades de cliente y repartidores. Una segunda modalidad de reparto es el reparto no presencial. Este tipo de reparto suele ser muy conveniente para los agentes de entrega, pues no existen intervalos fijos de horario para cada entrega, pero es difícilmente aplicable a productos de alto valor o perecibles (Allen, 2007). Es común utilizar buzones de recepción y entrega la entrega en modalidad no presencial.

Los centros de consolidación constituyen una de las soluciones de mayor impacto para la problemática de logística urbana. Los beneficios pueden incluir: reducción del número de desplazamientos y de distancia recorrida, mejoras en el uso de la relación volumen/peso para vehículos, reducción del número de vehículos y posibilidad de realizar actividades que agregan valor en la entrega final. En el informe (Allen, 2007), se señala la importancia de la sinergia entre los sectores públicos y privados ya que: se requiere financiamiento y espacio público en las etapas de inicio, pero se requiere excelencia en gestión y aprovechamiento de recursos propio del sector privado. La elección de la ubicación es una de las cuestiones más importantes, y dependiendo de las necesidades se puede optar por instalaciones centrales o periféricas.

Al elegir centros de consolidación se debe considerar también ciertas implicaciones del funcionamiento de los centros de consolidación. Los costos de puesta en marcha y operación son usualmente altos y por tanto requieren volúmenes altos de envíos para ser sostenibles, así como la cooperación de varias empresas y/o sectores industriales. Es importante manejar adecuadamente la relación entre las empresas

usuarias del servicio y la organización encargada de brindarlo (Allen, 2007). Además es fundamental considerar que un centro de consolidación constituye un eslabón adicional en la cadena de suministro, es por tanto necesario estimar correctamente los tiempos y costos generados por este nuevo eslabón.

2.3.3.2 Algunos casos de estudio expuestos en TURBLOG

El marco de trabajo de TURBLOG como ya se mencionó se basa en la metodología de transferibilidad antes descrita. Partiendo de la premisa de que las implementaciones en logística urbana puedan adaptarse a contextos específicos, se han estructurado varios grupos de soluciones en función del perfil logístico para el que serían más adecuados. En el tercer reporte de (TURBLOG, 2011-C) se describe ocho importantes casos de estudio que se constituyen después en la base de soluciones que pueden ser implementadas en diferentes contextos. A continuación se describe brevemente los casos de estudio más representativos. Se recomienda referirse al Anexo 2 (pág. 147) para revisar una comparación entre los ocho casos de estudio mencionados.

Chronopost Concorde. El caso de estudio se desenvuelve en París, ciudad con una población de 2.2 millones habitantes, una densidad poblacional en promedio de 21000 hab/km² (TURBLOG, 2011-C). Chronopost es una organización de entrega de paquetes en Francia basada en una flota de vehículos eléctricos. Se creó un espacio logístico urbano en un parqueadero subterráneo en el Centro de Paris. Dicho espacio logístico actuaba como un eje de conexiones para las entregas dentro de la ciudad. Una flota de vehículos eléctricos se encargaba del reparto final, tomando los paquetes desde el espacio logístico. Se logró rediseñar las rutas incluyendo más

puntos de entrega, y la distancia total recorrida logró reducirse en un 75% (TURBLOG, 2011-C).

Programa de entrega fuera de horario. New York. New York y particularmente Manhattan es considerada una de las zonas con mayor movimiento comercial del mundo. New York es uno de los puertos más importantes y concentra una de las áreas con mayor concentración de instalaciones de transporte en el mundo. Su densidad poblacional (Manhattan) es de 25850 hab/km². Se estableció un programa piloto para evaluar la gestión de entregas nocturnas de mercancías. Los participantes fueron premiados con una reducción en impuestos (TURBLOG, 2011-C). El programa mostró reducción significativa de congestión en horas regulares así como disminución en los tiempos de abastecimiento y costos de entrega.

Plan Maestro Orientado a Carga. Belo Horizonte. La ciudad de Belo Horizonte es capital del estado de Minas Gerais en Brasil. Tiene un área total de 330.9km² y una densidad poblacional de 7071 hab/km². Es una ciudad mediana en comparación a Río de Janeiro y Sao Paulo que son consideradas las ciudades más grandes del país. El caso de estudio de Belo Horizonte fue planteado desde la óptica pública, el plan incluyó el establecimiento de áreas de entrega obligatorias en empresas grandes. De igual manera, fueron implementadas áreas para desembarco de bienes en ciertas horas así como áreas dedicadas para logística, que ofrecen acceso directo de diferentes medios de transporte. El plan redujo la congestión generada por camiones parqueados en fila doble y mejoró los tiempos de entrega. No obstante, aquellas empresas con mayor movimiento experimentaron costos adicionales en sus operaciones.

2.3.3.3 Una solución de Logística Urbana en el Centro Histórico de Lucca, Italia.

Lucca es una ciudad histórica ubicada en el Centro Norte de Italia. La ciudad tiene una población de 79.800 habitantes sobre una superficie total de 185.54 Km², mostrando por tanto una densidad poblacional de 430 hab/km² (Di Bugno, Guerra, Ambrosino, & Boero, 2008). La región histórica rodeada por *Las Murallas* constituye el principal foco comercial de la ciudad. Las murallas rodean un perímetro perfectamente circular de 4km, con un área de 1.27km². Dentro de la zona cerca de 700 locales comerciales funcionan dentro de este perímetro.

Debido a su importancia histórica y al tamaño de las calles se han establecido regulaciones para vehículos de carga dentro de la zona. La carga máxima completa permitida es de 3.5 Toneladas, y se restringe la circulación a vehículos con dimensiones (largo, ancho y altura) mayores a 5.4x2x2.2m. Existen varias zonas de parqueo donde los vehículos de carga pueden permanecer durante máximo 15 minutos. Además, la municipalidad ha establecido ventanas temporales de entregas para diferentes tipos de productos (Di Bugno, Guerra, Ambrosino, & Boero, 2008).

El proyecto CEDM llevado a cabo por la Comunidad Europea desarrolla una iniciativa para mejorar la distribución en la zona al interior de Las Murallas en Lucca. El esquema propuesto busca reducir las emisiones de CO₂ a partir de la consolidación de envíos dentro del perímetro y la utilización de vehículos eléctricos.

El diseño de red está constituido por un centro virtual de distribución a las afueras de la muralla que funciona de manera conjunta con varios depósitos y bodegas ubicadas alrededor de la zona. Las operaciones son coordinadas desde el Centro

Virtual de distribución, sin embargo, el diseño está pensado para que el centro de distribución virtual y los depósitos actúen como una única instalación (Di Bugno, Guerra, Ambrosino, & Boero, 2008). La Figura 2.3-3 muestra el esquema de red donde se despliegan los 5 depósitos (Depot) periféricos y el centro de distribución virtual principal (CEDM Virtual City Distribution Terminal).

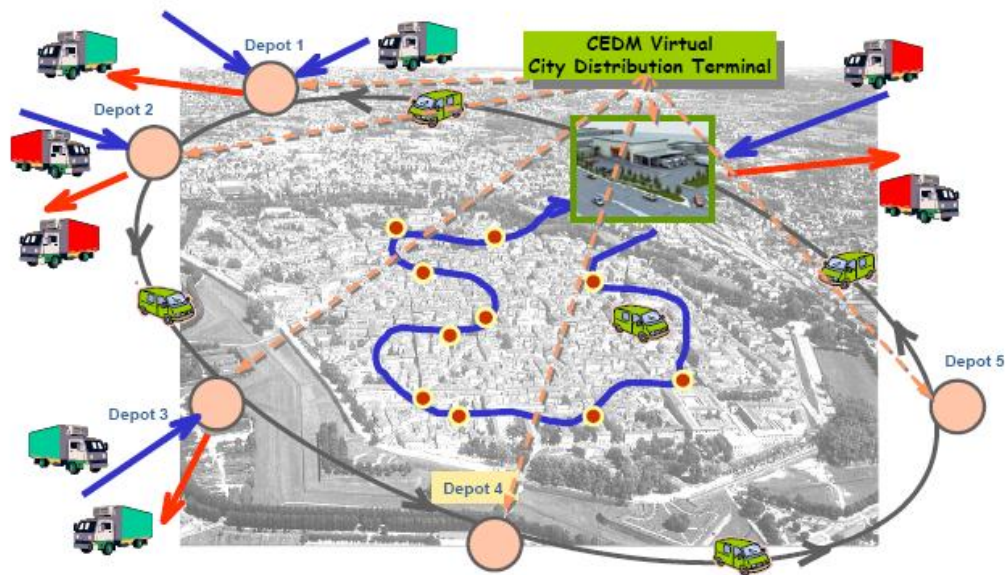


Figura 2.3-3. Esquema de distribución de CEDM en Las Murallas, Lucca **Fuente: (Di Bugno, Guerra, Ambrosino, & Boero, 2008).**

El centro de distribución CEDM es aprovisionado por operadores de transporte y mensajería que requieren llevar sus productos al interior de Las Murallas. Los pedidos son consolidados y llevados a sus destinos finales utilizando la flota de vehículos eléctricos (Di Bugno, Guerra, Ambrosino, & Boero, 2008). El diseño de red con puntos de depósito múltiples evita que todos los operadores tengan que desplazarse al Centro de Distribución Virtual principal para poder efectuar las entregas. En muchos de los casos, los puntos de depósito pertenecen a los mismos operadores de transporte.

2.3.3.4 Zonas de Carga y Descarga en Paris

El último tópico a considerarse en la presente revisión literaria se vincula con el diseño de zonas de carga y descarga. En (Paris City Council Roads & Transport Department, 2005) se desarrolla un guía técnica para la construcción de zonas de carga y descarga. En París, el 15% de los espacios de parqueo público son destinados a zonas de carga y descarga, de manera que la consideración técnica de zonas de carga y descarga es fundamental y puede constituirse una guía de desarrollo para otras ciudades.

Se establecen varios principios fundamentalmente empíricos pero con éxito en implementaciones reales. Se establece que las zonas de carga y descarga deben permitir que el desplazamiento máximo para operaciones de entrega y recolección sea de 50m (Paris City Council Roads & Transport Department, 2005). Cabe señalar no obstante que esta regla resulta coherente en el contexto parisino donde existen políticas a favor de la correcta realización de operaciones logísticas dentro de la ciudad, de manera que puede no necesariamente ser una regla fácilmente aplicables a ciudades que empiezan su desarrollo.

El reporte define 3 tipos fundamentales de espacios de entrega: sobre la vía, sobre la acera peatonal y una combinación de las dos anteriores. Los espacios de entrega sobre aceras peatonales se conocen como Zonas Lincoln mientras que el modelo híbrido se conoce como Half Lincoln (Paris City Council Roads & Transport Department, 2005). El diseño Half Lincoln es especialmente útil para zonas de carga y descarga sobre carriles exclusivos para buses (ver Figura 2.3-4).

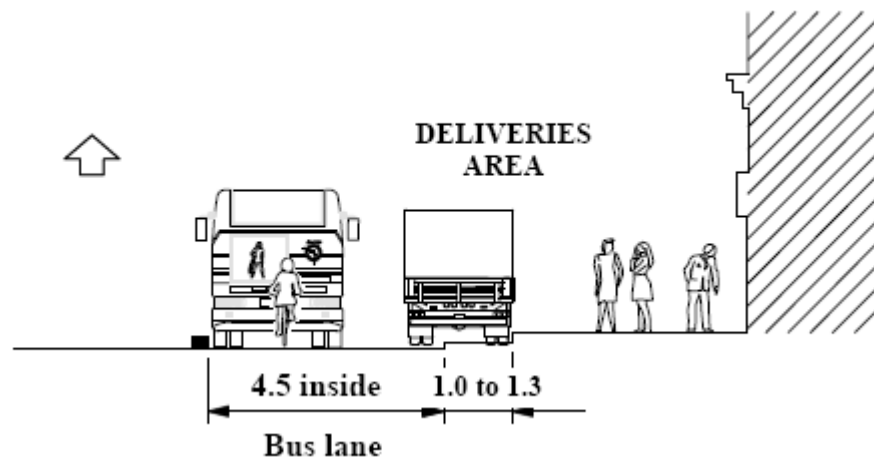


Figura 2.3-4. Ejemplo de una zona Half-Lincoln. **Elaborado por: (Paris City Council Roads & Transport Department, 2005)**

La guía técnica sugiere que las áreas deberían estar delimitadas siempre usando líneas entrecortadas de color amarillo, en una combinación 50cm de línea y 50cm de espacio, con un ancho de 10cm. Además, se marcará una diagonal en forma de X usando líneas continuas de 10cm de ancho. Por último, la palabra Entrega deberá estar escrita a lo largo de la línea entrecortada

Siempre que sea posible se sugiere que el largo mínimo del espacio de entrega sea de 12m para permitir que incluso vehículos de carga mediana y liviana puedan ocupar el área con normalidad. En cuanto al ancho, se sugiere que para las zonas de carga sobre la vía, se utilice un ancho de 2m como máximo, Las zonas Lincoln deberán ocupar 2.0m de ancho como mínimo y un máximo de 2.50m, por su parte las zonas Half-Lincoln deberán tener un ancho mínimo de 1.0m. La guía sugiere que este espacio permite que el líder de reparto pueda moverse alrededor de su vehículo

con los bienes. La Figura 2.3-5 muestra algunos aspectos técnicos para el diseño de zonas Lincoln de parqueo.

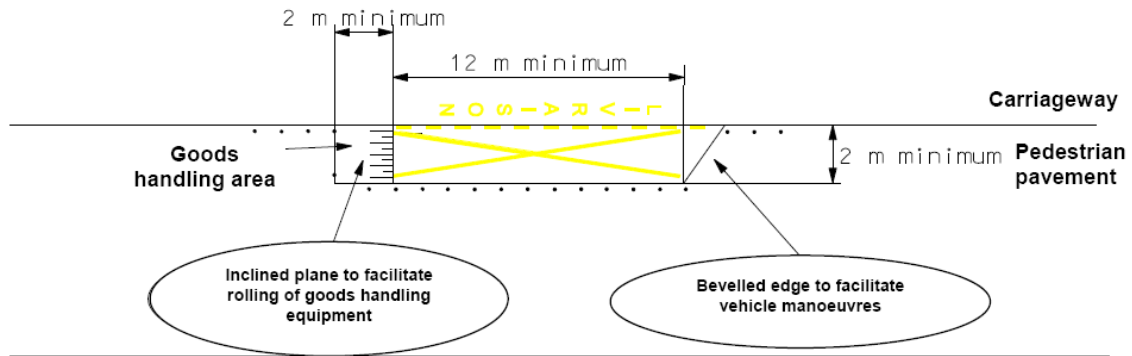


Figura 2.3-5. Diseño de una zona Lincoln de Carga y Descarga. Fuente: (Paris City Council Roads & Transport Department, 2005)

3 Metodología y Diseño de la Investigación

3.1 Descripción de la metodología a utilizarse

El estudio se desarrollará basado en la metodología de transferibilidad adoptada por TURBLOG (cfr. Sección 2.3.1). En dicha metodología se proponen 10 fases que inician con el entendimiento del problema de estudio y culminan con implementación de la propuesta. Una de las falencias de la metodología es que no desarrolla nuevos esquemas si no que basa sus soluciones en el repositorio de casos de estudio realizándose apenas leves modificaciones al paquete de medidas implantado. Esta perspectiva asume que los contextos de aplicación son homogéneos y que no existirá una mejor alternativa al paquete de medidas utilizado. Por esta razón, no se seguirá la metodología completa aunque sí las nociones básicas de entendimiento del problema de estudio.

El estudio se realizará en tres fases claramente delimitadas. La primera, la Definición y entendimiento de la problemática de estudio, la segunda, el desarrollo de un esquema de solución que responda a las necesidades encontradas en la primera fase. Por último se considera una fase final que analiza la viabilidad de la propuesta desde varias perspectivas.

La Caracterización del Problema de estudio inicia con la caracterización logística del CHQ. Posteriormente, se analiza el sistema actual de distribución de Cervecería Nacional desde la definición de su cadena de suministro llegando hasta un análisis detallado de su operación en el CHQ. A partir de esto, se analizan los indicadores de desempeño en función de la red de clientes. Este análisis conforma una plataforma

para la delimitación geográfica del área exacta donde se han identificado la problemática y dónde se buscará implementar mejoras. Por último, se identifican oportunidades de mejora a partir de la problemática identificada.

La Segunda Fase será tratada desde el marco de las decisiones estratégicas, tácticas y operativas. En primer lugar, se recopilará los casos de estudio que puedan empatar con la problemática definida en la fase 1. Posteriormente y en base a estos esquemas se esbozarán diseños de red para definir a nivel estratégico la red de distribución. A continuación se tomarán ciertas decisiones tácticas como el diseño de rutas de distribución para luego definir aspectos operativos como el tipo de equipos auxiliares requeridos. Finalmente se describirá un plan de contingencia. La metodología de desarrollo se ilustra en la Figura 3.1-1. A las dos fases descritas se añadirá una tercera que contiene un análisis de viabilidad económica, legal y operacional que será la base de una propuesta de cooperación público y privada.

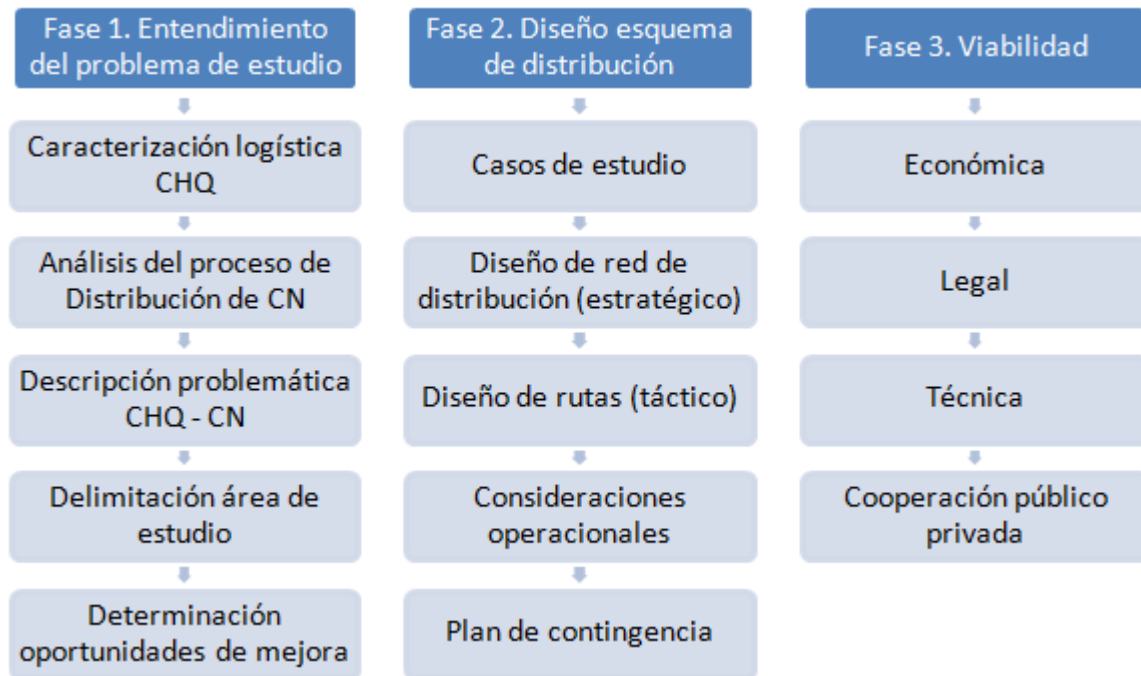


Figura 3.1-1. Metodología propuesta de investigación. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

3.2 Justificación de la metodología

Las tres fases descritas en la sección 3.1 van muy de la mano con las metodologías que el estado del arte de logística urbana utiliza. De cierta manera la esencia a nivel macro del proceso metodológico que se sigue está afincado en el método científico, definir el problema, proponer una solución, diseñarla e implementarla.

Ahora bien, la secuencia lógica que se sigue dentro de cada fase está diseñada de tal forma que cada etapa se apoya mucho en los resultados de la anterior. Por ejemplo en la fase 1, una vez que se ha caracterizado logísticamente el CHQ y el proceso de distribución de CN, se tiene una base sólida para poder describir la problemática. Adicionalmente, la delimitación de la zona de estudio que constituye el paso subsiguiente no es al azar y debe generar como resultado un área geográfica

manejable que represente verdaderamente la zona de mayor impacto del problema expuesto.

En la fase dos se ha propuesto un camino que parte de un nivel genral, para llegar a analizar cuestiones muy particulares. Cada paso en la metodología se constiuye en la base para la siguiente decisión a ser tomada. Es vaálido señalar que el proceso de diseño de redes logísticas está caracterizado siempre por el diseño estratégico de la red para pasar luego a decisiones tácticas y operativas.

3.3 Fuentes y recolección de datos

Se cuenta con diferentes fuentes para cada tipo de información requerido. Para la caracterización de la ciudad, se utilizará la mayor cantidad de información pública disponible, incluyendo reportes de gestión, proyectos de planificación, regulaciones municipales, y bases de datos públicas generadas principalmente por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC. Otros detalles logísticos importantes como la infraestructura y cifras de flujo vehicular serán tomados de artículos de noticias, estudios públicos y a través de observación in situ en el CHQ.

Por otro lado, para analizar la distribución de DINADEC se partirá de información generada por su sistema transaccional, en términos de ubicación de clientes, nivel de ventas, etcétera de cómo máximo un año de antigüedad. Finalmente se cuenta también con casos de estudio y guías de buenas prácticas publicadas por iniciativas público privadas (especialmente en Europa) que permitirán generar una base para el diseño del esquema de distribución propuesto.

3.4 Equipo de trabajo

Participarán en el proyecto, Juan Pablo Córdova Paredes, estudiante de quinto año de Ingeniería Industrial en la USFQ como autor e investigador principal. El profesor Daniel Merchán D., perteneciente al departamento de Ingeniería Industrial como director académico del proyecto. Además, el patrocinador del proyecto por parte de Cervecería Nacional es el Ing. Santiago Torres, Jefe de Planificación de DINADEC en el Distrito Metropolitano de Quito. Finalmente colabora en el proyecto Paola Calvache que forma parte del equipo de planificación de DINADEC.

4 Desarrollo y Análisis

4.1 Descripción logística del Centro Histórico de Quito

4.1.1 Delimitación Municipal

El Centro Histórico de Quito está delimitado geográficamente incluyendo 3 niveles principales de acuerdo al Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial (Distrito Metropolitano de Quito, 2012). A nivel más macro, incluye el área de Promoción Patrimonial que abarca en su conjunto casi la totalidad de la Administración Manuela Sáenz. En concreto los sectores incluidos son: “Chimbacalle, Villa Flora, La Magdalena al sur; al norte los sectores de la Alameda-El Ejido, Santa Prisca, el barrio Itchimbía, La Floresta, La Mariscal, y La Gasca. Además están los elementos y referentes geográficos como el Panecillo, las laderas del Pichincha, y las quebradas, que se mantienen como parte del paisaje urbano de la ciudad” (Distrito Metropolitano de Quito, 2012).

El segundo nivel de delimitación incluye la delimitación de la Parroquia Centro Histórico de Quito con un área total de 373 hectáreas. La Figura 4.1-1 muestra el polígono que define los límites de la Parroquia Centro Histórico de Quito. Por otro lado, el tercer nivel de delimitación y el de mayor interés para el estudio está delimitado de acuerdo al Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial de la siguiente manera: “El Centro Histórico de Quito comprende un núcleo central localizado entre las vías: Manabí (norte); Montufar (este); Rocafuerte y Morales (sur); e, Imbabura oeste” (Distrito Metropolitano de Quito, 2012). Este perímetro es bastante congruente con el límite de casco colonial de la Figura 4.1-1. Un mapa con

el detalle del perímetro de este último nivel se muestra en la Figura 4.1-2. Es importante notar que la Ordenanza Municipal 147 hace referencia a este último perímetro.

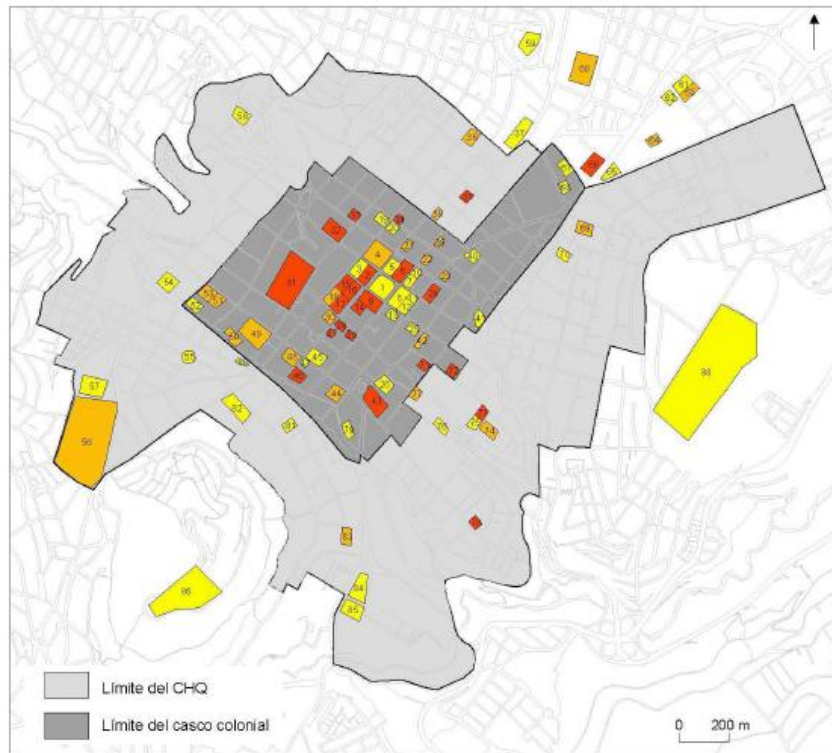


Figura 4.1-1. Delimitación Parroquia Centro Histórico de Quito y Casco Colonial. (D'Ercole & Metzger, 2002).

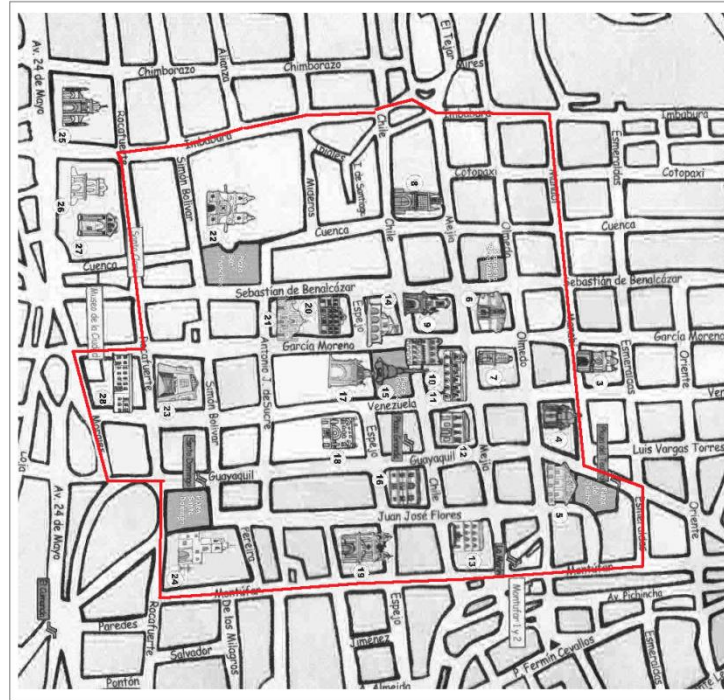


Figura 4.1-2: Límites del Centro Histórico de Quito. **Elaborado por** Juan Pablo Córdova Paredes

4.1.2 Características demográficas y comerciales

La Tabla 4.1-1 muestra un set de los indicadores demográficos más importantes actualizados al Censo Nacional de Vivienda 2010 y al Censo Nacional Económico 2009, cuyas bases y resultados son manejados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. Los datos ubican al Centro Histórico de Quito como una de las 10 parroquias con mayor densidad poblacional en la Ciudad. La dinámica comercial es alta y existen al menos 10 nodos logísticos importantes dentro de la parroquia incluyendo 8 Centros Comerciales, un mercado mayorista y un minorista. La densidad comercial en la administración Zonal Manuela Sáenz es de 177.49 Establecimientos Relacionados con Logística Urbana por Kilómetro Cuadrado, de

manera que se esperarí un mínimo de 662 establecimientos en la Parroquia tomando en cuenta las características comerciales de la parroquia.

Indicador	Parroquia						
	CHQ	IÑA	QUI	CAL	COT	SOL	CUM
<i>Densidad Comercial *</i>	177.49	28.29	41.25	174.18	6.08	4.16	5.78
<i>Producción Basura Ton RSU/Día</i>	46.44	32.88	28.8	40.95	23.64	61.40	7.20
<i>Población (Hab)</i>	40870	44149	79057	152242	31263	78279	31463
<i>Área (Km²)</i>	3.73	7.05	11.75	79.17	2.77	4.46	26.46
<i>Densidad Poblacional (Hab/Km²)</i>	10955	6264	6731	1923	11301	17566	1189
* Estimado de la Administración Zonal a la que pertenece. CHQ: Centro Histórico de Quito. IÑA: Iñaquito. QUI: Quitumbe. CAL: Calderón. COT: Cotacollao.							

Tabla 4.1-1. Indicadores característicos del Centro Histórico de Quito y otras parroquias de interés.
Elaborada por: Juan Pablo Córdova Paredes

Los indicadores de Densidad Comercial y de Producción de Basura están íntimamente relacionados bajo la hipótesis de que existe mayor producción de basura en lugares donde el comercio de productos masivo es más alto, es decir, la tasa de producción de basura es proporcional a la dinámica comercial (en lo que se refiere a consumo masivo) del sector. Es interesante notar también que la parroquia CHQ es la tercera con mayor producción diaria de basura en todo el DMQ.

4.1.3 Aspectos logísticos de interés

4.1.3.1 Velocidades de circulación

No se dispone información actualizada oficial sobre la velocidad de circulación en el Centro Histórico de Quito, sin embargo se cuenta con ciertos datos históricos. En 2010, “Según datos de la Policía, en el Centro circulan, en promedio, 3 300 autos por hora. En horas pico, la velocidad de circulación es de 10 Km/h y en horas menos congestionadas hasta de 30 Km/h” (El Comercio, 2010). Por otra parte, El Plan

Maestro de Movilidad (Distrito Metropolitano de Quito y otros, 2009) señala que la velocidad promedio de circulación durante 2009 en el Centro Histórico de Quito fue de 14.1Km/h. Es interesante contrastar estos valores con las velocidades promedio de circulación en el resto de la ciudad: Hipercentro⁶: 17.9Km/h; Av. Simón Bolívar y Autopista General Rumiñahui: 62.4Km/h, Vías externas al Hipercentro: 27.7 Km/h.

Una fuente interesante de información vial es proporcionada por el sistema de navegación gratuito Waze⁷. A través de ella usuarios utilizando Smartphones pueden remitir información a la plataforma sobre zonas de congestión, cambios en direccionalidad de calles, velocidades promedio de circulación, etcétera. Se seleccionaron 10 vías de importante circulación dentro del CHQ y se promedió la velocidad de circulación reportada en varios puntos de cada vía. Dichos promedios son desplegados. Las velocidades promedio diarias muestran un promedio $\bar{x} = 9.0 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$ y una desviación estándar muestral $s = 0.669 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$. Todos estos datos sugieren que la velocidad promedio de circulación en el CHQ es inferior a 15 Km/h. Sin embargo estos valores necesitan ser validados con información de campo.

⁶ El Hipercentro se define como la zona determinada entre La Y y La Villaflora y se constituye como la zona donde se concentra la mayor densidad circulación vehicular de la ciudad. De acuerdo a la Agencia Pública de Noticias de Quito, se produce una circulación aproximada de 800 mil vehículos por día en la zona (Agencia Pública de Noticias de Quito, 2010).

⁷ Para mayor información visitar <http://es.waze.com>

Velocidades promedio Km/h						
Calle	Martes 9:00am	Jueves 7:40am	Viernes 7:00am	Viernes 11:00am	Jueves 6:00am	Viernes 11:00am
Venezuela	9,0	9,0	12,3	6,8	12,3	11,2
Guayaquil	12,0	11,0	11,0	11,3	11,6	11,6
Montufar	8,8	9,0	6,3	6,0	8,0	12,6
García Moreno	11,0	11,0	10,0	8,3	9,0	9,0
Rocafuerte	8,0	7,8	7,0	7,8	8,0	9,2
Cuenca	9,7	7,5	7,0	7,0	9,3	11,5
Benalcazar	8,5	9,0	9,5	9,2	9,2	11,2
Espejo	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Oriente	7,0	7,0	10,7	10,7	10,7	10,7
Esmeraldas	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3

Tabla 4.1-2. Velocidades promedio de circulación reportadas en Waze para 10 vías importantes del CHQ.
Elaborado por Juan Pablo Córdova Paredes

4.1.3.2 Nodos y arcos logísticos importantes

Se definen los nodos logísticos como los puntos donde se concentran actividades logísticas y comerciales importantes incluyendo mercados mayoristas, minoristas, centros comerciales, centros de distribución, puntos de crossdocking, bodegas. En el caso particular de Quito y el Centro Histórico, la dinámica gira en torno a miles de puntos de venta minoristas constituidos por micromercados, tiendas y pequeños restaurantes. Un muestreo rápido reveló la existencia de entre 40-50 establecimientos por cuadra en muchos sectores dentro del CHQ. De igual manera, datos proporcionados por DINADEC y Cervecería Nacional muestran que al menos existen más de 376 puntos de venta minoristas, entre tiendas, micromercados y restaurantes en el perímetro descrito en la Figura 4.2-6.

Entre los nodos logísticos más grandes y con mayor dinámica comercial se encuentran los llamados Centros Comerciales del Ahorro, entre ellos: Montufar, La

Merced, Granada, Hermano Miguel, Tejar, Mires, adicionalmente el Mercado Mayorista de San Roque y el Mercado Central.

En cuanto a los arcos que componen la red y de acuerdo a la definición propuesta por la Ordenanza Municipal 147, el Centro Histórico de Quito no cuenta con Redes de Paso tipo A. Un tramo de la Av. Mariscal Sucre constituye el único arco perteneciente a la Red de Paso Tipo B que confluye hacia el Oeste centro Histórico de Quito, de la misma manera, la Av. Pichincha (E-35) que delimita la parte Este del CHQ constituye el único arco perteneciente a la Red de Accesos. Por último las calles Venezuela, Guayaquil, Rocafuerte, García Moreno y Ambato son posiblemente las que poseen mayor flujo vehicular.

4.1.4 Restricciones municipales de circulación

La Ordenanza Municipal 147 regula la circulación de vehículos de carga y químicos peligrosos en la ciudad. Dicha Ordenanza entró en vigencia el 19 de julio de 2005, y actualmente funciona de acuerdo al reglamento de aplicación de la Ordenanza 147 expedido mediante la resolución A0034 del 18 de abril de 2007. La última modificación realizada sobre la ordenanza fue expedida el 19 de octubre de 2012 y realiza ciertas modificaciones sobre la categorización de ciertos tramos de la Avenida Mariscal Sucre.

La ordenanza categoriza a los vehículos de acuerdo a sus dimensiones, longitud, ancho y altura tal como se señala en la Tabla 4.1-3. La dimensión de los camiones varía de productor a productor. La Tabla 4.1-4 muestra algunos ejemplos de

vehículos y la clasificación a la que pertenecerían de acuerdo a la Ordenanza Municipal 147.

Clasificación General de los Vehículos de Carga

CLASIFICACIÓN	LONGITUD MÁXIMA (m)	ANCHO MÁXIMO (m)	No. DE EJES	No. DE LLANTAS
CL Carga liviana	7,5	2,3	2	4 – 6
CM Carga media	12,0	2,6	2 – 3	6 – 10
CP Carga pesada	18,3	2,6	3 – 6	10 – 22

Tabla 4.1-3. Clasificación General de los Vehículos de Carga. **Fuente:** Ordenanza 147.

Por otro lado, se establece en la ordenanza prohibiciones expresas para la circulación de vehículos de carga pesada. Los vehículos de carga liviana no sufren prohibiciones de ingreso sin embargo podrán únicamente realizar operaciones de carga y descarga en las zonas habilitadas para el efecto (Distrito Metropolitano de Quito, 2005). Los vehículos de carga mediana podrán circular en el CHQ entre las 20h30 y las 06h30 del día siguiente, de lunes a sábado, y de 19h30 a 6h30 los días domingo.

Camiones de acuerdo a la Ordenanza 147					
Modelo	Peso Bruto	Carga Útil	Longitud	Altura	Ancho
<i>Carga Liviana</i>					
<i>Hino 300 2.5 Ton</i>	4720 Kg	2575 Kg	5185 m	2.175 m	1.695 m
<i>Hino 300 3.5 Ton</i>	5500 Kg	3440 Kg	4.740 m	2.140 m	1.860 m
<i>Hino 300 4 Ton</i>	6500 Kg	4060 Kg	6.120 m	2.240 m	1.995 m
<i>Hino 300 6 Ton</i>	8500 Kg	5895 Kg	7.285 m	2.255 m	2.055 m
<i>Hino 500 FC 7.5 Ton</i>	10400 Kg	7440 Kg	7.405 m	2.470 m	2.175 m
<i>Carga Media</i>					
<i>Hino 500 FG 9.5 ton</i>	13500 Kg	9690 Kg	8.095 m	2.560 m	2.245 m
<i>Hino 500 FG 10 Ton</i>	15500 Kg	10795 Kg	9.315 m	2.660 m	2.435 m
<i>Hino 500 FM 19 Ton</i>	26000 Kg	18 840 Kg	8.950 m	3.145 m	2.455 m

Tabla 4.1-4. Algunos camiones disponibles en el mercado ecuatoriano de acuerdo a la Ordenanza 147.

Elaborada por: Juan Pablo Córdova Paredes. **Fuente:** (Mavesa S.A, 2013),

4.2 Caracterización del Problema de Estudio

4.2.1 Cadena de Suministro de Cervecería Nacional

Cervecería Nacional y DINADEC trabajan de manera conjunta teniendo acceso a información compartida a través de su plataforma de negocios SAP. Esta labor conjunta tiene especial importancia estratégica dentro de la cadena de suministro de Cervecería Nacional. Las instalaciones de DINADEC están ubicadas dentro de las instalaciones de Cervecería Nacional tanto en Quito como Guayaquil. En la Figura 4.2-1 se muestra un esquema general de la cadena de suministro de Cervecería Nacional a nivel nacional. El esquema no muestra los clientes finales, pero se sabe que sólo tienen acceso a los productos desde los puntos de venta en tiendas y minoristas, Key Account, mercados mayoristas y en ciertos casos, en los depósitos. No se ha incluido a los clientes finales debido a que los flujos de producto, información y dinero empiezan a retornar hacia Cervecería Nacional a partir de los puntos de entrega. De hecho, Cervecería Nacional considera su red de clientes, como la red de puntos de entrega: minoristas, key accounts, mayoristas y depósitos. Otros eslabones importantes de la cadena de suministro lo constituyen los cerca de 3000 proveedores, la mayoría de ellos agricultores pertenecientes a la base de la pirámide.

DINADEC es responsable de atender en menos de 24 horas los pedidos recibidos en la central de ventas de Guayaquil realizados por clientes en Quito y Guayaquil. Es de especial interés el caso de Quito, donde existe una red de más de 24 mil clientes, en su gran mayoría tiendas de barrio. En Ecuador las ventas al detalle (retail)

constituyen el mecanismo más común de acceso de personas a bienes de consumo masivo. En el Anexo 3 se muestra el detalle de los flujos de información, producto y dinero en la cadena de suministro de Cervecería Nacional.

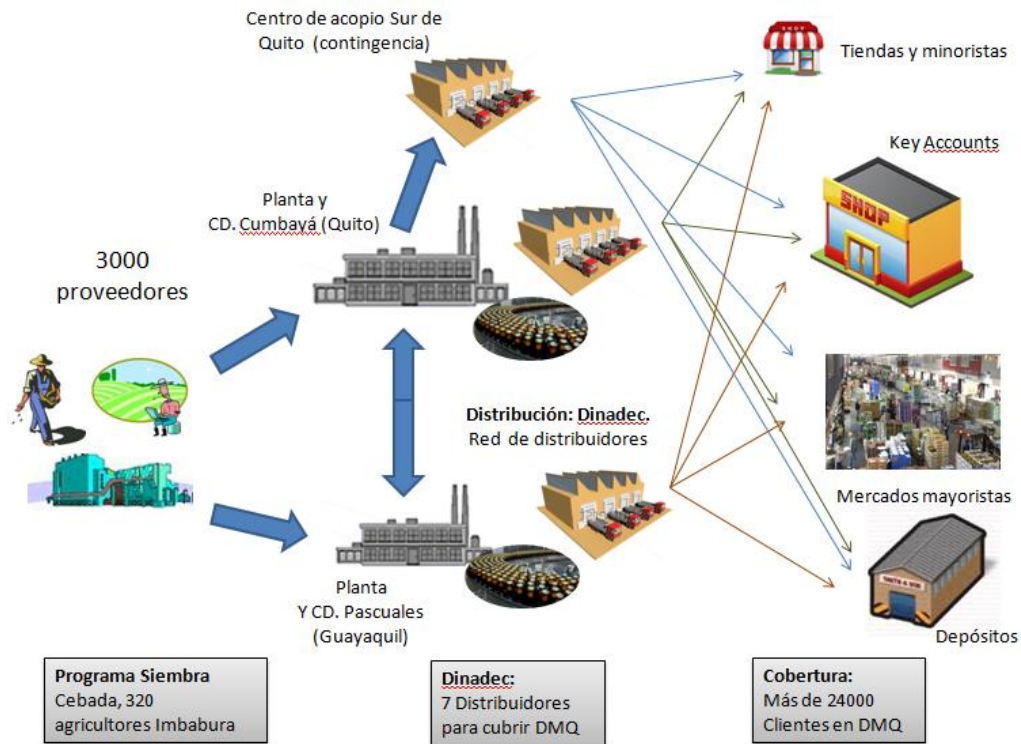


Figura 4.2-1. Esquema general de la cadena de suministro de Cervecería Nacional.
Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes

4.2.2 Descripción del proceso de Venta y Distribución de DINADEC

Cervecería Nacional en acción conjunta con su franquiciado DINADEC S.A ha implementado exitosamente un esquema de televenta como método principal de generación de órdenes y distribución. Muy pocas empresas de consumo masivo manejan este esquema de distribución en el país siendo CN el principal referente en la metodología. El proceso de distribución y ventas está descrito en la Figura 4.2-2.

Son cinco los subprocesos que están involucrados dentro del proceso entero de televenta y distribución de CN, dichos procesos son brevemente descritos a continuación.

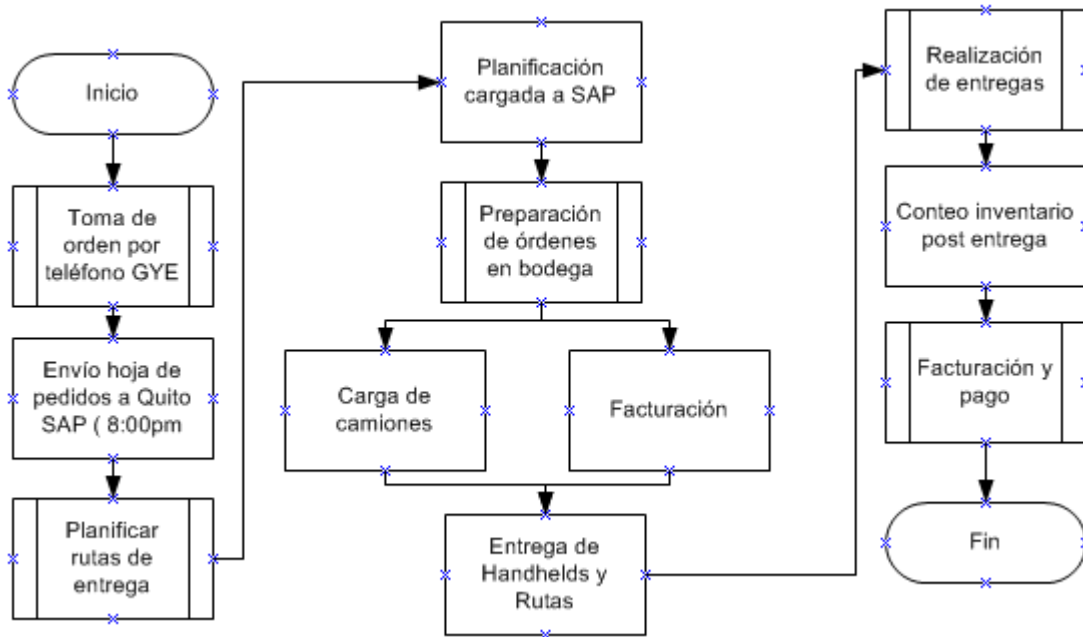


Figura 4.2-2. Proceso de televenta y distribución de CN y DINADDEC Quito.

Toma de orden por teléfono en Guayaquil

Diariamente el equipo de CN maneja un trato directo con los principales clientes. Cervecería Nacional maneja 3 tipos de clientes: Depósitos, Minoristas y Key Accounts. Para el caso de los depósitos y minoristas. Los pedidos son ingresados al SAP hasta las 7:00pm. En Quito es común que los clientes realicen pedidos semanales. Cada cliente tiene una cuenta con Cervecería Nacional de manera que una vez que el pedido es efectuado por teléfono el inventario pertenece ya al cliente.

Planificación de rutas de entrega

Cerveza de 600ml de manera que la preparación de órdenes muestra alta homogeneidad de camión a camión. Los lotes preparados con su respectiva identificación necesitan estar listos antes de las 6:00am, hora en que da inicio el proceso de carga en los camiones de entrega.

Realización de entrega

Una vez que los camiones han sido cargados y que cada líder de reparto ha recibido su HandHeld, da inicio el proceso de reparto a lo largo de la ruta definida por el departamento de planificación. DINADEC ha definido ciertos parámetros para la entrega, entre ellos, la formación del equipo de entregas conformada por un chofer y 2 ayudantes de carga, los uniformes y las horas máximas de finalización de ruta. La realización de entregas constituye el proceso de mayor interés dentro del presente estudio y es detallado a continuación en la Figura 4.2-4. Tal como se aprecia, son varias las decisiones que los líderes de ruta (choferes de camión) deben tomar durante la ejecución de la ruta de entrega. Es interesante notar que la existencia de parqueaderos cambia la operación de entrega y condiciona otras decisiones como la realización o no de multi-paradas. De manera está demostrada la incidencia del líder de ruta en las operaciones de la ruta.

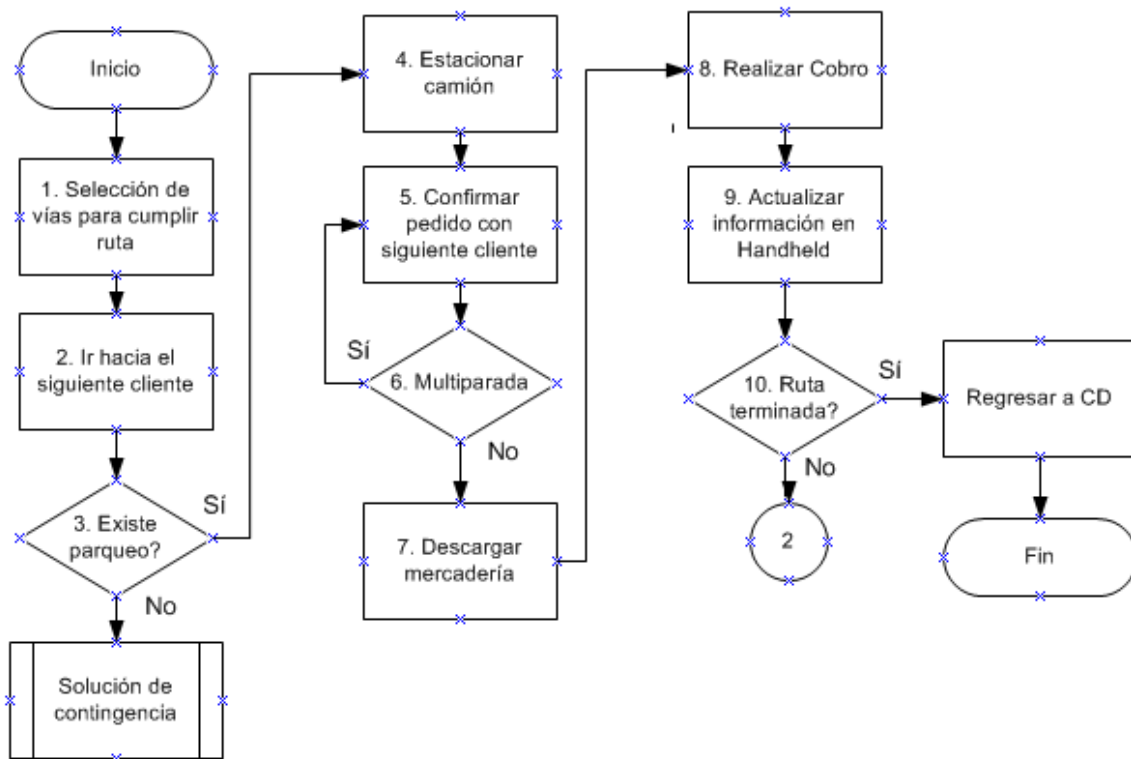


Figura 4.2-4. Proceso de realización de entregas en ruta.

4.2.3 La Red de Distribución de DINADEC en el Centro Histórico

4.2.3.1 Definición del Perímetro de incidencia del problema

Para caracterizar el problema es necesario realizar una definición adecuada de las zonas de interés, es decir, establecer geográficamente el alcance del estudio. Se establecieron 3 criterios para determinar un polígono de trabajo dentro del CHQ. Los criterios utilizados fueron los siguientes: (1) Zonas más conflictivas en términos de carga de tránsito, dificultad de realizar maniobras, lugares de parqueo y presencia de operativos policiales. (2) Límites definidos por Ordenanza Municipal 147 para el CHQ o alguna otra definición del Centro Histórico y (3) Impacto en Patrimonio.



Figura 4.2-5. Polígono que define las zonas más conflictivas de acuerdo al primer criterio de delimitación.

La Figura 4.1-1 y la Figura 4.1-2 muestran la delimitación de la Parroquia Centro Histórico y de la Zona Patrimonial del Centro Histórico de acuerdo al Distrito Metropolitano de Quito. Dichos polígonos constituyen los criterios 2 y 3 respectivamente. Por otro lado, siguiendo el primer criterio, se elaboró de manera conjunta con el líder de reparto de la zona CHQ un polígono que contemple en su interior las zonas de mayor congestión vehicular, presencia de oficiales de tránsito y dificultad de maniobrar. La Figura 4.2-5 muestra dicho polígono, delimitado por las calles Rocafría, Flores, Esmeraldas, Imbabura y la Av. Mariscal Sucre.



Figura 4.2-6. Definición del Polígono de trabajo para el estudio de distribución en CN.
Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes

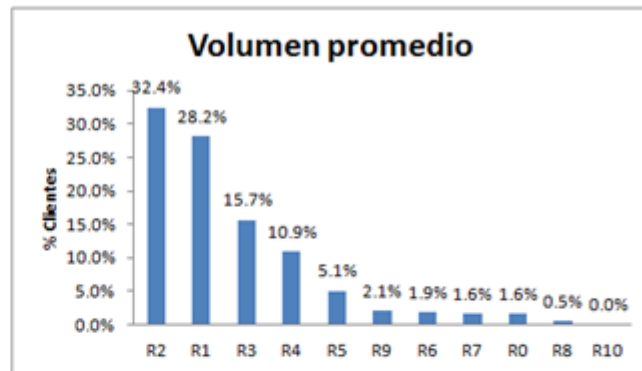
4.2.3.2 Número de clientes y Drop Size promedio

El mapa de la Figura 4.2-6 muestra los 376 clientes que pertenecen al polígono de estudio del CHQ. Existe heterogeneidad en los clientes en función del volumen de consumo y tipo de establecimiento, siendo el volumen de consumo diario (Drop Size) la variable más importante de categorización. Es importante mostrar que el 74% de los clientes activos en el polígono del CHQ tienen un Drop Size menor o igual a 8 cajas por semana. En la Figura 4.2-7 se muestra la categorización de los clientes en función del consumo en número de cajas de cerveza de 600ml⁸. Dicha figura muestra tanto los clientes activos (aquellos que realizaron al menos un pedido durante el año 2012) como la totalidad de clientes registrados por CN en la zona.

⁸ Una caja o más comúnmente conocida como jaba contiene 12 cervezas de 600ml.

Todos los clientes CN

Rango	Min (Máx]	%
R2	2	4	32.4%
R1	0	2	28.2%
R3	4	6	15.7%
R4	6	8	10.9%
R5	8	10	5.1%
R9	16	18	2.1%
R6	10	12	1.9%
R7	12	14	1.6%
R0	Mayor que 20		1.6%
R8	14	16	0.5%
R10	18	20	0.0%



Clientes Activos CN

Rangos en números de cajas			
	Min (Max]	%
R1	0	2	18,0%
R2	2	4	31,3%
R3	4	6	17,0%
R4	6	8	11,2%
R5	8	10	5,8%
R6	10	12	5,3%
R7	12	14	2,4%
R8	14	16	3,2%
R9	16	18	1,0%
R10	18	20	0,5%
R0	Mayor que 20		4,4%

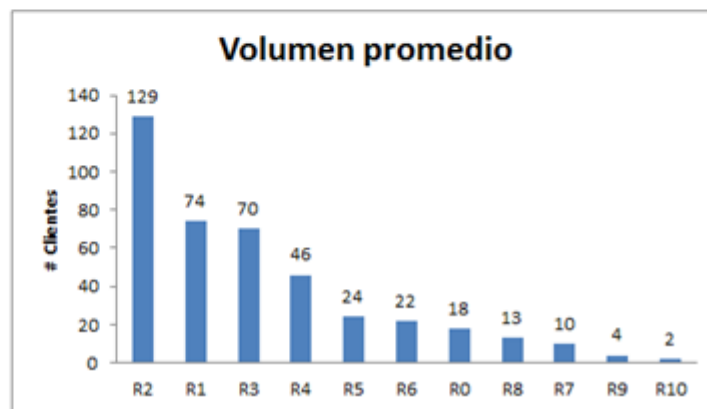


Figura 4.2-7. Histograma ordenado de clientes de CN y clientes activos de acuerdo al volumen de consumo en CHQ. Elaborado por: Juan Pablo Córdova. Fuente: DINADEC

4.2.3.3 Frecuencia de visitas

El diseño de las rutas de entrega define la frecuencia de visitas y está dado en función del nivel de rotación del producto y el flujo de efectivo de los clientes. En el caso de los clientes del Centro Histórico de Quito, sólo 13 de los 376 considerados tienen más de un día de entrega planificado (menos del 4%). La ruta actual de los clientes posee entre 75 y 150 clientes por día y por camión haciendo necesario que camiones de 6 a 8 Paletas sean utilizados durante la operación. La Figura 4.2-8 muestra el polígono definido del CHQ con sus clientes de acuerdo al día de visita. La

configuración actual se distribuye de la siguiente manera: Lunes: 10 clientes, martes 83, miércoles 65, jueves 149, viernes 2 y sábado 80. Es natural que dentro del polígono seleccionado existan rutas desequilibradas, esto se debe a que el sistema actual de distribución no contempla este perímetro como una zona única de manera que ciertos días se realizan entregas que en su mayoría están fuera del polígono de definición del CHQ.

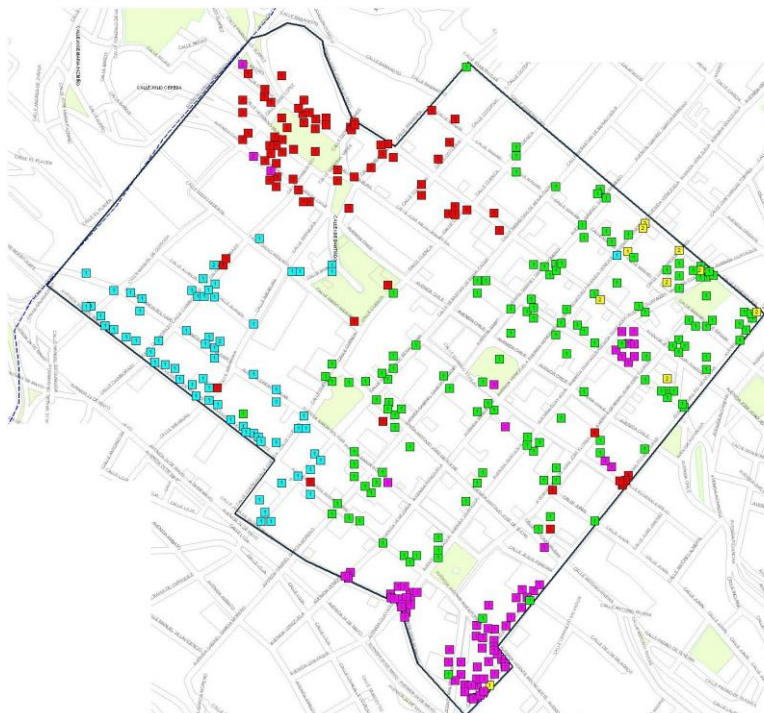


Figura 4.2-8. Clientes de CN en el polígono del CHQ de acuerdo al día de visita. Amarillo Lunes, Celeste Martes, Lila Miércoles, Verde Jueves, Rojo Sábado. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

4.2.3.4 Indicadores actuales de desempeño

Cerca del 70% de los rechazos están dados por dos causas, locales cerrados durante la visita (43%) y Clientes sin efectivo durante la entrega (26%) en el Centro Histórico de Quito en Diciembre de 2012 y Enero de 2013. Los mismos porcentajes

considerando todos los rechazos de DAF son (34% y 33%), y en el caso de todos los rechazos de CN son (32% y 26%). De manera que es posible que las ventanas horarias de los clientes influyan en la tasa de efectividad de reparto. Las causas de rechazo en el CHQ se muestran en la Figura 4.2-9. Por otro lado, durante Diciembre 2012 y Enero 2013, el 4.25% de los rechazos fueron reportados dentro del polígono del CHQ.

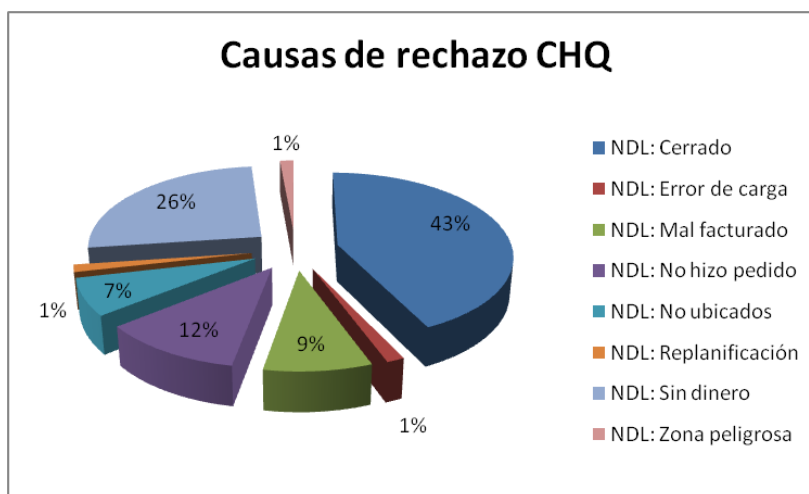


Figura 4.2-9. Causas de rechazos en CHQ, Dic 2012 - Ene 2013.
Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes. **Fuente:** DINADEC S.A.

Es importante notar también que existe una tendencia a recibir mayores rechazos durante los días lunes y martes. De hecho, de acuerdo a los datos, durante esos días, el 73.6% de los rechazos se deben a la falta de efectivo o a que el local haya estado cerrado. La Tabla 4.2-1 muestra el porcentaje de rechazo diario (medida en base al número de órdenes rechazadas) durante Diciembre de 2012 y Enero de 2013. Finalmente, los registros muestran que DAF posee un porcentaje de efectividad en número de entregas del 94.9%, y del 96.5% en volumen. Dado que la operación actual utiliza diferentes camiones para cubrir la zona de estudio, no es

posible determinar exactamente la eficiencia de entrega en la zona. Sin embargo, considerando una base de 150 entregas planificadas, se tiene un eficiencia de entregas del 94.2%. Este valor constituye una cota superior de desempeño dado que por lo general las rutas en el Centro Histórico de Quito contienen menos de 75 entregas.

Día	CHQ	DAF	CN
Lunes	41.4%	18.1%	18.8%
Martes	34.3%	10.4%	12.8%
Miércoles	10.0%	13.7%	14.6%
Jueves	12.9%	18.9%	16.4%
Viernes	1.4%	16.8%	17.0%
Sábado	0.0%	13.9%	15.6%
Domingo	0.0%	8.3%	4.7%

Tabla 4.2-1. Porcentaje de ocurrencia de rechazos por día. El porcentaje está calculado en función del total de rechazos. Es decir, el 41.4% de los rechazos en el CHQ ocurren los días Lunes.

Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes. **Fuente:** DINADEC S.A.

4.2.4 Costos de distribución para Distribuidora Aleaga Fuigeroa

Uno de los aspectos más relevantes del funcionamiento del sistema actual está dado por el esquema de compensación que maneja DINADEC con cada uno de sus distribuidores. Se manejan más de 40 rubros que cuantifican gastos operacionales y administrativos. Los elementos de costo para el caso de Distribuidora Aleaga Figuroa se muestran en la Figura 4.2-10. Dichos elementos de costo son calculados en función de dos grupos de parámetros genéricos y particulares. Los parámetros genéricos incluyen: Tasa de inflación anual, tasa incremento salarial, Costos de mercado para mantenimiento correctivo y preventivo, y neumáticos. Por

otro lado, los parámetros particulares son: Volumen anual a distribuir, número de clientes, kilómetros de recorrido en ruta, y otros costos particulares.

Costos Operacionales			
Mantenimiento y Consumos	Otros fijos de la operación	Mano de Obra	
Mantenimiento de Vehículo Mantenimiento Correctivo Mecánico Veh. Neumáticos de Vehículo Combustible Perdida o inventario quebrado	Mantenimientos de pintura vehículos Matrícula de Camión Mantenimiento de carrocerías Mantenimiento de puertas corredizas Limpieza camiones de reparto Servicio GPS Alquiler Camioneta Teléfono Celular Peaje Escolta camiones Seguro de camión	Tripulantes Conductores Uniforme y equipo protector Gastos de alimentación Vacacionista (tripulantes) Vacacionista (chofer)	
Gastos Administrativos			
Seguros e Infraestructura	Gastos administración	Sueldos y Salarios	Alquiler
Infraestructura IT Muebles y equipo de oficina Seguro de infraestructura de IT Seguro de muebles y equipos de oficina Seguro de transporte de dinero Seguro de inventario	Contador Honorarios de recolección de efectivo Incobrables Cargos Bancarias Suministros computación y Papelería Gastos de alimentación Administración Teléfonos (Oficina y Bodega) Servicios básicos de bodega y oficina Suministros doméstico y varios Permisos de funcionamiento y otros impuestos	Supervisor Limpieza y Orden Auxiliar Administrativo Asistente Contable Estibas Contador	Alquiler

Figura 4.2-10. Elementos de costos para DAF. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes. Fuente: DINADEC S.A.

El proceso de determinación de los más de 40 elementos de costos genera como resultado final una tasa de pago con componentes fijos y variables por hectolitro entregado. La Figura 4.2-11 muestra los valores estimados para DAF en zonas de reparto Urbano, incluyendo el Centro Histórico de Quito. Es válido señalar que los costos variables están basados en el desempeño del distribuidor y motivan la eficiencia en entregas y nivel de servicio brindado.

DINADEC considera tres indicadores para el cómputo de la tarifa variable y asigna una ponderación a cada indicador: (1) OFR⁹ – 50%, (2) IR: Resolución de Quejas – 30%, y Cumplimiento de Recojo de envase programado – 20%. Existen metas definidas a través de rangos y un esquema de pago particular para cada tipo de indicador. Dicha información se resume en la Figura 4.2-12.

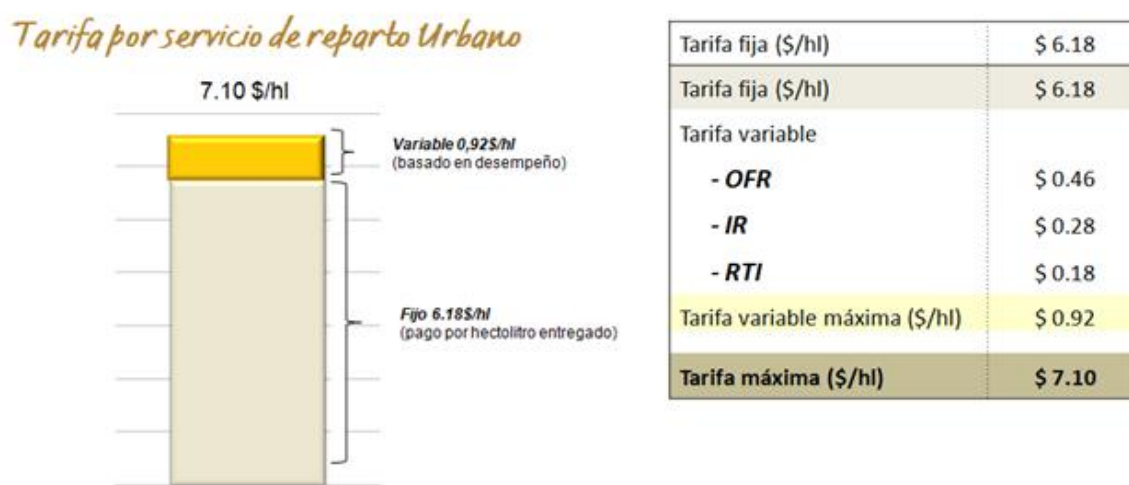


Figura 4.2-11. Tarifa por servicio de reparto Urbano para DAF.

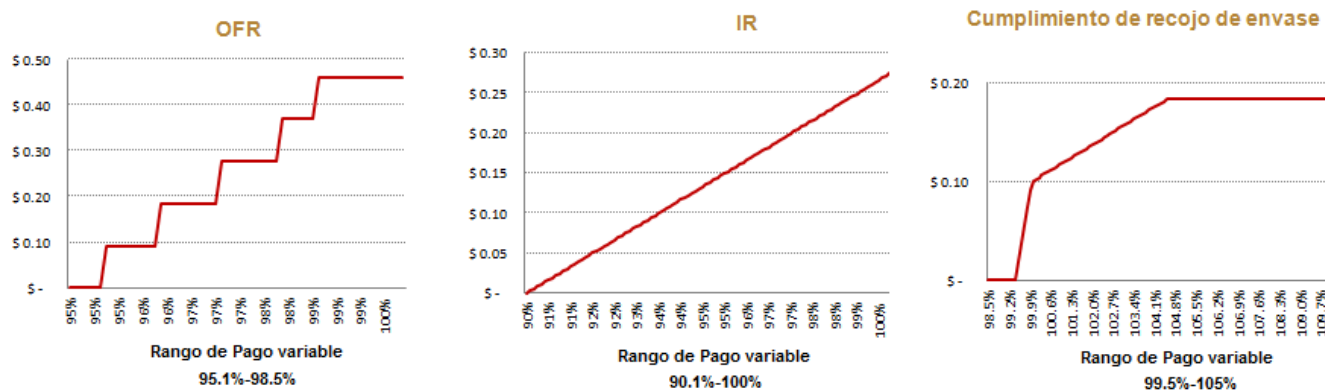


Figura 4.2-12. Rangos de pago para cada indicador. Fuente: DINADEC S.A.

⁹ OFR. Porcentaje de órdenes planificadas entregadas. Calculada como el cociente entre las órdenes entregadas y las órdenes planificadas en cada ruta.

4.2.5 Problemática encontrada en el Centro Histórico

Se realizaron dos visitas en compañía del camión de reparto de DAF en el Centro Histórico de Quito durante un lapso de dos horas cada vez. A través de la observación y la retroalimentación por parte del equipo de reparto se identificaron los siguientes problemas durante las operaciones de distribución.

Inexistencia de zonas de parqueo para vehículos de carga. Pese a que existe una gran dinámica comercial en el sector, sólo se dispone de seis zonas de carga y descarga de mercadería que no están estratégicamente localizadas (ver Figura 4.4-1, pág. 107). Son muy pocas las empresas que cuentan incluso con espacio de parqueo para vehículos particulares.

Difícil maniobrar en calles estrechas. Una de las características del Centro Histórico son las calles estrechas como consecuencia de su diseño colonial. En muchos de los casos, los radios de giro de camiones obligan a que las llantas ocupen las aceras para completar la maniobra.

Control policial. Por tratarse del principal referente turístico de la ciudad y un punto de conexión y flujo vehicular entre el norte y sur de la ciudad, existe un control policial en las zonas más centrales del CHQ. El tonelaje y dimensiones de los camiones y la ausencia de sitios de parqueo obligan a los transportistas a realizar maniobras que obstaculizan la movilidad de calles importantes, haciendo que sean frecuentes los llamados de atención y multas por parte de la Policía Nacional.

Una misma operación para volúmenes heterogéneos. Se realiza la misma operación para cualquier tipo de cliente (independientemente del volumen). Esto no constituye

directamente un error, pero hace que en ciertos pedidos con volumen alto, el esfuerzo para completar la operación sea muy alto.

Georeferenciación. Los clientes a los que DINADEC debe distribuir están georeferenciados y las operaciones de planificación de rutas dependen de la ubicación de los clientes. Se ha visto que muchos de los clientes están mal georeferenciados y esto disminuye la eficiencia de las entregas.

Imagen negativa para CN. El camión de reparto de CN es el más grande en términos de volumen que circula en la zona. Añadiendo a esto, la interacción continua con policías y los minutos de tráfico que se generan durante las operaciones cuando no se ha identificado un lugar donde detener el auto terminan generando una imagen negativa para la empresa desde la perspectiva del cliente final, turistas y otros involucrados clave.

Diseño de la ruta no coincide con ventanas horarias. En muchos de los casos la visita del camión de reparto no coincide con los horarios de atención del cliente o incluso con los períodos del día en que dispone de efectivo para poder culminar la transacción.

Dependencia en la experiencia del líder de ruta y en factores externos. La efectividad de la ruta de entrega y el tiempo de ruta dependen en gran medida de la experiencia del chofer o líder de ruta. Decisiones como realizar multiparadas o abastecer en movimiento forman parte del conjunto de opciones que los líderes de ruta utilizan para sus maniobras. Esto puede constituir un problema ya que cambios

de chofer pueden aumentar la probabilidad de disminuir la eficiencia de reparto y aumentar los tiempos de ruta.

4.2.6 Retos logísticos

Maniobras y giros complicados. La geografía y el tipo de vías hacen que las maniobras en el Centro Histórico de Quito. Una selección adecuada del tipo de camiones puede facilitar las maniobras y de igual manera, pueden diseñarse rutas que minimicen el número de giros que los camiones realizan.

Mejorar atención al cliente. El rediseño del esquema de distribución en el Centro Histórico define un número de clientes que generaría una carga promedio de 75 clientes por ruta, en un área delimitada por un área de 1.69Km² y un perímetro de aproximadamente 4 Km¹⁰. De manera que la reducción en los tiempos de viaje entre clientes puede permitir incluir dentro de la operación, actividades que realcen la atención al cliente y permitan entender sus horarios de atención, el flujo de efectivo que manejan en función de la hora del día e incluso aspectos comerciales como el tipo de información publicitaria que más impacto tiene en cada local.

Zonas de parqueo. Pese a que el CHQ carece de zonas de parqueo definidas para operaciones de carga y descarga, existen vías donde la dificultad de encontrar espacios de estacionamiento provisional que no impacten drásticamente en el tránsito es menor, por ejemplo cuando el ancho de la vereda es mayor, o cuando la vía es unidireccional. El diseño de ruta y la información desplegada en los

¹⁰ Datos estimados en base a la información geográfica de Wikimapia.

dispositivos portátiles (Handhelds) que son manejados por los líderes de ruta deberían incluir este tipo de información.

Multiparadas. Pueden implementarse criterios que ayuden a líderes de ruta a establecer multiparadas. Este aspecto es de particular interés dado que cerca del 80% de las entregas contemplan volúmenes menores a 8 cajas, es decir, se trata de volúmenes de producto que pueden ser transportados por coche una vez que el camión haya encontrado una posición estable de parqueo.

Reducir impacto negativo de maniobras actuales. El uso de un diferente tipo de vehículos puede representar una imagen positiva para la empresa, aumentando la accesibilidad a clientes en los sitios de mayor interés cultural y consecuentemente mayor circulación peatonal y menor accesibilidad para vehículos de carga grandes.

Uso del tiempo. El diseño de la operación en términos de rutas, elección de multiparadas, atención al cliente y los horarios de entrega podrían vincularse de mejor manera con los horas de mayor tránsito y congestión en la zona, generando mejoras en el uso del tiempo.

4.3 Esquema de solución propuesto

4.3.1 Redes de distribución alternativas

4.3.1.1 Mejores prácticas en logística urbana

A partir de la información recopilada en la revisión literaria se identificó dos modelos de solución (estudiados por TURBLOG y BESTUFS) para el problema de

distribución de mercaderías en zonas de acceso restringido y alta demanda de tráfico. Tal como lo muestra la Tabla 4.3-2.

TURBLOG dentro de su metodología de transferibilidad desarrolla el concepto de perfil logístico donde se identifican zonas homogéneas de distribución (perfiles) para los que resulta más o menos conveniente un determinado caso de estudio. En el Anexo 1 se muestran los diferentes PERFILES logísticos identificados por TURBLOG durante su estudio. Para el caso de Cervecería Nacional, el perfil logístico correspondiente es el C, Centro de Negocios. La Tabla 4.3-1 muestra los valores para cada una de las características de la Ciudad, Producto y Agentes de entrega que terminaron seleccionando dicho perfil.

Características	CHQ
1.1 Densidad Comercial	Mediana - Alta
1.2 Homogeneidad	Baja
1.3 Accesibilidad logística	Mala
1.4 Restricciones aplicadas	Sí
2. Características del producto	Cerveza Pilsener 600ml x 12
2.1 Facilidad de manejo	Fácil
2.2 Condiciones especiales	Ninguna
2.21 Fragilidad	No es crítica
2.2.2 Percibilidad	No aplica
3. Perfil del Agente	DINADEC - DAF
3.1 Urgencia de las entregas	Relevante
3.2 Frecuencia de entregas	Alta
3.3 Tamaño de entregas	Pequeño - Mediano
3.4 Rutas planificadas	Sí

Tabla 4.3-1. Valores que definen el perfil logístico de Cervecería Nacional en el CHQ

La definición de TURBLOG del perfil logístico tipo C es coherente con la caracterización del Centro Histórico de Quito, un distrito central de negocios, es usualmente el corazón geográfico y comercial de la ciudad, usualmente tipificado

por la concentración de minoristas, edificios comerciales y oficinas (TURBLOG, 2011-B). De acuerdo al perfil, soluciones como las implementadas en Francia (La Petite Reine con la implementación de Cargociclos para entregas finales y Chronopost y su desarrollo de un centro de distribución subterráneo), en Japón (Sinjuku Joint Delivery System donde se combinan entregas por camión y a mano para llegar a edificios de difícil accesibilidad) y las Zonas de Carga y Descarga descritas en el caso de estudio de Gamarra - Lima. La revisión de literatura describe más detalladamente cada uno de los mencionados casos de estudio. La Tabla 4.3-2 compara cada una de las mencionadas propuestas.

Fuente	Propuesta	Observaciones
BESTUFS	Centros de Consolidación	Alta inversión. Varias compañías, cooperación público privada.
TURBLOG	Petite Reine - Cargociclos	Productos pequeños. Cooperación público - privada.
TURBLOG	Chronopost - CD subterráneo	Una sólo empresa. Alta inversión. Cooperación público - privada
TURBLOG	Sinjuku. Combinar entregas a mano y camión	Rediseño de operación. Paquetes pequeños. Asume la existencia de zonas de carga y descarga
TURBLOG	Gamarra - Zonas de Carga y Descarga	Perfil logístico de Gamarra similar al CHQ. Solución de bajo costo. Requiere interacción público - privada.
CEDM	Lucca - Centro de Distribución Virtual	Similar geografía al CHQ. Participación de varios agentes privados juntos. Requiere cooperación público - privada.

Tabla 4.3-2. Resumen de casos de estudio y buenas prácticas recogidas por la Revisión Literaria, adaptables al perfil logístico del CHQ. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

4.3.1.2 Esquemas de distribución de empresas de consumo masivo en el CHQ

Varias empresas de consumo masivo realizan entregas diarias en el CHQ. Muchas de las empresas manejan los mismos esquemas que DINADEC, es decir, camiones

de carga liviana con rutas definidas. En general las empresas atraviesan los mismos problemas que Cervecería Nacional: falta de lugares de parqueo, difícil maniobrabilidad en muchas de las calles y como consecuencia, problemas de control policial. A continuación se describe brevemente los esquemas de distribución de dos empresas de consumo masivo en Quito. Por motivos de confidencialidad se llamará a estas empresas Compañía A, y Compañía B.

Compañía A

El sistema de distribución actual en las zonas conflictivas del Centro Histórico de Quito, Guápulo y La Mariscal ha cambiado durante los últimos años. Se manejaba un esquema de distribución en triciclo desde cinco Centros de Distribución, pero se ha optado por utilizar camionetas de 1 tonelada. Tres de ellos presentes en el Centro Histórico de Quito en las Calles Imbabura, Oriente y en La Calle Los Ríos. Cada uno de los Centros de Distribución o Depósitos utiliza 2 camionetas para cubrir un promedio entre 100 y 150 clientes. Las camionetas son tercerizadas. Adicionalmente, los depósitos son abastecidos diariamente en horas de la madrugada (2:00am)¹¹.

Compañía B

El esquema de Distribución de la Compañía B para es similar al esquema que DINADEC maneja actualmente con algunas diferencias operativas. Los camiones de la Compañía B se abastecen de producto desde el Centro de Distribución en el

¹¹ Información cortesía de Andrés Cornejo, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad San Francisco de Quito. Andrés realiza actualmente un estudio que estima la emisión de CO2 para la Compañía A.

Norte de la ciudad. De acuerdo a ciertas ventanas temporales, la Compañía B realiza entregas desde ciertos puntos “permitidos” y convencionalmente. Muchas entregas se realizan sobre la marcha. Es importante por tanto que un equipo de 3 personas incluyendo el conductor realice la distribución en el Centro Histórico. Existen dos diferencias importantes del esquema de la Compañía B respecto a DINADEC, el tamaño de los SKUs de la Compañía B son volumétricamente más pequeños que la caja (jaba) de cervezas y el hecho de que se sus productos requieren mantener la cadena de frío durante todo el producto¹².

4.3.1.3 Esquemas propuestos de distribución

En función de la información presentada en las secciones anteriores se esbozaron tres diseños de posibles redes de distribución para DINADEC en el CHQ. En esta sección se describe el funcionamiento de cada uno de ellos, sus principales características operacionales y los parámetros y variables que determinarán su funcionamiento.

Depósito (CD) en el Centro Histórico de Quito y entrega desde vehículos pequeños

Este esquema es similar a los propuestos en Lucca y al esquema de distribución utilizado por la Compañía A. El diseño de red utiliza un Centro de Distribución Cercano al Centro Histórico de Quito. El Centro de Distribución es provisionado diariamente en horarios no congestionados (noche o madrugada) y los clientes son

¹² Información cortesía de José Luis Ochoa estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad San Francisco de Quito. Dicha información surgió como parte de una entrevista con un representante de la Compañía B.

servidos desde el CD utilizando camionetas de 1/2 Ton o camionetas de 1 tonelada. La Figura 4.3-1 muestra el esquema propuesto.

Características operacionales:

- Se puede utilizar vehículos más pequeños que pueden tener mayor facilidad de maniobrabilidad en el CHQ.
- El Centro de Distribución debe tener como mínimo la capacidad de almacenamiento para un día de entrega. Adicionalmente, es conveniente que los espacios dentro del CD permitan el flujo de pallets de 72 jabs de cerveza. Además, se requiere espacio para las jabs de cerveza vacías recogidas.
- Se deberá adecuar el Centro de Distribución para que efectuar el depósito del dinero resultante de las transacciones y la consolidación de la información de HandHelds. Una segunda opción es realizar la consolidación en bancos dentro del área.
- Es posible realizar numerosos reabastecimientos

VARIABLES DE DECISIÓN:

- Ubicación del CD
- Tamaño y número de flota de vehículos de entrega
- Composición del equipo de entrega
- Rutas de entrega diarias y clientes por ruta

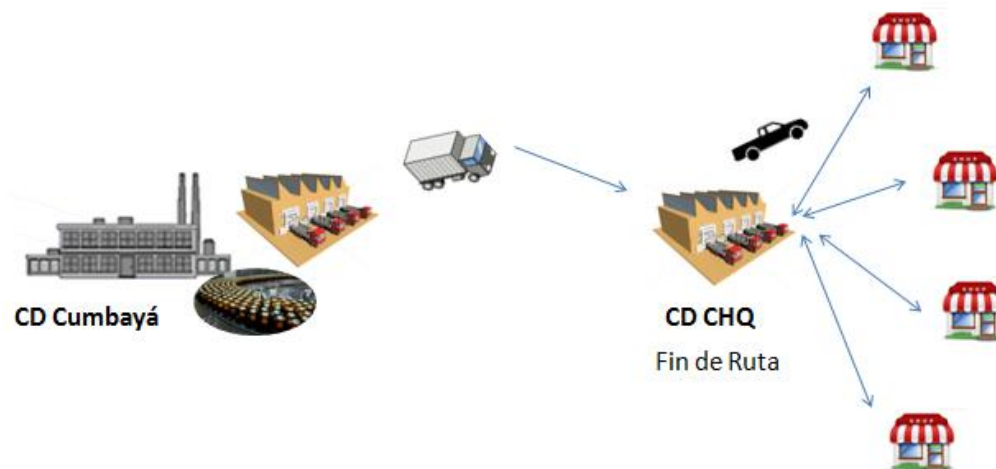


Figura 4.3-1. Diseño de red con Centro de Distribución cerca del CHQ. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Crossdock cercano al Centro Histórico de Quito y entrega desde vehículos pequeños

Este esquema es similar al anterior sin embargo, utiliza un punto de crossdock en lugar de un centro de distribución. Punto de Crossdock permite operaciones de trasbordo entre camiones de gran tamaño que vienen con mercadería desde el CD de Cumbayá y los vehículos que realizarán la entrega en el CHQ. El crossdock se realiza en horarios no congestionados durante el día (aproximadamente 7:00am) y los clientes son servidos desde el CD utilizando camionetas de 1 Ton o camiones de 2 o 3 toneladas. La Figura 4.3-2 muestra el esquema propuesto.

Características operacionales:

- Se puede utilizar vehículos más pequeños que pueden tener mayor facilidad de maniobrabilidad en el CHQ.
- El Centro de Distribución en general no almacenará productos, toda la carga es trasbordada del camión grande a cada uno de los camiones de entrega.

Por tanto es importante que el punto de crossdock cuente con espacio suficiente para ubicar los camiones durante la operación.

- Los reabastecimientos no están permitidos
- Una vez que las rutas culminan, los vehículos de entrega regresan al CD en Cumbayá para depositar el dinero recaudado durante la ruta y actualizar la información de HandHelds.

Variables de decisión:

- Ubicación del punto de Crossdock
- Tamaño y número de flota de vehículos de entrega
- Composición del equipo de entrega
- Rutas de entrega diarias y clientes por ruta
- Momentos en los que se pueda realizar trasbordos.

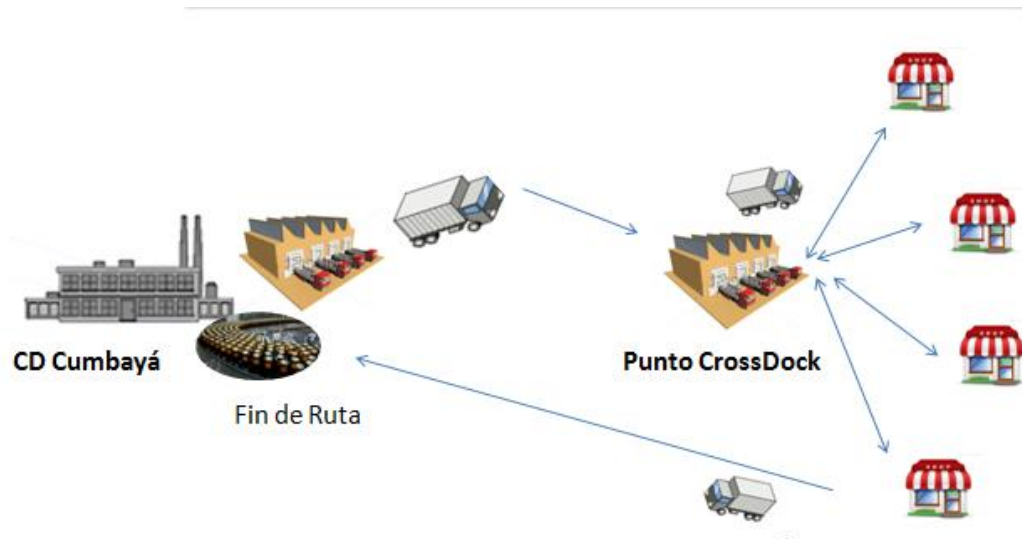


Figura 4.3-2. Diseño de red con Punto de Crossdock cerca del CHQ. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Vehículos de menor tamaño desde Cumbayá

Este esquema es similar al esquema utilizado actualmente. La principal diferencia radica en el tipo de vehículos utilizados. Actualmente CN utiliza vehículos de 8 y 10 pallets (8 y 10 toneladas) para realizar sus entregas en el CHQ, el esquema propone utilizar vehículos más pequeños manteniendo la misma operación. La Figura 4.3-3 muestra el esquema propuesto.

Características operacionales:

- Se puede utilizar vehículos más pequeños que pueden tener mayor facilidad de maniobrabilidad en el CHQ.
- Se mantiene la misma operación para gobernar los flujos financieros, de producto e información.

Variables de decisión:

- Tamaño y número de flota de vehículos de entrega
- Composición del equipo de entrega
- Rutas de entrega diarias y clientes por ruta

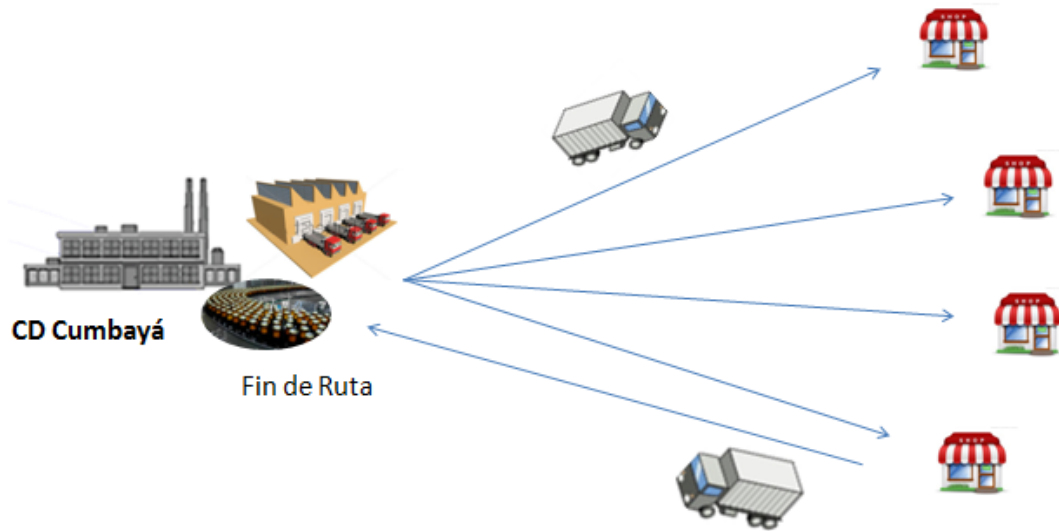


Figura 4.3-3. Diseño de red envío directo desde Cumbayá. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

4.3.2 Elección del Diseño de Red

4.3.2.1 Criterios de decisión

La elección del diseño de Red depende de cuatro criterios fundamentales dados por la misma naturaleza del proyecto, estos son: Tiempo para efectuar ruta, Costos diarios (de operación y de inversión en instalaciones), Dificultad de maniobras (en vía y de parqueo) y complejidad inherente de operar las nuevas Instalaciones. Muchos de los criterios contienen varios sub-criterios de decisión. Es válido señalar que en cada caso, se ha establecido una medición cuantitativa o cualitativa para cada uno de los criterios y sub-criterios. Cada uno de ellos es descrito a continuación.

Tiempo para efectuar la ruta. La estimación del tiempo está basada en un escenario estándar para los tres modelos a modo de poder compararlos bajo una

misma óptica. Se estructuró un modelo (Modelo de costos de diseño de red) que se presenta en el Anexo 4. Dicho modelo estima los tiempos de ruta para el escenario estándar en función de una determinada composición de flota. El escenario estándar es escrito con detalle en dicho anexo.

Costos diarios de operación. Los costos diarios de operación para cada uno de los esquemas se calculan a través del Modelo de costos de diseño de red (Anexo 4). Se incluyen rubros como costo de mano de obra, distancias recorridas y mantenimiento por km recorrido. Si bien los costos operacionales diarios que arroja el modelo al seleccionar una composición de flota óptima son cercanos a los reales, es de interés la proporción y diferencia de costos entre alternativas.

Costos diarios de utilización de instalaciones (Costos de instalaciones). Los costos de utilización de instalaciones hacen referencia a los rubros que se incurrirían al incluir nuevas instalaciones como Depósitos o Puntos de trasbordo (crossdock). Se incluye 4 componentes de costos principales: Arriendo, Seguridad, Sistemas de información, Servicios Básicos. Se asume que las propiedades serán arrendadas y no adquiridas o compradas.

Dificultad de maniobras de movilización en vía. Este criterio es calificado cualitativamente asignando un juicio de dificultad alta, media alta, media, media baja y baja principalmente en función del tamaño del vehículo en comparación al ancho de las vías en el CHQ.

Dificultad de maniobras de parqueo. De manera similar al criterio de dificultad de maniobras de movilización en vía, el sub-criterio de maniobras de parqueo asigna

una calificación cualitativa de dificultad de parqueo alta, media alta, media, media baja y baja. De nuevo la diferenciación radica en el tamaño de los vehículos dado que la probabilidad de encontrar espacio de parqueo es mayor para vehículos pequeños.

Complejidad inherente de operar las nuevas Instalaciones. Las nuevas instalaciones para los esquemas alternativos que lo requieran tienen cierta complejidad de diseño y de operación. Las complejidades de diseño incluyen restricciones de tamaño y por ejemplo la conexión con el sistema ERP SAP de la empresa. La complejidad de operar las instalaciones crece en función de los diferentes servicios que cada instalación brinda.

4.3.2.2 Determinación de valores de cada criterio y subcriterio

Tiempo para efectuar la ruta. Utilizando el modelo descrito en el Anexo 4 se determinó tiempos diarios de ruta para cada una de las tres propuestas de diseño de red antes descritas. Los tiempos son comparables dado que se calcularon en base a un mismo escenario. Los resultados se muestran en la Tabla 4.3-4.

Costos diarios de operación. Utilizando el modelo descrito en el Anexo 4 se determinó la composición de flota y los costos de operación diarios para cada una de las tres propuestas de diseño de red antes descritas. Los resultados se muestran en la Tabla 4.3-4.

Costos diarios de utilización de instalaciones (Costos de instalaciones). Se estimó el costo diario de utilización de las instalaciones en función de 4 ítems generadores de gasto: Arriendo, Mantenimiento, Sistemas de Información y

Servicios Básicos. Los valores detallados en la Tabla 4.3-3 se basan en estimados de consumo doméstico. Particularmente, el ítem de arriendo es estimado en base al valor de varios locales de arriendo de hasta 100m² en el CHQ, dicha información es desplegada en muchos portales inmobiliarios de la red. Nuevamente, el valor de la estimación no radica en el valor monetario real si no en la proporción de costos entre las instalaciones requeridas por cada diseño de red. Esta comparación de costos será utilizado más adelante en el análisis multicriterio. Los valores diarios totales se muestran en la Tabla 4.3-4.

CD cerca CHQ		CrossDock cerca CHQ	
ítem	Costo mes	ítem	Costo mes
Arriendo	\$ 400.00	Arriendo	\$ 200.00
Mantenimiento	\$ 600.00	Mantenimiento	\$ 300.00
Sistemas de información	\$ 100.00	Sistemas de información	\$ 100.00
Servicios Básicos	\$ 50.00	Servicios Básicos	\$ 50.00

Tabla 4.3-3. Estimación de ciertos generadores de costo para las instalaciones requeridas por los diseños de red. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Dificultad de maniobras de movilización en vía. En función de la composición de flota vehicular óptima para cada escenario (obtenida en el Anexo 4) se determinó la facilidad de circular en las vías asignando un valor alto al modelo uno por utilizar el menor tamaño de vehículos, y dificultad media para los dos restantes modelos por utilizar vehículos más pequeños que los actualmente utilizados. Los resultados se despliegan en la Tabla 4.3-4.

Dificultad de maniobras de parqueo. En general la dificultad de parqueo para cualquier tipo de camión es la misma. Dado que el Modelo CD utiliza vehículos mucho más pequeños que las otras dos configuraciones, se ha ubicado una

calificación de facilidad media-baja a diferencia de las configuraciones restantes que tienen calificaciones siempre bajas. Los resultados se despliegan en la Tabla 4.3-4.

Complejidad inherente de operar las nuevas Instalaciones. Como ya se explicó, el modelo con CD cercano a Quito requiere las instalaciones con más alto nivel de complejidad, dado que las operaciones de fin de ruta deben realizarse en el lugar. Aparte de ello la instalación a diseñarse en este modelo de red es la única que podría almacenar inventario (en el CrossDock no se lo permite ya que toda la carga es trasbordada a los camiones de entrega) por lo que su complejidad aumenta. El modelo 3 no requiere instalaciones nuevas. Los resultados para este subcriterio se despliegan en la Tabla 4.3-4.

Categoría		Modelo CD	Modelo Crossdock	Modelo Cumbayá	Modelo actual
Tiempo	<i>Tiempo/día (horas)</i>	7.94	8.82	9.17	9.17
Costo	<i>Costo operación/Día</i>	\$ 120.89	\$ 115.90	\$ 110.56	\$ 110.56
	<i>Costo instalaciones/Día</i>	\$ 38.33	\$ 21.67	\$ -	\$ -
Dificultad de maniobrar	<i>Facilidad maniobrar en vías</i>	Alta	Media	Media	Alta
	<i>Facilidad parqueo</i>	Media - Baja	Baja	Baja	Baja
Instalaciones	<i>Complejidad nuevas instalaciones</i>	Media	Baja	Ninguna	Ninguna

Tabla 4.3-4. Resumen de los valores para cada uno de los criterios de selección del diseño de red. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes.

4.3.2.3 Selección del Diseño de Red mediante AHP

Se utilizó el Análisis Jerárquico de Procesos para determinar el diseño de red más adecuado en función de los 6 criterios y subcriterios antes definidos con sus respectivos valores. Cabe decir que una de las principales ventajas de AHP es la reducción del nivel de subjetividad al utilizar una misma escala de prioridades para las comparaciones entre pares. Hacia el final la matriz de prioridades termina asemejándose a una matriz de ponderación con la diferencia de que los pesos no

son asignados arbitrariamente si no que son consecuencia de las comparaciones a pares.

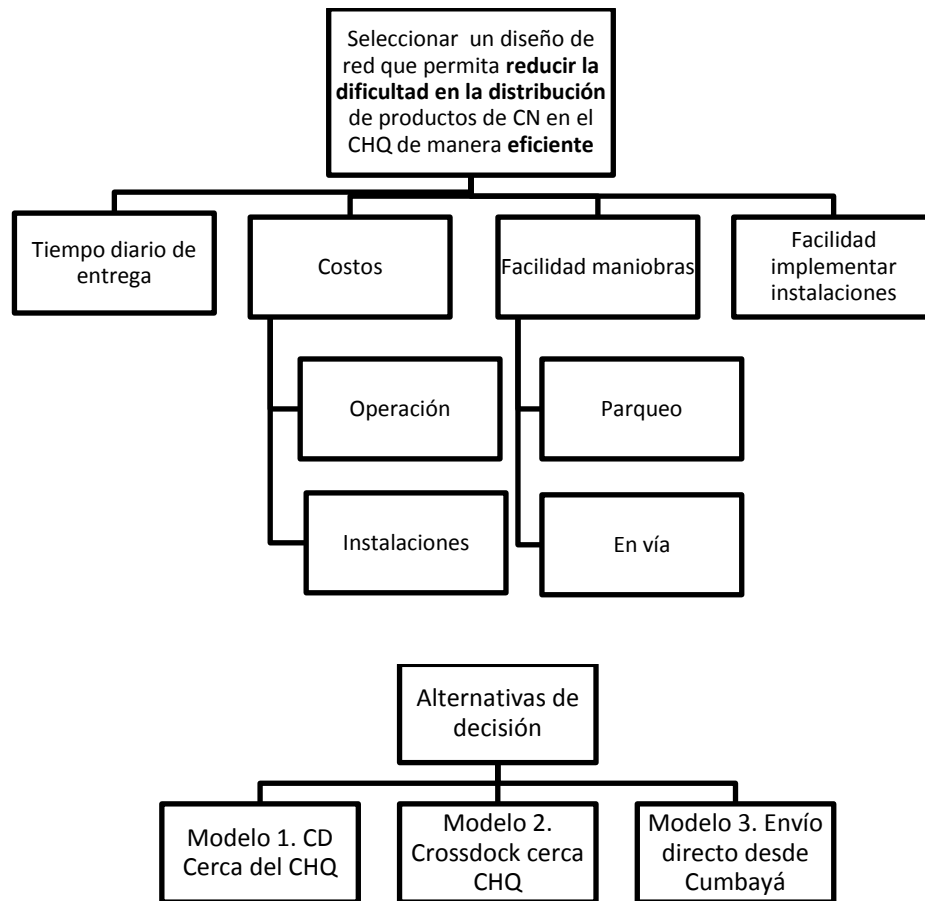


Figura 4.3-4. Jerarquía de toma de decisiones para la selección del Diseño de Red. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Siguiendo el procedimiento descrito en la Figura 1.5-1 se empezó por escribir claramente el objetivo final perseguido para la selección del diseño de red: Seleccionar un diseño de red que permita **reducir la dificultad en la distribución** de productos de CN en el CHQ de manera **eficiente**. El segundo paso ya fue delineado anteriormente en la sección 4.3.2.1. La Figura 4.3-4 muestra las dos primeras fases y la estructura jerárquica del proceso de decisión que se llevará a cabo.

Tal como se explicó en la sección 1.5.2, la determinación de los criterios se realiza utilizando la tabla de comparaciones que se muestra en el Anexo 5. La matriz P1 (ver Tabla 4.3-5) fue obtenida decidiendo si algún criterio aportaba más o menos que otro criterio al objetivo final. El costo fue más relevante que el tiempo dado que no hay beneficios directos derivados de una disminución en los tiempos de entrega siempre que se cumple la ruta (lo cual es asumido para todos los modelos). Por otro lado, se dio prioridad también a las instalaciones por encima del tiempo dado que en el corto plazo y mediano plazo no es recomendable implementar una solución que conlleve diseño de instalaciones complicadas aunque el tiempo disminuya (es importante notar que el problema es latente actualmente). La matriz indica también que se prefiere una solución que tenga bajo costo pero instalaciones complejas a una solución de alto costo pero con instalaciones simples de construir.

$$\begin{matrix}
 (\%28) & \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{4} \\ 3 & 1 & 1 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 3 \\ 4 & 0.2 & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} & (\%27) & \begin{bmatrix} 1.8937607190178366 \cdot 10^{+29} & 4.2947600625633009 \cdot 10^{+28} & 7.301825348764297 \cdot 10^{+28} & 1.2778904676834659 \cdot 10^{+29} \\ 6.2914259091094078 \cdot 10^{+29} & 1.426799302555636 \cdot 10^{+29} & 2.4258024111321132 \cdot 10^{+29} & 4.2453901998544783 \cdot 10^{+29} \\ 4.3502173753873389 \cdot 10^{+29} & 9.8656285663017371 \cdot 10^{+28} & 1.6773252916932522 \cdot 10^{+29} & 2.9354824295022808 \cdot 10^{+29} \\ 2.7312523171552143 \cdot 10^{+29} & 6.1940630908139593 \cdot 10^{+28} & 1.0530964763921331 \cdot 10^{+29} & 1.8430212781798401 \cdot 10^{+29} \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

Figura 4.3-5. Captura de pantalla de Maxima. En la izquierda se muestra la matriz P1 y en la derecha el resultado de elevar la matriz a la potencia 44. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

El cálculo del vector propio principal de cada matriz se realizó utilizando *wxMaxima* y *Microsoft Excel*, el primer programa permitía elevar la matriz a potencias altas (se utilizó potencias mayores a 40) y la normalización en el segundo programa. *Maxima* arroja los resultados en forma matricial tal como se muestra en la Figura 4.3-5. Esta matriz fue trasladada a Excel para obtener las prioridades de la Tabla 4.3-5. El

procedimiento que se acaba de describir fue realizado para calcular las prioridades resultantes de cada matriz de comparación.

P1. Matriz de comparación de criterios con respecto al Objetivo					
Criterios	Tiempo	Costo	Dificultad de	Instalaciones	Prioridad
Tiempo	1	0.333333333	1	0.25	12.40%
Costo	3	1	1	5	41.21%
Dificultad de maniobrar	1	1	1	3	28.49%
Instalaciones	4	0.2	0.333333333	1	17.89%

Tabla 4.3-5. Matriz P1 para la comparación de los criterios de más alto nivel con el objetivo final. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

El siguiente paso fue construir la matriz de comparación para cada uno de los subcriterios pertenecientes a cada criterio. Sólo los criterios Costo y Dificultad de maniobrar contenían subcriterios asociados. Se siguió un razonamiento similar al efectuado para la matriz P1. Las tablas muestran respectivamente las matrices P2 (Figura 4.3-6) y P3 (Figura 4.3-7) que analizan los subcriterios asociados a los criterios de Costo y Dificultad de maniobrar.

P2. Matriz de comparación de subcriterios de Costo			
Subcriterios	Operaciones	Instalaciones	Ponderación
Operaciones	1	1	50.00%
Instalaciones	1	1	50.00%

Figura 4.3-6. Matriz P2 para la comparación de los subcriterios Costo. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

P3. Matriz de comparación de subcriterios de Dificultad de Maniobra			
Subcriterios	En vía	Parqueo	Ponderación
En vía	1	0.2	16.67%
Parqueo	5	1	83.33%

Figura 4.3-7. Matriz P3 para la comparación de los subcriterios Dificultad de maniobra. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Posteriormente se elaboraron 6 matrices para comparar las alternativas entre sí de acuerdo a cada uno de los 6 criterios y subcriterios. La construcción de cada una de las tablas fue realizada haciendo referencia a los valores de la Tabla 4.3-4. Los valores y prioridades asignados a cada una de las tablas se muestran en la Figura 4.3-8.

P4. Matriz de comparación de alternativas con Tiempo				
Alternativas	M1	M2	M3	Prioridad
M1	1.00	3.00	4.00	62.50%
M2	0.33	1.00	2.00	23.85%
M3	0.25	0.50	1.00	13.65%

P7. Matriz de comparación de alternativas con Facilidad en vía				
Alternativas	M1	M2	M3	Prioridad
M1	1.00	2.00	2.00	50.00%
M2	0.50	1.00	1.00	25.00%
M3	0.50	1.00	1.00	25.00%

P5. Matriz de comparación de alternativas con Costo Operacional				
Alternativas	M1	M2	M3	Prioridad
M1	1.00	0.50	0.33	16.34%
M2	2.00	1.00	0.50	29.70%
M3	3.00	2.00	1.00	53.96%

P8. Matriz de comparación de alternativas con Facilidad de Parqueo				
Alternativas	M1	M2	M3	Prioridad
M1	1.00	2.00	2.00	50.00%
M2	0.50	1.00	1.00	25.00%
M3	0.50	1.00	1.00	25.00%

P6. Matriz de comparación de alternativas con Costo de Instalaciones				
Alternativas	M1	M2	M3	Prioridad
M1	1.00	0.50	0.20	12.20%
M2	2.00	1.00	0.33	22.97%
M3	5.00	3.00	1.00	64.83%

P9. Matriz de comparación de alternativas con Instalaciones				
Alternativas	M1	M2	M3	Prioridad
M1	1.00	0.50	0.20	13.44%
M2	2.00	1.00	0.50	28.85%
M3	4.00	2.00	1.00	57.71%

Figura 4.3-8. Matrices de comparación de alternativas y criterios resultantes. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Finalmente todos los resultados de las 9 matrices anteriores son incorporados en la Matriz de Decisiones Final. En este punto, cada una de las prioridades resultantes de las matrices de comparación de alternativas es ponderada con las prioridades resultantes de la comparación entre criterios y subcriterios. Los valores son sumados horizontalmente para determinar las prioridades finales de la matriz de decisión. Aquella alternativa con mayor valor de prioridad resultante es la más adecuada para el problema de decisión propuesto. La tabla muestra la Matriz de Decisiones Final y la decisión óptima.

Alternativas Criterios	Tiempo	Costo		Facilidad		Instalaciones	Prioridad
		41.2%		28.49%			
	12.4%	Oper.	Inst.	En vía	Parqueo	17.89%	
		0.5	0.5	16.7%	83.3%		
M1	62.50%	16.34%	12.20%	50.0%	50.0%	13.44%	30.29%
M2	23.85%	29.70%	22.97%	25.0%	25.0%	28.85%	26.09%
M3	13.65%	53.96%	64.83%	25.0%	25.0%	57.71%	43.62%

Tabla 4.3-6. Matriz de Decisiones Final. La alternativa M3 fue aquella con mayor prioridad resultante, es por tanto la alternativa a elegirse. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova

El procedimiento anterior eligió a la alternativa M3 (envío desde Cumbayá con un tipo de camión más pequeño que el actual, i.e. utilizar camiones de 6 toneladas en lugar de camiones de 8 y 10 toneladas) como la mejor alternativa posible de acuerdo a los criterios de Tiempo, Costo, Facilidad de Maniobrar e Instalaciones. Cabe señalar también que si se colocara el Modelo Actual como una alternativa de decisión, esta estaría dominada por la Alternativa M3 dado que todos los valores para cada uno de los criterios de decisión de la Tabla 4.3-4 son mejores para M3 que para la alternativa actual (en muchos de los criterios son iguales, pero en dificultad de maniobra en vía M3 tiene un mejor valor que la alternativa actual).

4.4 Caracterización de la alternativa de decisión actual

4.4.1 Una propuesta de solución: Zonas de carga y descarga.

En la sección 4.3.2.3 se eligió al modelo de Envío Directo desde Cumbayá con un camión de 6 toneladas como el modelo óptimo de entrega. Sin embargo, dicho modelo de suyo no contribuye a generar una infraestructura logística adecuada para realizar las entregas en el CHQ. Cabe decir también que la dificultad para parquear una camioneta cargando 1 TON de productos no es muy diferente de la dificultad

para parquear un camión de 6, 8 o 10 toneladas. Esto implica que el reducir el tamaño de los vehículos de entrega en el CHQ no mejorará considerablemente las operaciones de entrega en el CHQ.

Es importante señalar además que una de las causas raíces que da origen a los problemas de movilidad para vehículos de carga (la falta de infraestructura) no depende directamente de los agentes de distribución si no por el contrario de los agentes públicos que determinan las regulaciones para la circulación y toman decisiones sobre cambios en infraestructura en el CHQ.

El razonamiento anterior permite concluir que solamente una solución de cooperación público privada puede generar beneficios significativos en la distribución de productos de consumo masivo en la zona. Además, existen además varias oportunidades de mejora para el esquema propuesto en términos de la creación de rutas de entrega y otras características operacionales.

Una solución con cooperación público-privada, inversión mínima, aplicación en el corto plazo y de alto beneficio para todos los agentes de consumo masivo es la instalación de zonas de carga y descarga estratégicas dentro del CHQ. Actualmente existen apenas 6 zonas de carga y descarga en Polígono definido para el CHQ (ver Figura 4.4-1). Cabe decir que dichas zonas son muy cercanas entre sí no están diseñadas para llegar a la red completa de locales comerciales en el CHQ. De manera que es importante determinar lugares en el CHQ donde exista oportunidad de establecer zonas de carga y descarga para vehículos de carga liviana, particularmente de distribución de productos de consumo masivo. En el caso de

estudio de Gamarra (TURBLOG, 2011) se implementaron zonas de carga y descarga para mejorar la distribución en uno de los sectores de comercio textil más importantes de Lima, de manera que existen experiencias de buenos resultados en la implementación de zonas de carga y descarga en contextos similares al del CHQ.

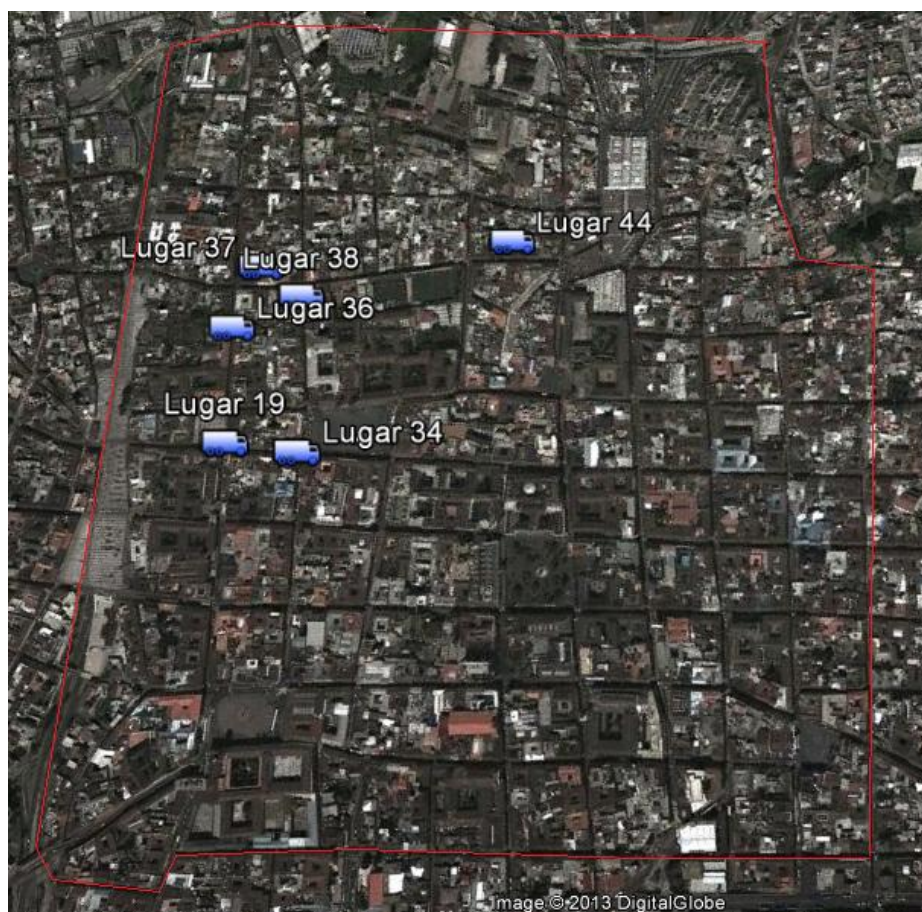


Figura 4.4-1. Imagen satelital del polígono de Quito con las 6 zonas de carga y descarga actualmente existentes en el polígono definido para el estudio.

4.4.2 Determinación de posibles lugares para implementar Zonas de Carga y Descarga en el CHQ.

A través de observación directa en la zona de estudio, se determinó 50 lugares donde sería posible ubicar Zonas de Carga y Descarga. El criterio fundamental para determinarlas fue la existencia de aceras cuyas dimensiones mínimas fueran 20m de largo y 2 m de ancho. Estas dimensiones permiten establecer zonas de parqueo Half-Lincoln con normalidad en todos los casos, y en muchos de los casos zonas Lincoln completas (Paris City Council Roads & Transport Department, 2005).

Las zonas fueron registradas manualmente utilizando un mapa de papel y posteriormente ubicadas utilizando Google Earth. La ventaja fundamental de utilizar esta herramienta es la geo-referenciación en términos de latitud y longitud de los lugares seleccionados dentro del mapa. De esta manera se pudo determinar las ubicaciones de los 50 lugares propuestos y de los 6 ya existentes. El listado completo se muestra en el Anexo 6. La ubicación de las 56 zonas en la imagen satelital de la zona se muestra en la Figura 4.4-2.

Es interesante notar como en el centro del mapa, donde se ubican la Plaza Grande y varias de las más importantes Iglesias del Centro Histórico, no existen lugares factibles. En concreto se puede ver que el perímetro de color verde entre las calles Benalcázar, Sucre, Guayaquil y Mejía no dispone de posibles lugares para implementar zonas de carga y descarga. Es válido señalar que existe un proyecto de peatonalización (El Telégrafo, 2011) dentro del perímetro (color azul) conformado por las calles: Bolívar (al Sur), Olmedo (al Norte), Flores (al Este) y Benalcázar

(Oeste). Este último detalle será considerado en la elaboración de un plan de contingencia ante posibles cambios en las regulaciones municipales.

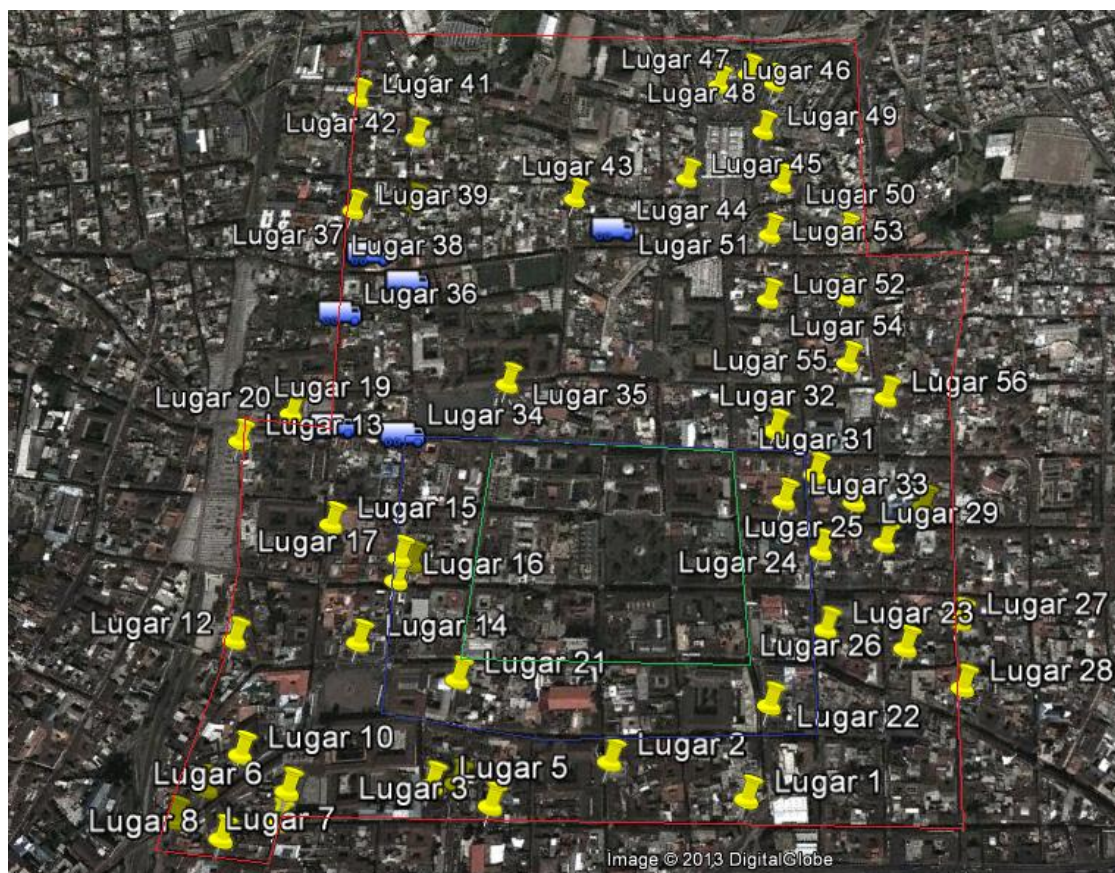


Figura 4.4-2. Mapa del polígono del CHQ con los 56 posibles lugares para implementar zonas de carga y descarga.

4.4.3 Selección de los veinte mejores posibles lugares para la implementación de zonas de carga y descarga.

Se tienen 56 lugares donde sería factible establecer zonas de carga y descarga, y una red de 376 clientes de consumo masivo. A más de ello, se dispone sus ubicaciones geográficas en términos de longitud y latitud y en el caso de los clientes, se sabe que se necesita trabajar un esquema de visitas semanal con un drop size promedio conocido para cada cliente.

El diseño de red planteado dispone la utilización de un camión de 6 TON (6 pallets) enviado directamente desde el Centro de Producción y Distribución Principal en Cumbayá hacia el CHQ. En la anterior sección se identificaron los 56 posibles lugares de carga y descarga. Se propone que las rutas de entrega realicen paradas en veinte de las 56 zonas de carga y descarga de tal forma que se minimice la distancia recorrida desde la zona seleccionada hacia los clientes para todas las zonas electas.

Existen varias razones para manejar un número menor que 56 zonas. En primer lugar la Administración Municipal estará más dispuesta a elegir un menor número de zonas de carga y descarga en caso de darse un acuerdo. En segundo lugar, es mucho más fácil entender a la red en función de un número pequeño de zonas, por ejemplo 20, en comparación a las 56 originalmente existentes. Se ha dispuesto por convención un total de 20 zonas incluyendo las 6 que ya están propuestas, sin embargo este valor puede modificarse en función de los requerimientos y especificaciones del municipio.

Para determinar las 20 mejores zonas de carga y descarga se desarrolló un modelo de programación lineal de asignación que minimizará la distancia entre la zona y el subconjunto de clientes que se asignan dicha zona seleccionada. El detalle de la formulación del modelo y algunos detalles de cómputo se muestran en el Anexo 8. En dicho anexo se muestra dos soluciones para el problema utilizando en cada caso la distancia del taxista y la distancia del gran círculo.

La construcción del modelo antes mencionado requirió utilizar la geometría del taxista dado que en la práctica el diseño de las calles del CHQ permite únicamente realizar desplazamientos verticales y horizontales correspondientes a las calles que lo conforman. La utilización de esta geometría implicó la creación de un sistema de coordenadas basado en el mapa real de las calles, realizando ciertas modificaciones para adaptarlo a la estructura de rejilla que caracteriza a la geometría del taxista. En el Anexo 7 se muestra el procedimiento seguido para generar un plano de coordenadas siguiendo la estructura requerida por la geometría del taxista.

La solución más conveniente para el problema de asignación que se analiza en esta sección fue la obtenida utilizando la geometría del taxista pese a que la solución del método de la distancia del gran círculo genera una menor distancia de desplazamiento como era de esperarse. La conveniencia es vista desde una perspectiva práctica, ya que los desplazamientos entre lugares y puntos de entrega son físicamente realizados utilizando desplazamientos que se asemejan más a la geometría del taxista que a la distancia del gran círculo. Por último, cabe notar que 239 de 371 arcos (65% de los arcos) de la red coinciden, así como el 75% de los lugares de parqueo seleccionados por los modelos. Esto muestra que existe cierta congruencia entre las geometrías analizadas

4.4.4 Determinación de Rutas Maestras de Distribución

4.4.4.1 Criterios de decisión

En la sección 4.2.2 apareció por primera vez el concepto de Rutas Maestras. Este concepto hace referencia a un conjunto de clientes o puntos de entrega asociados a

un determinado día de entrega. La idea fundamental es que cada cliente tiene definido un día para la entrega de productos. La asignación de las rutas maestras es fundamental dentro del proceso de planificación y fundamental dentro de la caracterización de la propuesta siendo la solución inicial para la elaboración de las rutas diarias de entrega. La definición de rutas es una decisión táctica que implica incluso información compartida con el departamento de ventas de Cervecería Nacional en Guayaquil.

Una ruta maestra debe permitir lograr entregas balanceadas, minimizar distancias de entrega y coincidir con las ventanas horarias existentes. La organización de las ventanas horarias varía mucho de cliente a cliente y no puede ser analizada de manera táctica más sí de manera operativa. Por esta razón se busca diseñar rutas de entrega que minimicen las distancias de entrega, que estén balanceadas en términos de tiempo y volumen de entrega y que el polígono que cubren no se traslape con otros polígonos.

De los 4 anteriores criterios, el criterio de volumen de entrega es posiblemente uno de los más restrictivos ya que el diseño de red exige que se utilice un solo camión de 6 toneladas. Minimizar las distancias entre clientes debido al diseño de red propuesto implica ahora minimizar la distancia entre los lugares asignados a cada grupo de clientes. Por último, la restricción de traslape es difícil de traducir analíticamente aunque es fácilmente entendible visualmente. Esto convierte al problema de creación de rutas en uno de asignación de 20 lugares de parqueo a 5 o 6 rutas de entrega con 1 criterio de decisión que deberá ser priorizado de entre los 3 siguientes criterios: balance en tiempo, balance en volumen, o traslape de polígonos.

Cabe señalar también que el hecho de garantizar que los polígonos no se traslapen entre sí de alguna manera reduce inherentemente las distancias entre los lugares de entrega, además, los tiempos de desplazamiento entre puntos de entrega son mucho menores que los tiempos de entrega de cada uno de los 20 lugares de carga y descarga seleccionados.

Se utilizó el Análisis Jerárquico de Procesos para determinar el criterio de decisión que debería ser priorizado. Nuevamente, fue necesario escribir claramente el objetivo final al que se quiere llegar con la decisión que se está tomando como punto de partida para el análisis. El objetivo es el siguiente: Determinar rutas maestras que simplifiquen la dificultad diaria de entrega de manera eficiente. La Tabla 4.3-6 muestra la matriz de decisión y las prioridades obtenidas. A partir de este análisis se concluye que el criterio de optimización a priorizarse es el balance de tiempo en las rutas.

Priorización de criterios para selección de rutas				
	<i>Balance en tiempo</i>	<i>Balance en Volumen de entrega</i>	<i>Traslape de polígonos</i>	<i>Prioridades</i>
<i>Balance en tiempo</i>	1	2	3	52.78%
<i>Balance en Volumen de entrega</i>	0.5	1	3	33.25%
<i>Traslape</i>	0.33333333	0.33333333	1	13.96%

Tabla 4.4-1. Priorización de criterios para la creación de rutas maestras. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

4.4.4.2 Modelo de asignación de lugares (zonas) de carga y descarga a rutas maestras de distribución

Se estructuró un modelo de programación no lineal en función de los criterios de la Tabla 4.4-1, el objetivo del modelo es determinar rutas maestras que minimicen el rango de los tiempos totales de entrega diarios (o de cada ruta), de tal forma que ninguna de las rutas se traslapen entre sí, que las zonas asignadas no estén demasiado alejadas entre sí y que el volumen entregado diariamente sea menor o igual que la capacidad de carga del vehículo seleccionado.

Es importante señalar que en la definición del modelo el rango de tiempos totales de entrega es una medida de balance ya que un sistema perfectamente balanceado tendrá un rango que se aproxima a cero. También es válido señalar que el rango por definición es estrictamente positivo de manera que minimizar el rango de tiempos implica balancear los tiempos totales de entrega. La definición del modelo así como su resolución se detalla en el Anexo 9.

4.4.4.3 Rutas maestras encontradas

Actualmente la distribución en el CHQ se realiza utilizando 6 días de distribución por semana sin embargo el reparto podría realizarse tanto en 5 como en 6 días por semana. Por dicho motivo se resolvió el modelo para los dos casos, utilizando los mismos parámetros aunque diferentes soluciones iniciales. En la sección 7.9.3 se muestra el proceso de resolución así como los parámetros utilizados en los escenarios.

En el caso de resolución para 5 días de reparto semanales, la mejor solución encontrada permitiría tener rutas cuyos tiempos de entrega oscilan entre 8.4 y 10 horas. El diagrama resultante de esta configuración se muestra en la Figura 4.4-3. Es válido notar como las rutas generan territorios de entrega claramente delimitados, cada uno conteniendo dos o más posibles zonas de carga y descarga. En dicho gráfico el tamaño de los nodos es proporcional al grado (número de arcos que entran o salen al nodo)

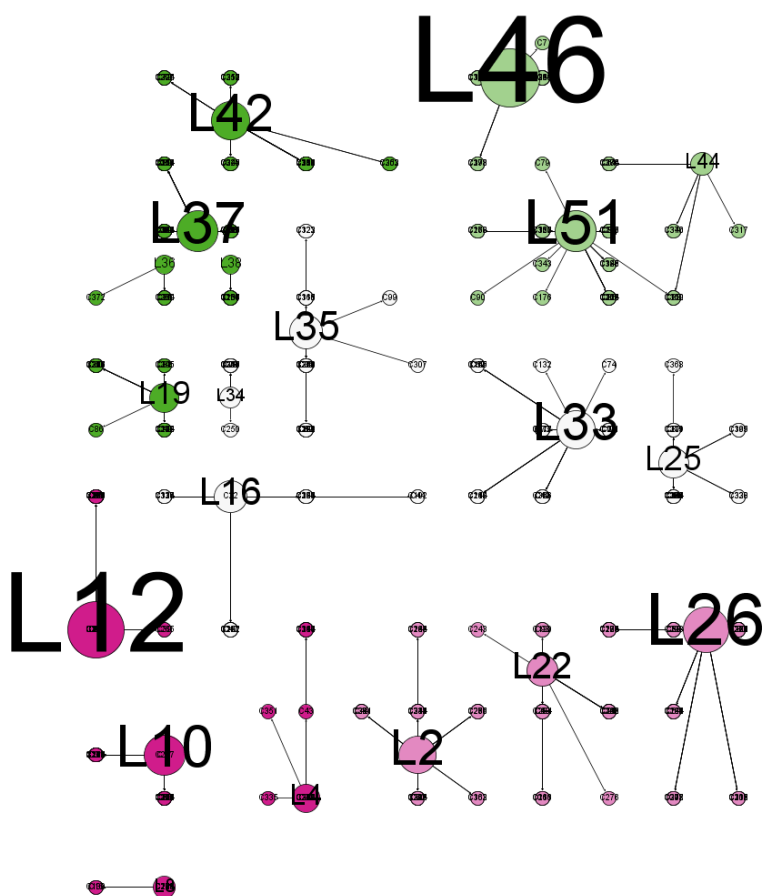


Figura 4.4-3 Configuración de red definitiva para la distribución en el CHQ utilizando 5 días semanales.
Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes

Posteriormente se resolvió el problema para el caso de 6 rutas de distribución. La solución final encontrada como es de esperarse, disminuyó los tiempos de ruta

promedio en al menos 1 hora haciendo que ahora estos oscilen entre 6.5 y 8.9 horas. Cada una de las rutas obtenidas tienen asignados entre 50 y 74 clientes que al igual que en la anterior solución, ocupan territorios claramente delimitados que no se traslapan entre sí. La Figura 4.4-4 muestra la configuración de red definitiva obtenida.

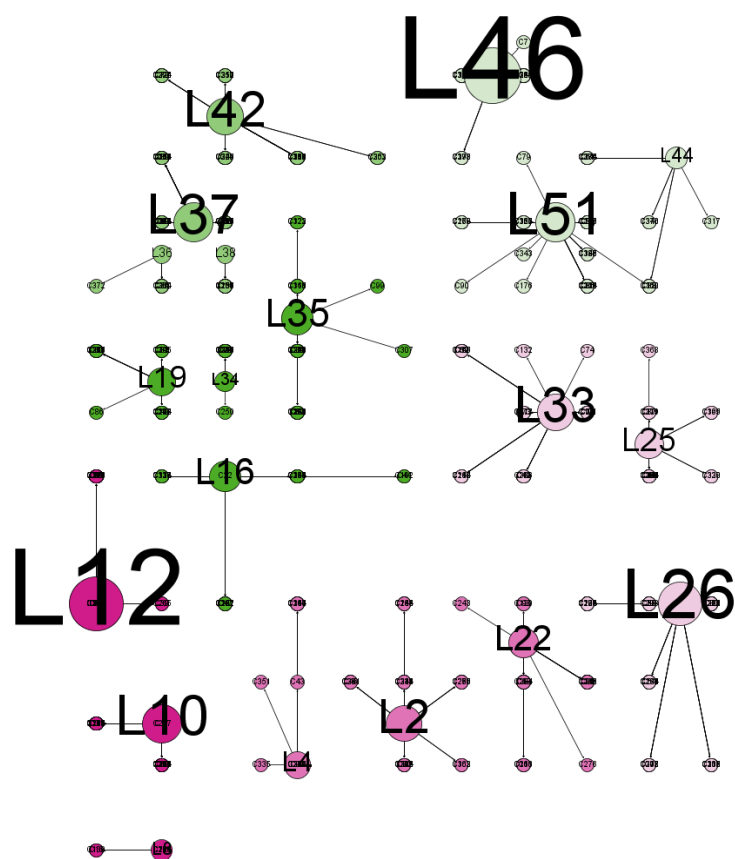


Figura 4.4-4. Configuración de red definitiva para la distribución en el CHQ utilizando 6 días semanales.
Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes

4.4.4.4 Comparación de las rutas obtenidas con las rutas maestras actuales de distribución dentro del polígono del CHQ

Se dispone de información sobre los días de llamada o entrega de cada uno de los 371 clientes de Cervecería Nacional en el CHQ. Se busca a partir de esta

información, comparar el desempeño de las rutas maestras existentes actualmente en el CHQ y las obtenidas a través de los métodos matemáticos hasta aquí utilizados. Los criterios de comparación entre las soluciones actuales y los anteriores esquemas incluyen: diferenciación de los territorios de entrega, balance en términos de carga y número de clientes.

Balance de territorios de entrega

Para tener una misma base de comparación, utilizando Gephi se graficó la red de clientes actuales ubicando cada uno de los nodos de acuerdo a la geometría del taxista (ver Figura 4.4-5). Las tonalidades de colores muestran las rutas existentes actualmente (una ruta para cada uno de los 6 días de reparto). A diferencia de las configuraciones mostradas en las figuras, la actual no muestra los lugares de carga y descarga identificados ni los asocia con un subconjunto de nodos. Se puede apreciar claramente que muchos de las rutas no presentan territorios predefinidos, llegando incluso a darse el caso de nodos sobrepuestos con diferentes rutas asignadas. De manera que se demuestra que las rutas de entrega propuestas son en términos de independencia de territorios, más convenientes que las antiguas.



Figura 4.4-5. Diagrama red con los actuales para DINADEC (Abril 2013). **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Balance en carga y número de clientes

Con el fin de comparar el balance en términos de número de clientes, Volumen de entrega se elaboró una tabla comparativa tomando en cuenta los mismos 371 clientes que componen la red de CN en el CHQ (ver Tabla 4.4-2). Los índices actuales para los 371 clientes considerados presentan mayor dispersión en parte debido a que el diseño de las rutas de Cervecería Nacional no considera al polígono que se ha definido en el estudio para el CHQ como un territorio especial. Sin embargo, si se excluye de la comparación las rutas de los días Lunes y Viernes (ya que evidentemente abastecen a nodos que no están entre los 371 considerados en

el estudio), se puede apreciar que no existe un claro balance en términos de volumen ni número de clientes, oscilando este último entre 76 y 139, mientras que los propuestos oscilan respectivamente entre 70 y 83 para las rutas de 5 días y entre 50 y 74 para las rutas de 6 días. Cabe mencionar por último que las rutas maestras actuales han sido creadas en DINADEC en función de las latitudes y longitudes desplegadas en Roadshow, sin embargo por voces del equipo de planificación de CN se sabe que dichas longitudes y latitudes no son adecuadas.

Rutas propuestas						Ruta actual		
Ruta (5 días)	Volumen (cajas)	Total Clientes	Ruta (6 días)	Volumen (cajas)	Total Clientes	Ruta	Volumen (cajas)	Total Clientes
R1	383.8	83	R1	328.2	70	L	108.4	10
R2	305.2	65	R2	216	50	M	518	82
R3	281.4	79	R3	294	65	I	332	64
R4	364.2	74	R4	364.2	74	J	478.6	139
R5	433.2	70	R5	406.8	56	V	0	0
			R6	158.6	56	S	330.8	76

Tabla 4.4-2. Comparación entre las rutas maestras diseñadas y las existentes actualmente en el CHQ.
Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes

4.4.4.5 Asignación de días de distribución para las rutas determinadas

Con el fin de minimizar el impacto en la implementación de las rutas que en este estudio se proponen es necesario minimizar el número de puntos de entrega y clientes que cambian su día de llamada o entrega. La definición de rutas maestras es una decisión táctica ya que el sistema entero de televenta (con la central de ventas operando desde Guayaquil) organiza sus operaciones considerando días exactos para contactar a clientes e ingresar sus pedidos. De esta manera, se asignó días de entrega buscando que la mayor cantidad de clientes conserven sus días de llamada. La Tabla 4.4-3 muestra una comparación cruzada entre las rutas de 5 y 6

días diseñadas con respecto a las vigentes, esta fue la base para asignar los días de servicio tal como lo indica la Tabla 4.4-4. En las rutas de 5 días diseñadas, el 70.9% de los clientes (263 de 371) conservaron su día actual de llamada, en las rutas de 6 días, el porcentaje fue del 63.1% (234 de 371).

Clientes en común por ruta maestra y día											
Rutas de 5 días					Rutas de 6 días						
	L	M	I	J	S		L	M	I	J	S
R1	1	10	62	10		R1	1	10	57	2	
R2	6	1	1	50	7	R2	2	1	6	34	7
R3	3	7		68	1	R3	7	2		56	
R4		3		5	66	R4		3		5	66
R5		61	1	6	2	R5		53		1	2
						R6		13	1	41	1

Tabla 4.4-3. Comparación cruzada entre las rutas diseñadas y los días de llamada vigentes. L=Lunes, M=Martes, I= Miércoles, J=Jueves, V=Viernes, S=Sábado. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Rutas de 5 días		Rutas de 6 días	
R1	Miércoles	R1	Miércoles
R2	Lunes	R2	Lunes
R3	Jueves	R3	Jueves
R4	Sábado	R4	Sábado
R5	Martes	R5	Martes
		R6	Viernes

Tabla 4.4-4. Asignación de rutas de entrega propuesta tanto para 5 o 6 días de reparto. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

4.4.5 Detalles operativos de la solución

4.4.5.1 Conformación de los equipos de entrega

Con el fin de reducir el tiempo de servicio total, se puede optar reducir tanto el tiempo de atención al cliente como el tiempo de traslados. Reducir este último tiene mayores beneficios en términos de valor, dado que en general las esperas por movilización no agregan valor al cliente final. En la Tabla 7.9-1 (pág. 194) se detalló

específicamente los tiempos totales de entrega para cada uno de los 20 lugares de carga y descarga, dichos tiempos oscilan desde un mínimo de 0.6 horas (36 minutos) hasta un máximo de 4.2 horas y fueron estimados en base a un único operario realizando despachos finales con viajes de hasta 10 cajas de cerveza.

Una oportunidad interesante de mejora recae en aprovechar la cercanía de los nodos dentro del territorio de la ruta asignada. Puede entonces agregarse un operario adicional cuya función sea específicamente conversar con los clientes y confirmar el pedido. Esto permite que las actividades de atención al cliente y de movilización no sucedan en serie si no de manera paralela. Dicho operario se encargaría de avisar a sus compañeros sobre el estatus del cliente evitando que ellos se trasladen al cliente en vano. Este operario podría recorrer los puntos de entrega utilizando bicicleta o motocicleta (dado que no requiere llevar producto consigo). Adicionalmente, los equipos de entrega deberán comunicarse entre sí mediante celular o intercomunicadores de radiofrecuencia.

4.4.5.2 Uso de carretillas de mano

El 40% de los clientes se ubica a más de 100 metros de distancia de la zona asignada, de acuerdo a la geometría del taxista. La Figura 4.4-6 muestra un histograma que describe la distribución de distancias entre clientes y sus respectivas zonas de carga y descarga asignadas. Este aspecto operativo es fundamental dado que describe de manera práctica los desplazamientos que los líderes de ruta tendrán que efectuar en sus tareas de distribución. Es válido señalar que el haber considerado solamente 20 de las 56 zonas existentes incrementa necesariamente la distancia recorrida entre los puntos de entrega y las zonas de carga y descarga.

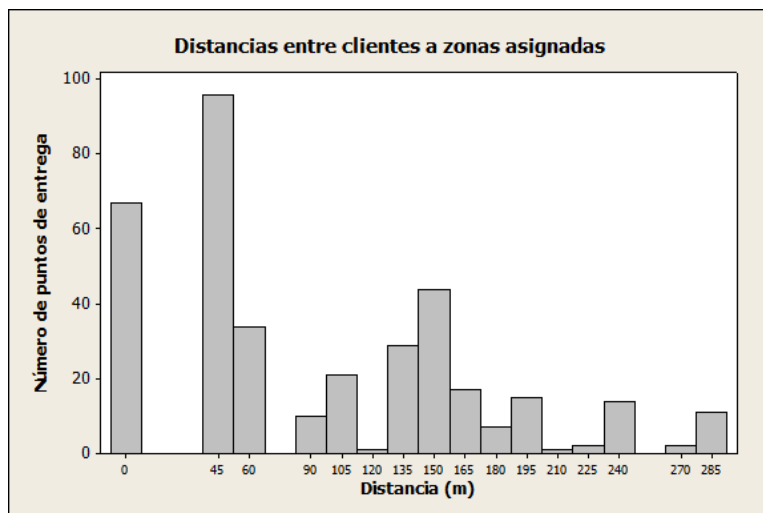


Figura 4.4-6. Histograma de distancias entre clientes y posibles zonas de carga y descarga asignadas.
Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes

La operación de entrega de DINADEC actual en cualquier punto de la ciudad de manera general asume que los camiones siempre podrán ubicarse a menos de 100 metros del punto de entrega de forma que la entrega podría realizarse incluso sin la ayuda de carritos de mano. Lo antes expuesto muestra que es mandatorio que el equipo de distribución en el CHQ disponga de al menos 1 carrito con capacidad de cargar al menos 10 cajas simultáneamente para poder cumplir con los tiempos de ruta estimados en el modelo de asignación de rutas. En este sentido, y recordando que el 80% de las entregas contempla volúmenes de entrega menores a 8 cajas, se recomienda en la medida de lo posible utilizar carritos de aluminio con capacidad de hasta 10 cajas. Es posible encontrar modelos en el mercado con un costo promedio de \$200.00 dólares más gastos de transporte. La Figura 4.4-7 muestra una captura de pantalla de Internet (Sydney Trolleys, 2013) de un carrito de mano con capacidad de carga de hasta 10 cajas de cerveza.



Figura 4.4-7. Carrito de mano extensible con capacidad de carga de hasta 150Kg (10 cajas) **Fuente: (Sydney Trolleys, 2013)**

4.4.5.3 Nuevos tiempos totales de entrega bajo las nuevas condiciones operativas

Si se incluye un tercer operario al equipo de ruta de entrega trabajando en simultáneo con sus compañeros, y se utilizan carritos con capacidad de carga de hasta 10 cajas de cerveza, se observa una mejora tanto en los tiempos de desplazamiento como en los de atención al cliente. Para ejemplificar esto, se puede asumir que los tiempos de atención reducen de 5 a 3 minutos, y que la capacidad por viaje sube de 10 a 20 cajas, esto permite que en promedio los tiempos totales de entrega para cada zona se reduzcan en un 28% tal como lo indica la Tabla 4.4-5.

Zona	T Ant.(h)	T Nuevo.(h)	Mejora
L12	3.69	2.56	30.69%
L8	0.68	0.45	34.25%
L10	2.47	1.72	30.28%
L19	1.10	0.80	27.17%
L36	0.59	0.42	28.49%
L37	2.33	1.66	28.77%
L42	3.70	2.70	27.23%
L16	2.44	1.91	21.85%
L38	0.70	0.44	37.28%
L34	0.74	0.51	31.35%
L4	1.69	1.26	25.32%
L35	2.08	1.55	25.65%
L2	2.54	1.91	24.86%
L46	3.85	2.48	35.54%
L22	2.33	1.66	28.71%
L51	3.44	2.60	24.25%
L33	2.90	2.25	22.63%
L25	1.80	1.26	29.79%
L44	1.53	1.16	24.11%
L26	4.22	3.11	26.19%

Tabla 4.4-5. Comparación de los tiempos totales de entrega anteriores (Ant) y los nuevos bajo las consideraciones operativas descritas. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

4.4.6 Plan de contingencia

Tal como se mencionó en la sección 4.4.2, está en pie un programa de peatonalización en el Centro Histórico de Quito que impediría que camiones circulen entre las calles Bolívar (al Sur), Olmedo (al Norte), Flores (al Este) y Benalcázar (Oeste). De llevarse a cabo, muchas de las 56 zonas de carga y descarga encontradas dejarían de ser lugares factibles. Dado que la nueva operación diseñada contempla entregas finales con movilización a pie, el único importante cambio que se requeriría es identificar cuáles de las 56 zonas posibles y 20 seleccionadas caen dentro del perímetro de peatonalización.

Las zonas que serían virtualmente eliminadas son once: L16, L17, L18, L21, L22, L23, L24, L31, L32, L33 y L34. Cuatro de estas pertenecen a las 20 zonas de carga y descarga pertenecientes a la solución final, estas incluyen: L16, L22, L33 y L34. En caso de que la peatonalización del CHQ entrase en vigencia, se podría (1) Asignar dichos clientes a las zonas no afectadas. Esto es factible debido a que los territorios que definen las rutas son cercanos entre sí. Una segunda alternativa sería (2) Asignar cualquiera de las 36 zonas de carga y descarga no elegidas. El criterio para elegir sería la distancia más corta de los nodos afectados al nodo afectado y la disponibilidad de dichas zonas.

Por otro lado, es importante notar que muchas veces cualquiera de las zonas podrá no estar disponible. Lo recomendable en este sentido es acudir, a alguna de las zonas no asignadas, nuevamente en función de la cercanía con el nodo afectado. Los líderes de ruta para ello contarán con información sobre los posibles puntos alternativos donde pueden descargar provisionalmente. Dichos puntos fueron asignados a las rutas actuales en función de sus ubicaciones dentro de los territorios definidos por las rutas maestras. La Tabla 4.4-6 muestra los territorios y los lugares no seleccionados que podrían ocuparse en cada territorio.

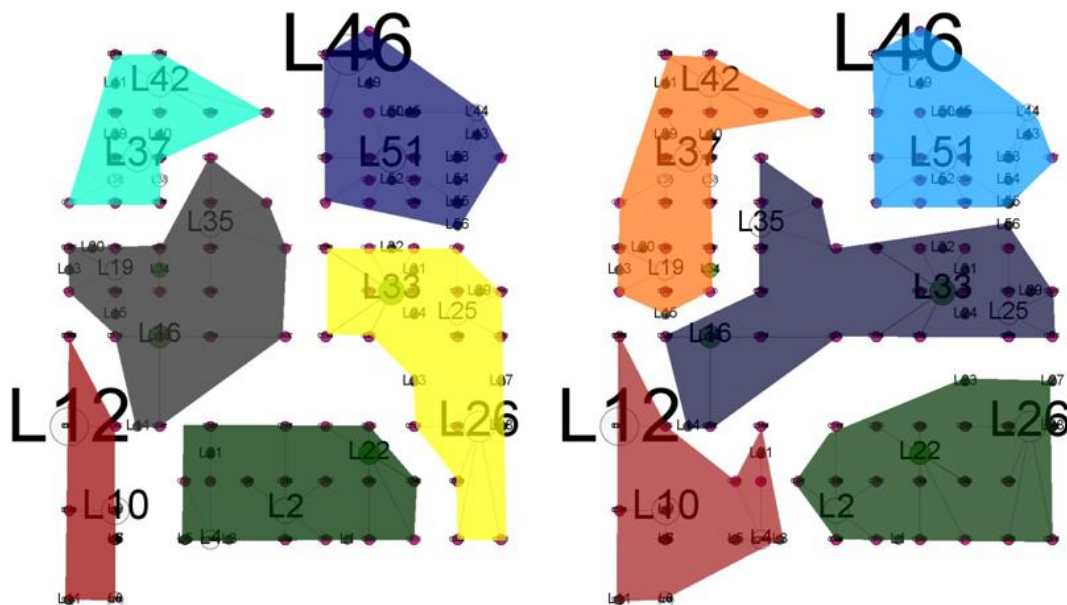


Tabla 4.4-6. Territorios ocupados por los nodos para las rutas de distribución de 5 (derecha) y seis días (izquierda). Los nodos grises sin arcos corresponden a las zonas no asignadas. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

A continuación se enlistan los lugares de carga y descarga no asignados a cada una de las rutas tanto de cinco como de seis días de entrega. Los lugares en cursiva corresponden a las zonas que no estarían disponibles en el caso de que la peatonalización llegase a efectuarse. Para el caso de cinco días de entrega se tiene:

- **R1:** L3, L5, L6, L7, L9, L11
- **R2:** L1, *L21*, L27, L28
- **R3:** *L23*, *L24*, L29, L30, *L31*, *L32*, L56
- **R4:** L43, L45, L47, L48, L49, L50, L52, L53, L54, L55
- **R5:** L13, L14, L15, *L17*, *L18*, L20, L39, L40, L41

Mientras tanto, en el caso de las rutas de 6 días de entrega se tiene:

- **R1:** L6, L7, L9, L11;

- **R2:** L1, L3, L5, L21
- **R3:** L23, L24, L27, L28, L29, L30, L31, L32
- **R4:** L43, L45, L47, L48, L49, L50, L52, L53, L54, L55, L56
- **R5:** L39, L40, L41
- **R6:** L13, L14, L15, L17, L18, L20

4.5 Análisis de viabilidad

4.5.1 Viabilidad técnica

La solución propuesta ha sido construida en base a la forma en que DINADEC realiza el proceso de distribución actual de manera que no se requieren sistemas de información adicionales ni equipos tecnológicos avanzados. No obstante uno de los aspectos claves es lograr incluir las 56 posibles zonas de carga y descarga identificadas y las 20 de ellas que fueron seleccionadas en el sistema de ruteo de DINADEC RoadShow. Cabe mencionar que una de las características de RoadShow es su programabilidad y su diseño por territorios, de manera que los territorios anteriores son fácilmente modificables y la nueva estructura puede ser ingresada con facilidad.

Lo anterior permitirá que los líderes de ruta puedan estar familiarizados con la ruta de distribución, entender la modalidad que se propone de entrega. En realidad la correcta ejecución de las operaciones depende del grado de entendimiento que el líder de ruta tenga sobre la zona en cuestión, en términos de tiempos esperados de entrega, lugares factibles de parqueo y equipo de trabajo con el que cuenta.

La solución sugiere la utilización de intercomunicadores como plataforma de comunicación entre los miembros del equipo de ruta. Existen diversos dispositivos que operan sobre ciertas bandas de radio que permiten realizarlo. De igual manera, el equipo de ruta cuenta con teléfonos celulares que en caso de ser requerido puede constituirse en otra alternativa de comunicación viable.

4.5.1.1 Diseño de Zonas de Carga y Descarga

La elección de las 56 zonas posibles de carga y descarga se realizó obedeciendo los criterios definidos por la Guía Técnica de Desarrollo de Zonas de París. Dependiendo del ancho de la acera se construirían zonas Lincoln y Half-Lincoln. De acuerdo a la regulación, el espacio peatonal libre mínimo después de construida la acera deberá ser de 50cm para zonas Lincoln de manera que en todos los casos en que no se pueda satisfacer este criterio, se construirá zonas Half-Lincoln.

Cabe decir que las 6 zonas de carga y descarga existentes actualmente en el CHQ tienen un ancho de 1.82m y son similares al modelo Lincoln, sin embargo carecen de señalización ni de complementos para facilitar la operación. Como se mencionó en la revisión literaria, las guías de construcción de este tipo de zonas en París sugieren un ancho mínimo de 2.0m. Se buscará que las zonas obedezcan este criterio garantizando que las operaciones puedan realizarse con normalidad. La Figura 2.3-5 de la página 56 muestra el diseño Lincoln a utilizarse.

4.5.2 Viabilidad legal

Una de las bases de la gestión del proyecto constituye el cumplimiento de las regulaciones vehiculares existentes en el Centro Histórico de Quito. La ordenanza

147, que actualmente regula el transporte de carga en el DMQ y de manera especial en el CHQ establece que camiones de hasta 7.5m de longitud y 2.3m de ancho como máximo podrán circular en el CHQ. Los camiones de 3 toneladas que se propone utilizar encajan dentro de dicha restricción (cfr. Tabla 4.1-4).

La ordenanza también señala que las entregas solo podrán realizarse en las zonas de carga y descarga provistas. No obstante, sólo existen 6 espacios dentro de todo el Centro Histórico de Quito habilitados para tal efecto y estos no se encuentran distribuidos en función de la ubicación de los potenciales puntos de entrega. En este sentido, la viabilidad legal del plan depende en gran medida de lograr un acuerdo entre el CHQ y las empresas privadas que requieren realizar entregas. El acuerdo sería planteado en base a las 20 zonas aquí identificadas. Por otro lado, las zonas posibles de carga y descarga identificadas han sido seleccionadas en calles del Centro Histórico de Quito que se encuentran alejadas de los principales atractivos turísticos. Esto implica que a pesar de que la distribución en el CHQ no es legalmente viable bajo las condiciones actuales, el esquema propuesto permite reducir los desplazamientos de camiones y el impacto de la operación de CN en el CHQ.

4.5.3 Viabilidad económica

El nuevo esquema de distribución sólo involucraría inversión en infraestructura en caso de llegar a completarse la cooperación público-privada de Cervecería Nacional con el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (ver sección 4.5.4). Se analizarán estos dos escenarios para generar un estimado anual de los costos adicionales de

operación en los que incurriría CN al rediseñar su esquema de distribución en el CHQ.

4.5.3.1 Costos adicionales sin considerar plan cooperación CN – DMQ

Los gastos adicionales en los que Cervecería Nacional incurre para hacer efectivo el plan mencionado incluyen 3 rubros fundamentales: Costo de equipos, un plan de comunicación móvil basado en voz y SMS y la contratación de un miembro adicional al equipo de ruta. Utilizando una tasa del 9% anual se determinó que CN incurriría en \$593.79 dólares adicionales mensuales adicionales a sus costos normales de operación en el CHQ. Este costo es asumido por CN a través de la tasa de pago convenida con Distribuidora Aleaga Fernández. En concreto, y suponiendo que el nivel de ventas promedio se mantiene vigente, se estima la ruta del CHQ distribuirá mensualmente cerca de 7520 cajas de cerveza, de manera que el costo adicional por caja entregada será de \$0.08, esto implicaría que CN debería aumentar en \$0.08 el pago por caja entregada a la Distribuidora Aleaga Fernández en el CHQ (un incremento del 15.6%). La Tabla 4.5-1 resume estos rubros.

<i>Rubro</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Carrito de mano</i>	\$ 300.00	2	Bianual
Prepago Minutos y SMS	\$ 10.00	3	Mensual
Plan Minutos y SMS	\$ 16.80	1	Mensual
Salario adicional miembro equipo de ruta	\$ 490.00	1	Mensual
Total *	\$ 593.79	1	Mensual
Se considera una tasa del 9% anual (costo de oportunidad)			

Tabla 4.5-1. Costos operacionales adicionales incurridos en el nuevo esquema de distribución. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

4.5.3.2 Costos adicionales considerando plan cooperación CN-DMQ

Los costos adicionales del plan de cooperación dependen en gran medida de los términos contractuales acordados así como en el número de agentes que participen. Es muy probable que CN deba participar en los gastos de infraestructura para montar las zonas de carga y descarga.

Se realizó un costo del plan de cooperación considerando el escenario en que CN incurra con todos los gastos de inversión de infraestructura. Dichos costos son estimados en base a una comparación con un proyecto de recuperación de aceras llevado a cabo en Cuenca en mayo de 2012 (El Tiempo, 2012). Es válido mencionar que el diseño de las zonas de carga y descarga será de acuerdo al modelo Lincoln, sin embargo dado que no se ha implementado infraestructura logística de este tipo, resulta necesario estimar el costo en base al proyecto de recuperación de aceras en Cuenca. En dicho proyecto se invirtieron cerca de \$900 mil dólares para recuperar simultáneamente las aceras de 60 cuadras. Así, se estimó un costo de \$15000 por cada zona de carga y descarga construida. La Tabla 4.5-2 resume los costos anuales incurridos por CN bajo este escenario. Los costos anuales se reducirían a \$4600 si Cervecería no participara de los gastos de infraestructura. A este rubro es necesario añadir los costos operativos adicionales analizados en la anterior sección.

<i>Rubro</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Infraestructura</i>	\$ 15,000.00	16	Una sola vez
Mantenimiento Zona	\$ 300.00	12	Anual
Impresión Lonas	\$ 100.00	12	Anual
Total *	\$ 26,400.00	1	Anual
Se considera una tasa del 9% anual (costo de oportunidad)			

Tabla 4.5-2. Costos anuales del plan de cooperación CN-DMQ suponiendo la inversión de infraestructura está a cargo de CN. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

4.5.3.3 Beneficios esperados con la implementación del nuevo Esquema

Se ha identificado varios beneficios tras la implementación del nuevo esquema. Estos incluyen aumento de la probabilidad de parqueo, disminución de la distancia diaria recorrida por el camión de entrega y del tiempo del camión en vía. Estos aspectos consecuentemente derivan en una reducción en el uso de combustible en el desgaste de neumáticos y en las emisiones de carbono.

Es difícil comparar directamente las rutas antiguas con las nuevas dado que el esquema actual analiza la zona de estudio como un problema particular, mientras que las rutas antiguas solamente coinciden con la zona. La Figura 4.5-1 muestra la comparación de los territorios ocupados por la ruta antigua y la ruta nueva de 5 días. Un vistazo preliminar de dicha figura comprueba que la nueva organización es más simple y respeta independencia territorial.

Una buena estimación puede estar dada en términos del número esperado de paradas para realizar toda la distribución. En el caso de las nuevas rutas, se tiene un total de 20 paradas (las 20 zonas de carga y descarga), mientras que para el esquema antiguo el número mínimo de paradas semanal es $[376/5] = 76$. En el modelo de creación de rutas se realizó una estimación de la distancia entre puntos de parqueo y el centro de la ruta maestra creada. En el caso de rutas de 5 días, la

distancia máxima entre una zona de parqueo y el centro de la ruta fue de 442m y en el caso de 6 días de 272m. Suponiendo que siempre se recorre esta distancia, se tiene que bajo el nuevo esquema, la distancia recorrida para 5 días de distribución es de 8.84Km semanales, y de 5.44Km para 6 días de distribución. Bajo el supuesto hipotético que las rutas antiguas ubiquen sus puntos de parqueo de manera tan eficiente a la que lo hacen las rutas de distribución, se tendría una distancia esperada de $76 \times 0.272m = 20.672Km$.

De manera que se espera una reducción del 57% y 73% en la distancia recorrida dentro del CHQ. Así podrá asumirse una reducción proporcional en uso de combustible y neumáticos. Es válido señalar que esta estimación no considera los desplazamientos realizados por camiones para buscar los sitios de parqueo ni los desplazamientos realizados para realizar entregas sobre la vía.

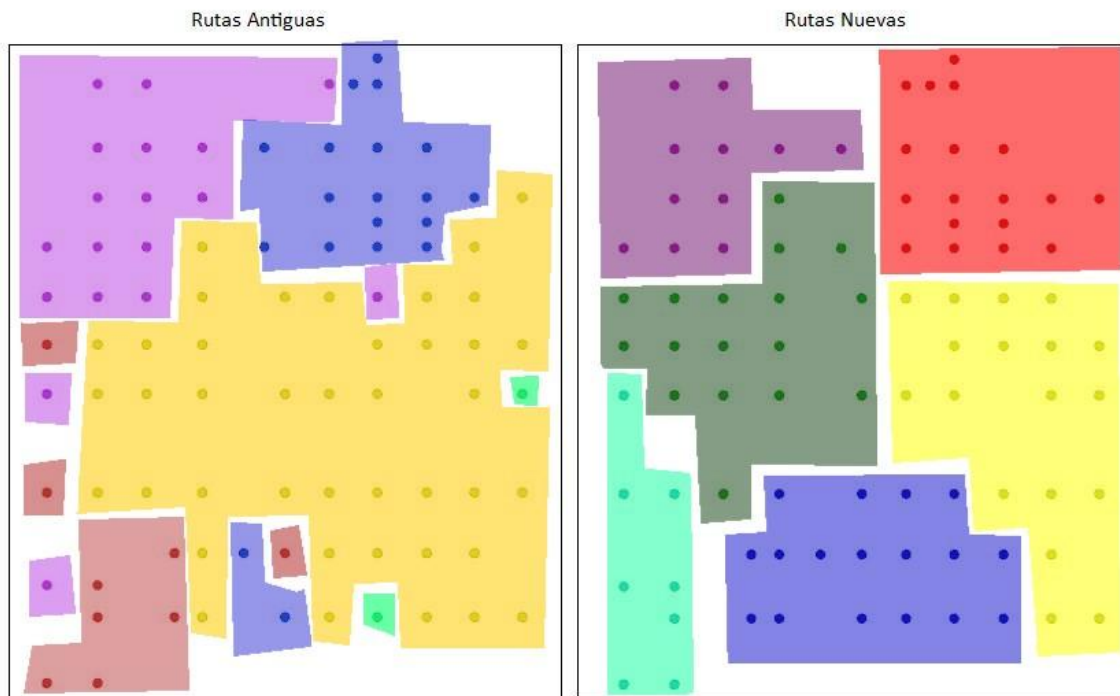


Figura 4.5-1. Comparación territorial de las Rutas Antiguas y Ruta nueva de 5 días para CN en el CHQ.
Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes

4.5.4 Cooperación público-privada Cervecería Nacional – Municipio del Distrito Metropolitano de Quito

El plan de cooperación puede darse en diferentes términos. La idea de fondo es que el Municipio pueda establecer 16 zonas adicionales de carga y descarga en el CHQ (4 de ellas actualmente ya existen) en las que CN pueda realizar su operación. Cervecería Nacional se encargará de dar mantenimiento a tales zonas y de no generar un impacto estético en el casco colonial. De igual manera, los camiones de Cervecería Nacional serán utilizados como medios publicitarios para informar sobre eventos culturales en CHQ y sobre la cooperación del municipio y el sector privado en pos de modelos más sostenibles de movilidad de carga. Los beneficios para cada uno de las partes (tanto CN como el DMQ) se describen a continuación:

Para el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito:

- Infraestructura que de sustento la aplicación de la Ordenanza Municipal #147
- Reducción del tránsito generado por camiones livianos circulando en el CHQ
- Eliminación del uso indebido (actualmente evidenciado) de infraestructura pública, de manera particular aceras peatonales.
- Plan considera el impacto del proyecto de peatonalización del CHQ.
- Uso de camiones de CN como medio de despliegue publicitario, para promocionar eventos y la imagen del DMQ.

Para Cervecería Nacional

- Reducción de gastos por multas y contravenciones por circulación en el CHQ
- Disminución de traslados y diseño más robusto de ruta.
- Imagen positiva para la empresa, en términos de conciencia ambiental y respeto del patrimonio histórico del CHQ.
- Disminución en la dificultad de entrega por la factibilidad de contar con sitios estratégicos de parqueo.

El plan de cooperación es pionero a nivel nacional y podría involucrar otros agentes privados, como lo son las diversas empresas de consumo masivo. No obstante, necesitaría realizarse un estudio más a profundidad para determinar el número óptimo de zonas para que todas las empresas de consumo masivo puedan realizar sus operaciones de carga y descarga en el CHQ y la forma en que las zonas serían compartidas.

5 Conclusiones y Recomendaciones

El estudio de distribución en Cervecería Nacional completó con todos los objetivos delineados en su definición (ver sección 1.3) a partir de una base teórica sólida. De esta manera se llegó a obtener como producto final, un esquema robusto de distribución que podrá ser implementado en el corto plazo y que podría convertirse en una propuesta de distribución para ciudades emergentes en América Latina que experimentan una problemática similar. En esta sección se describen los hallazgos más relevantes del estudio, sus limitaciones, recomendaciones y los temas de estudio que futuras investigaciones deberán analizar.

5.1 Hallazgos más importantes del estudio

Se pudo determinar un perfil logístico completo del Centro Histórico de Quito en término de sus características demográficas, comerciales y de infraestructura, circulación y regulaciones existentes (ver sección 4.1). Dichos indicadores convierten al Centro Histórico en una de las áreas menos triviales para la generación de soluciones de distribución en Logística Urbana en el país y un marco de referencia para la realización de estudios en la región.

Por otro lado, se pudo delimitar de manera precisa el área geográfica dentro del CHQ en la que debía centrarse el estudio (ver sección 4.2.3.1). Dicha definición incluyó un amplio set de criterios incluyendo definiciones municipales, ubicación de zonas turísticas, tipo y forma de las calles, ubicación de los principales nodos logísticos y el criterio de los líderes de ruta que realizan entregas diarias en el CHQ.

Este polígono se constituye en una muy buena definición para el mejoramiento de las prácticas de distribución en consumo masivo.

El sistema de distribución actual de CN en el Centro Histórico no está diseñado en función de la complejidad del área de estudio sino que entiende a toda la Parroquia del Centro Histórico como un mismo sector. Esto impide que las operaciones de entrega sean las mismas para sitios con diferentes niveles de dificultad de distribución y diferente nivel de acceso en el CHQ.

La delimitación del área de estudio permitió identificar cerca de 376 clientes o puntos de entrega dentro de la delimitación. Fue interesante constatar que cerca del 80% de los clientes tiene un volumen de entrega menor o igual a 8 cajas por semana (ver sección 4.2.3.2) . Este aspecto fue calve para el diseño de las operaciones y el tiempo esperado para realizar cualquier entrega.

Se identificaron 6 problemas principales para la distribución de productos de Cervecería Nacional en el área delimitada del CHQ. En primer lugar la (1) Inexistencia de zonas de parqueo para vehículos de carga que impiden que la Ordenanza #147 actualmente vigente tenga sustento. (2) La estructura de la ciudad hace difícil maniobrar en calles estrechas. Por otro lado (3) el esquema actual de distribución genera ciertos problemas de tránsito y mal uso de infraestructuras que terminan por generar una imagen negativa para Cervecería Nacional. (4) El diseño de la ruta no coincide con ventanas horarias. Además, (5) la ejecución de las maniobras de distribución depende en alto grado de la experiencia del líder de ruta y en factores externos como la voluntad policial de imponer sanciones. Por último, el

esquema actual no analiza el riesgo latente de peatonalización del Centro Histórico de Quito.

El Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) permitió determinar la base estructural sobre la que se construiría el esquema propuesto. Se consideraron 4 criterios principales no necesariamente excluyentes entre sí que generaron una prioridad confiable. El diseño de red seleccionado es similar al manejado actualmente, con la inclusión de puntos fijos de descarga y entrega final a pie. Los valores de tiempo y costo para las comparaciones a pares no fueron obtenidos directamente por el criterio del investigador si no que respondieron a modelos de optimización.

Se eligieron 20 zonas de entre las 56 identificadas minimizando la distancia desde cada una de estas zonas al punto de entrega de acuerdo a la geometría del taxista. La utilización de esta geometría fue fundamental por dos motivos, en primer lugar, estimó de manera más real la forma en que se realizarían los desplazamientos. Por otro lado, disminuyó el sesgo generado por las coordenadas geográficas erróneas.

El esquema diseñado permitió generar territorios claramente diferenciados con tiempo de rutas balanceados en función del volumen de entregas actual (año 2013). Bajo las condiciones actuales podría realizarse la entrega con un camión más pequeño en tanto 5 como 6 días de entrega.

El diseño de ruta incluyó un análisis operativo que permitirá que los tiempos estimados se cumplan y en muchos de los casos se disminuyan. Una de los aspectos más innovadores en materia operativa es la inclusión de un operario encargado de verificar previamente la ejecución del pedido.

Uno de los aspectos más relevantes de la solución planteada es la significativa reducción de traslados. Esto implicaría reducción de gastos en términos de ahorro de combustible, uso de llantas y una disminución sensible de la huella de carbono de la empresa.

Se propuso también un plan de cooperación público privada entre el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y Cervecería Nacional. El convenio es favorable para ambas partes no sólo por convertirse en una buena práctica de exportación a nivel mundial, si no que deriva varios beneficios concretos a nivel público como la disminución de traslados y emisión de CO₂. De igual manera, el plan permitirá que Cervecería Nacional pueda realizar de manera efectiva sus entregas.

5.2 Limitaciones del estudio

El estudio permite reducir los problemas de distribución de Cervecería Nacional en el polígono definido del CHQ. Sin embargo, no se ha analizado el impacto que el plan tendrá en las rutas aledañas. Será importante poder considerar estas implicaciones en miras a una implementación efectiva.

Si bien se menciona que existirá una disminución significativa en la emisión de dióxido de carbono producto de la distribución actual, este valor no ha sido cuantificado. Este valor puede constituirse en un argumento de peso para la exportación del sistema actual como una buena práctica en logística urbana.

Uno de los aportes más importantes del estudio es la creación de un plan de cooperación público privado. Se ha analizado para el caso de estudio, la cooperación directa entre Cervecería Nacional y el Distrito Metropolitano de Quito.

Sin embargo, aunque el estudio pueda ser una buena representación del funcionamiento de la logística de distribución de consumo masivo en el CHQ, no se ha estudiado a fondo la manera en que la solución pueda integrar a los diversos actores de consumo masivo.

5.3 Recomendaciones

La determinación final de las rutas de entrega es sensible al volumen promedio de entrega. Se recomienda por tanto estudiar periódicamente el volumen de entrega con el fin de actualizar las rutas generando el mayor balance. Esta decisión debería ser revisada anualmente, dado que conlleva ciertas implicaciones en las instancias superiores e inferiores de la cadena de suministro.

Los modelos propuestos pueden ser exportados para la creación de esquemas de rutas similares, de manera particular modelos de núcleo y satélite como los planteados. Es importante que se cuente con aplicaciones robustas y potentes de resolución de problemas de programación lineal, y no lineal dado que el número de variables crece en función del número de clientes pudiendo alcanzar a cientos de miles de variables por problema.

La ejecución correcta del plan propuesto depende en gran medida de los líderes de ruta y su aceptación hacia el esquema. Es muy importante considerar períodos de capacitación, períodos de prueba y posibles sugerencias por parte de los dueños del proceso. Además, es importante que los miembros del equipo de ruta estén en capacidad de suplir las funciones de entrega de carga y de atención al cliente.

5.4 Futuros estudios

Surgen varias interrogantes para el estudio actual. Por ejemplo, si bien se planteó la utilización de carritos manuales para las entregas finales, puede que esta solución no sea conveniente para lugares con mayores velocidades de circulación permitidas y mayor distancia entre clientes. De esta manera que la elección del tipo de vehículos o equipos de entrega final puede constituirse en un tema interesante de análisis.

En el estudio se ha seleccionado 20 de las 56 zonas por convención pensando en que el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito permitirá seleccionar como máximo dicho número de zonas. Surge entonces un importante tema de estudio determinando el número óptimo de zonas de carga y descarga a utilizarse tanto para la distribución de una organización particular (este es el caso de CN) o bien pensando en el mercado de consumo masivo.

El estudio podría ser modificado utilizando geometrías diferentes a la del taxista y la distancia del gran círculo. Puede entonces proponerse nuevas métricas que consideren por ejemplo la direccionalidad de las calles y restricciones adicionales para el diseño del esquema de distribución.

6 Referencias

- Agencia Pública de Noticias de Quito. (14 de Abril de 2010). Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de http://www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_view/municipio_de_quito_implementara_3_tipos_de_parqueaderos_cuando_se_aplique_el_pico_y_placa--139
- Allen, J. T. (2007). *Guía de Buenas Prácticas sobre el Transporte Urbano de Mercancías*. Recuperado el 15 de Abril de 2013, de BESTUFS: http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/good_practice/Spanish_BESTUFS_Guide.pdf
- BESTUFS. (30 de Septiembre de 2005). *D 1.1 BESTUFS Policy and Research Recommendations*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/key_issuesII/BESTUFS_Recommendations.pdf
- Clynch, J. R. (2006). *Paths Between Points on Earth: Great circles, Geodesics and Useful Projectinos*. Obtenido de UNSW: http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/clynch_pdfs/navpaths.pdf
- D'Ercole, R., & Metzger, P. (2002). *EL PATRIMONIO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. Valoración de sus principales elementos y análisis espacial*. Recuperado el 7 de Febrero de 2013, de http://www.ifeanet.org/pacivur/docs/D18_08.pdf

Di Bugno, M., Guerra, S., Ambrosino, G., & Boero, M. (2008). A Centre for Eco-Friendly City Freight. En E. Taniguchi, *Innovations in City Logistics* (págs. 531-544). New York: Nova Science Pub Incorporated,.

Distrito Metropolitano de Quito. (2005). *Ordenanza Municipal # 147. Transporte de carga y productos Químicos*. Quito.

Distrito Metropolitano de Quito. (2012). *Plan metropolitano de ordenamiento territorial*. Quito.

Distrito Metropolitano de Quito y otros. (2009). *Plan Maestro de Movilidad 2009-2025*. Quito.

Ekos . (2012). Cervecería Nacional. 10 Prioridades para un modelo sostenible. *Ekos Negocios (Octubre)*, 108,109.

El Comercio. (23 de Noviembre de 2010). Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de La circulación del Centro Histórico se complica al mediodía: http://www.elcomercio.com.ec/quito/circulacion-Centro-Historico-complica-medioidia_0_377362262.html

El Telégrafo. (24 de Septiembre de 2011). *La peatonalización del centro de Quito tuvo la acogida esperada*. Recuperado el Primero de Abril de 2013, de <http://www.telegrafo.com.ec/noticias/sociedad/item/la-peatonalizacion-del-centro-de-quito-tuvo-la-acogida-esperada.html>

- El Tiempo. (27 de Mayo de 2012). *Recuperación simultánea de seis kilómetros de veredas*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/97562-recuperacion-simultanea-de-seis-kilometros-de-veredas/>
- European Commission, Directorate General for Energy and Transport. (2006). *Urban Freight Transport and Logistics*. Belgium: Extr@Web Consortium.
- Fošner, M., & Kramberger, T. (2009). *Graph Theory and Logistics*. Recuperado el 16 de Abril de 2013, de Math.e Revista Matemática de Croacia: http://e.math.hr/sites/default/files/br14/fosner_kramberger-eng.pdf
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to Logistic Systems Planning and Control*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (1997). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (6ta ed.). México: Mc Graw Hill.
- INEC. (2010). *Portal de Estadísticas*. Recuperado el 15 de Abril de 2013, de Base Censo 2010: <http://goo.gl/WXlf5>
- ISIS - Istituto di Studi per L'integrazione dei sistemi. (2006). *A policy assessment of the CIVITAS Initiative*. (A. Ricci, Ed.) Recuperado el 15 de Abril de 2013, de http://www.civitas.eu/docs_internal/91/Assessment.pdf
- Macário, R., Galelo, A., & Martins, P. M. (2008). Business models in urban logistics. *Ingeniería & Desarrollo*, 77-95.
- Mavesa S.A. (2013). *Modelos Hino 300, 500*. Recuperado el 7 de Febrero de 2013, de <http://www.hino-mavesa.com.ec/index.php>

Ministry of Urban Development, India. (May de 2008). *Study On "Traffic and Transportation Policies and Strategies in Urban Areas in India"*. Obtenido de http://www.urbanindia.nic.in/programme/ut/final_Report.pdf

N.K. Tiwari, S. K. (2006). *Operations Research*. Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd.

Paris City Council Roads & Transport Department. (2005). *Technical guide to Delivery areas to the city of Paris*. Paris: Mairie de Paris.

Pearce, F. (2006). How big can cities get? *New Scientist*, 41.

Polis, I. C. (2008). *Selection of Innovative Concepts*. Obtenido de NICHES: http://www.niches-transport.org/fileadmin/NICHESplus/Deliverables/NICHES__DeliverableD1.2_Selection_of_Innovative_Concepts_Polis_1008_Final.pdf

Praco Didacol. (2011). *Camiones Hino GD 500*. Recuperado el 2012 de Febrero de 7, de http://www.pracodidacol.com/Portals/7/PDF/camiones/hino_gd1j.pdf

Ruohonen, K. (2008). *Graph Theory*. Obtenido de http://math.tut.fi/~ruohonen/GT_English.pdf

Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, Vol. 32, No. 7 (Jul., 1986), 841-855.

Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the Analytical Hierarchy Process. 83-98.

Sydney Trolleys. (2013). *AT84B Aluminium Hand Truck*. Obtenido de http://www.trolleysonline.com.au/Products/Hand-Trolleys/Aluminium-Hand-Trolley/Aluminium-Hand-Truck_AT84B.cfm

TURBLOG. (2011). *Transferability Guidelines and Evaluation*. Recuperado el 29 de Marzo de 2013, de <http://www.turblog.eu>

TURBLOG. (2011-B). *Transferability of urban logistics concepts and practices from a worldwide perspective. Deliverable 2: "Business Concepts and Models for Urban Logistics"*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013

TURBLOG. (2011-C). *Urban Logistics Practices. Synthesis of Selected Case Studies*. Recuperado el 15 de Abril de 2013, de <http://www.turblog.eu>

Villagrán, L. (2012). *Aspectos legales de la franquicia en Ecuador*. Recuperado el 19 de Febrero de 2013, de Asociación Ecuatoriana de Franquicias: <http://www.aefran.org/aspectoslegales.html>

Wilson, J. M. (1985). Classification of Models in Operational Research. *Journal of the Operational Research Society*, 253-256.

7 Anexos

7.1 Anexo 1. Descripción de los perfiles logísticos identificados por TURBLOG (TURBLOG, 2011-B)

1. City Area Features	Profile A Cluster of shops specialized in one specific type of service/product: ex. a neighborhood that is known for furniture stores, craft or art pieces, technological pole.	Profile B Hotels, restaurants, small grocery stores, neighborhood markets	Profile C Business center (courier, small deliveries, B2C)	Profile D Large commercial (retail, shopping centers, distribution warehouses)	Profile E Residential areas with local trade
1.1. Commercial density	High	Low/Medium/High	High	High	Low/Medium
1.2. Homogeneity	High	Low/Medium/High	Low	Low	Low/Medium
1.3. Logistic accessibility	Good/Reasonable	Bad/Reasonable/Good	Reasonable/Bad	Good	Reasonable/Bad
1.4. Restriction applied	Yes/no	Yes/No	Yes	No	Yes
2. Product Characteristics	Profile A Cluster of shops specialized in one specific type of service/product: ex. a neighborhood that is known for furniture stores, craft or art pieces, technological pole.	Profile B Hotels, restaurants, small grocery stores, neighborhood markets	Profile C Business center (courier, small deliveries, B2C)	Profile D Large commercial (retail, shopping centers, distribution warehouses)	Profile E Residential areas with local trade
2.1. Easiness of handling	Easy/Reasonable/Difficult	Easy/Reasonable/Difficult	Easy	Easy/reasonable/Difficult	Easy/reasonable/Difficult
2.2. Special conditions	No special needs/special needs	Special needs	No special needs	Might have special needs	Might have special needs
2.2.1. Fragility	No special needs	Fragile	No special needs	No special needs	No special needs
2.2.2. Perishability	Not perishable	Perishable	Not perishable	Not perishable	Not perishable
3. Agent Profile/Deliveries Profile	Profile A Cluster of shops specialized in one specific type of service/product: ex. a neighborhood that is known for furniture stores, craft or art pieces, technological pole.	Profile B Hotels, restaurants, small grocery stores, neighborhood markets	Profile C Business center (courier, small deliveries, B2C)	Profile D Large commercial (retail, shopping centers, distribution warehouses)	Profile E Residential areas with local trade
3.1. Urgency of deliveries	Irrelevant/Relevant/Urgent	Urgent	Relevant/Urgent	Relevant	Irrelevant/Relevant/Urgent
3.2. Frequency of deliveries	Low/Medium/High	High	High	Medium/High	Low/Medium
3.3. Amounts to be delivered	Few/Several/Many	Several	Few/Several	Many	Few/Several/Many
3.4. Planned deliveries	No defined routine/Defined routine	Defined routine	No defined routine/Defined routine	Defined routine	No defined routine

 Grey Areas - Features that are not considered relevant for the definition of the Logistics Profile

7.2 Anexo 2. Comparación en términos de impacto para varios casos de estudio analizados por TURBLOG

Impact: Negative: - or (-) Limited: ~ or (~) Positive: + or (+)	Economic impacts				Transport impacts			Environmental impacts Reduction of:			Social impacts		
	City attractiveness	Transport costs reductions	Reduction of congestion	Efficiency/productivity	Decrease of transport fleet	Volume of goods transported	Accessibility of vehicles	Pollution	(Truck)-km	Noise	Quality of life	Reduction of accidents	Working conditions
Zero Emissions Corridor in the Central Axis (MCNA)	(+)	(-)	(+)	+	(-)	(-)	(-)	+	(-)	+	+	+	(-)
Freight Transport Regulation Programme (Mexico City)	+	-	+	(-)	(-)	(-)	-	+	(-)	(+)	+	(+)	(-)
Vehicle Verification Programme (MCNA)	(+)	-	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	+	(-)	(+)	+	(-)	(-)
Abertis Logistics Park (Santiago)	+	(-)	(+)	+	(-)	+	+	+	+	-	+	+	+
Shinjuku joint delivery system (Tokyo)	(+)	(-)	+	+	+	(-)	(+)	+	+	(+)	+	(-)	(-)
Beijing Tobacco logistics centre	(+)	+	+	+	+	+	(-)	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)
Off-hour delivery (New York)	+	+	+	+	(-)	(-)	+	+	(-)	+	+	(+)	~
Mumbai Dabbawalas	+	+	~	~	(-)	(-)	+	+	+	+	+	-	~

7.3 Anexo 3. Cadena de suministro de Cervecería Nacional. Flujos de producto, información y dinero

En la Figura 7.3-1 se muestra el flujo de producto. Es clave el proceso de logística inversa destinado a recoger los contenedores (jabas) vacíos en cada local. Existe un contenedor vacío por cada unidad de producto (la unidad de producto o pedido mínima son 12 cervezas=1 jaba). Existe envío frecuente de productos desde la planta de Guayaquil a la de Quito ya que no todos los productos son producidos en la planta de Quito.

El flujo de información es interconectado funcionalmente a través de la plataforma SAP y empieza con la toma de órdenes desde Guayaquil a través del sistema de Televenta. Cervecería Nacional utiliza un sistema de georeferenciación y dota por ello de Hand Helds móviles para cada líder de ruta. El flujo desarrollado puede apreciarse claramente en la Figura 7.3-2.

Por último, el flujo de efectivo se modela de acuerdo al tipo de entrega, televenta o autoventa (sólo presente en la Zona de La Mariscal en Quito). En el primer caso, el flujo de dinero empieza en el cliente cuando las órdenes son correctamente efectuadas y canceladas, y es depositado en efectivo en un banco dentro de la planta de CN. En el caso de autoventa, el ciclo es más corto para CN pues el distribuidor paga por la mercadería que llevará consigo al momento de cargar su camión para la entrega. Esto se aprecia en la Figura 7.3-3.

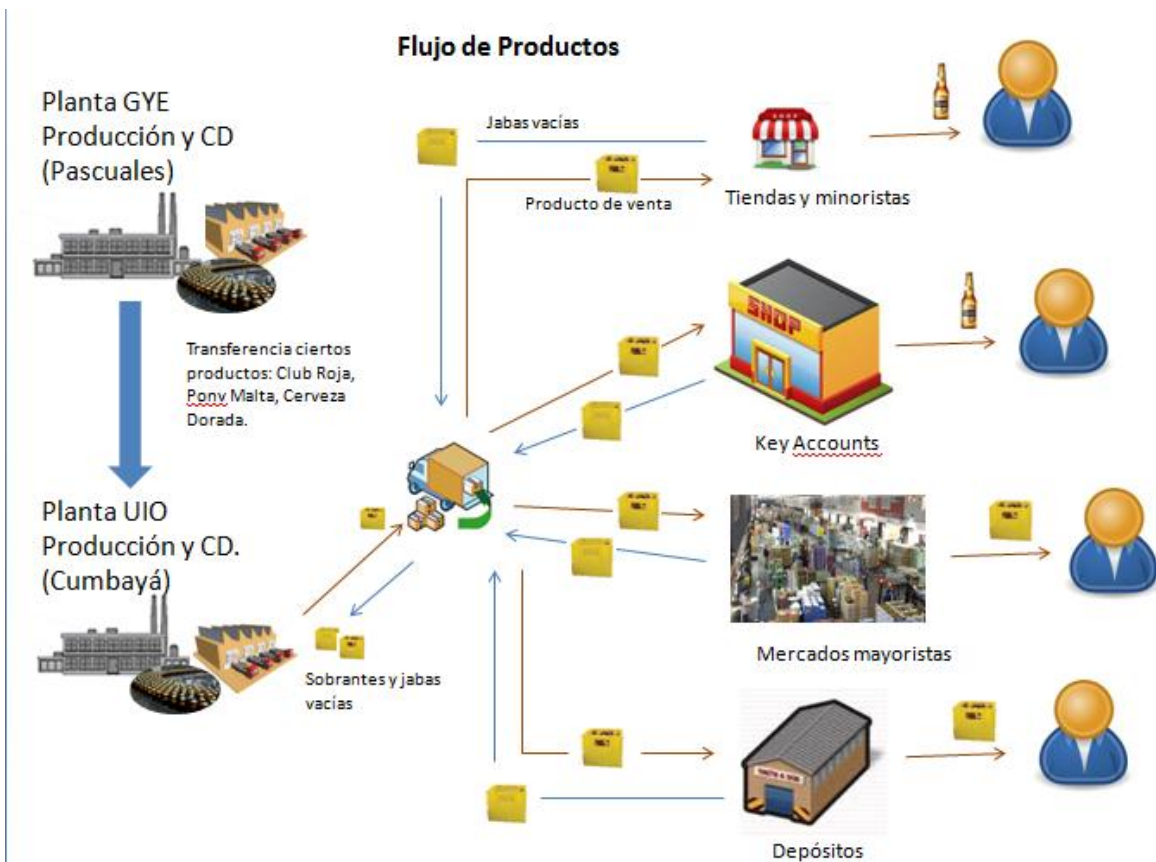


Figura 7.3-1. Flujo de Productos en el Sistema de Distribución de CN en Quito

Flujo de Información

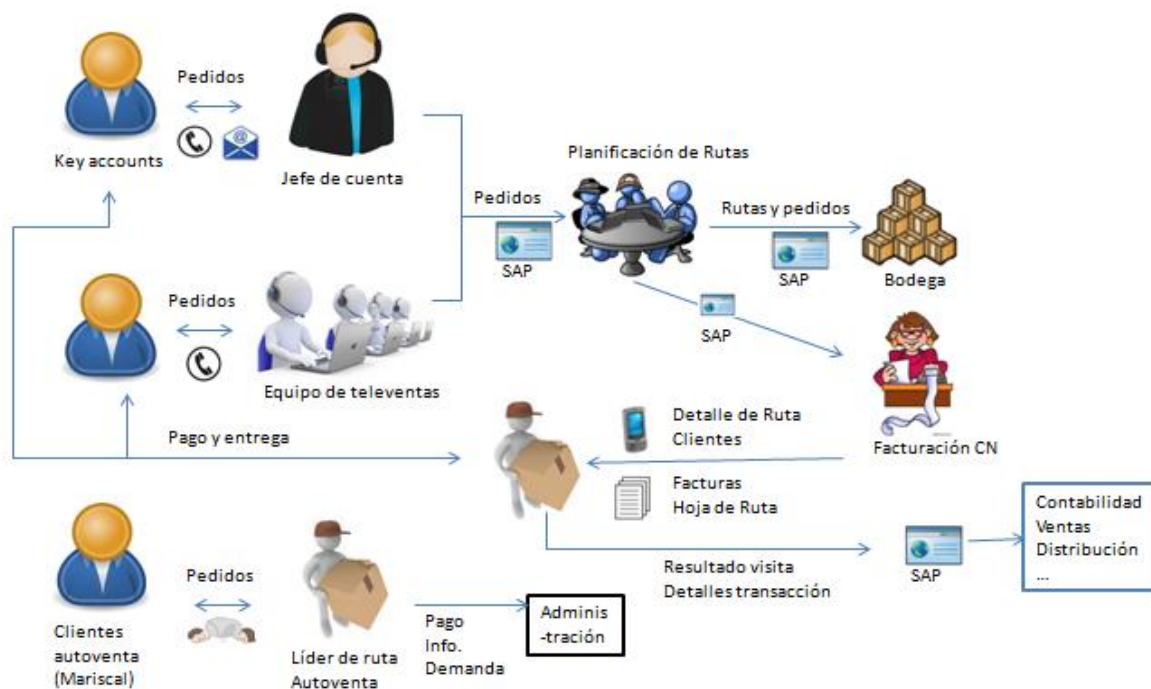


Figura 7.3-2. Flujo de Información en el Sistema de Distribución de CN en Quito

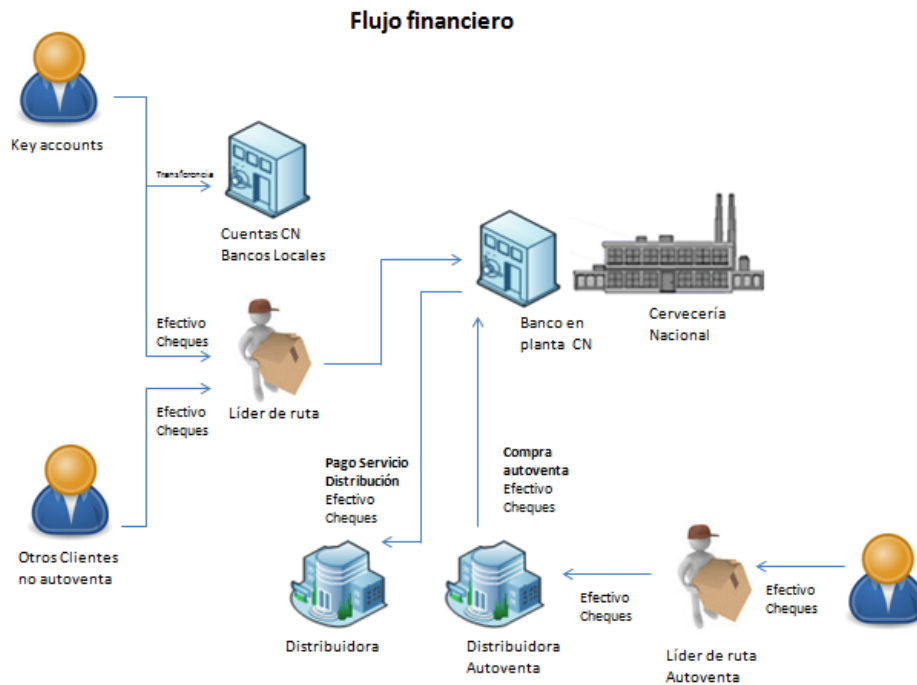


Figura 7.3-3. Flujo financiero en el Sistema de Distribución de CN en Quito

7.4 Anexo 4. Modelo de costos de Diseño de Red

Descripción

El propósito del Modelo de costos de Diseño de Red es determinar la composición de flota vehicular que minimice el costo diario de operación para un diseño de red satisfaciendo ciertas restricciones sobre la duración de la ruta y el monto de inversión máximo (cantidad de vehículos que pueden comprarse). Dichos diseños de red están caracterizados por la ubicación de uno o varios centros de distribución y un número determinado de clientes. Para poder comparar los diseños de red se necesita establecer un mismo escenario. Un escenario está caracterizado por: el número de clientes, la ubicación de los clientes y el tamaño de pedido (drop size) de cada cliente dentro del período considerado.

Peor caso de distribución

El escenario considerado trata de modelar el peor caso posible en un escenario de distribución de productos a minoristas, suponer que el Drop Size de cada cliente es el más pequeño posible, es decir, igual al volumen total de entrega en un período dividido entre el número total de clientes. En el caso de DINADEC S.A, el drop size promedio para los 376 clientes que pertenecen al CHQ es de 4.74 cajas de cerveza, es decir, 5 jabs de cerveza.

De igual manera, el peor caso asume que todos los clientes se encuentran equidistantes de manera que se requiere realizar tantas paradas como clientes, y que se debe recorrer en cada caso una distancia dada. En el caso de DINADEC, la distancia promedio fue determinada como la distancia promedio entre todos los

clientes a partir de sus latitudes y longitudes y el cómputo de la distancia del gran círculo. El valor obtenido fue 0.457Km.

Costos involucrados de operación

Distancia Recorrida por camión para realizar entregas. La distancia total recorrida es el producto de d_{prom} (la distancia promedio recorrida) y m_i : Número de clientes asignados a cada camión tipo i . Adicionalmente se tiene un factor de costo de uso de cada tipo de camión por kilómetro. e_i .

$$C_{Dist Rec i} = e_i \times d_{prom} \times m_i$$

Abastecimientos por camión. Cada abastecimiento de los camiones requiere dos desplazamientos desde el centro del área de distribución hasta el depósito o CD, dicha distancia es d_{cd} : Distancia Centro CD. De igual manera se calcula es costo de mano de obra involucrada en las tareas de llenado, para estimarlo se utiliza $c_{op cd}$: Costo de operación por segundo en el CD que es multiplicado por $t_{llenado i}$ (el tiempo de llenado de un camión tipo i). El número de abastecimientos es a_i .

$$C_{ab i} = (2 \times d_{cd} \times e_i + t_{llenado i} \times c_{op cd}) \times a_i$$

Costo salarios Equipo de entrega. Es proporcional al número de miembros del equipo de entrega p_i : Número de personas en equipo de entrega del camión tipo i . El factor c_{mo} es el costo diario promedio por miembro de equipo de entrega

$$C_{equipo\ i} = c_{mo} \times p_i$$

Costos transporte centro de distribución. Los centros de distribución no siempre son centros de producción. El modelo también considera los costos de transporte desde el centro de producción hasta el centro de distribución.

$$C_{cumb-cd} = 2e_c d_{cumb}$$

Costos totales. Los costos de abastecimiento y de equipo son calculados para un camión de manera que deben ser multiplicados por el total de camiones tipo i seleccionados: n_i : Número de camiones tipo i a operar.

$$CT = \sum_{i=1}^I \left((C_{ab\ i} + C_{equipo\ i}) n_i + C_{Dist\ Rec\ i} \right) + C_{cumb-cd}$$

Costos de inversión. Se asume que las instalaciones ya existen y sólo se estimará el costo de adquirir la flota vehicular. El costo de cada vehículo tipo i es q_i

$$CV = \sum_{i=1}^I n_i \times q_i$$

Tiempo

Tiempo de traslado para abastecimiento. El tiempo de abastecimiento depende de la velocidad de viaje v_{viaje} de los camiones.

$$t_{abastecimiento\ i} = \frac{2d_{cd}}{v_{viaje}}$$

Tiempo de llenado de un camión i . Este parámetro apareció antes en la definición de costos de abastecimiento y depende de la capacidad en jabas (cajas) de cada vehículo tipo de vehículo c_i así como también del tiempo promedio en que una jaba tarda en ser almacenada en un vehículo $t_{llen\ jaba}$.

$$t_{llenado\ i} = c_i \times t_{llen\ jaba}$$

Tiempo de parqueo por camión. Se calcula como el producto de un tiempo de parqueo por un factor de corrección proporcional al tamaño de cada tipo de camión i .

$$t_{parqueo\ i} = t_{parq} \times f_i$$

t_{cli} es el tiempo de entrega por cliente (parámetro)

Tiempo de viaje entre clientes

$$t_{viaje} = \frac{d_{prom}}{v_{prom}}$$

Tiempo total de operación por camión

$$tt_i = (t_{llenado\ i} + t_{abastecimiento\ i}) \times a_i + (t_{parqueo\ i} + t_{cli} + t_{viaje}) \times \frac{m_i}{n_i}$$

Tiempo total de operación

$$tt = \max(tt_i) \quad i = 1, 2, \dots, I$$

Otros

Número de clientes asignados a cada camión tipo i

$$m_i = \left\lceil \frac{Nn_i c_i}{\sum_{i=1}^I n_i c_i} \right\rceil$$

Total veces que camiones son abastecidos.

$$a_i = \left\lceil \frac{y_i N v}{\sum_{i=1}^I n_i c_i} \right\rceil$$

Es importante notar que $a_i = \left\lceil \frac{m_i}{n_i c_i} \times v \right\rceil$ con $n_i \neq 0$. Sin embargo dado que n_i será cero para algún tipo de camión, se introduce la variable binaria y_i que es igual a 1 si al menos un camión tipo i operará en la solución final.

Restricciones

$$M y_i \geq n_i$$

$$\sum_{i=1}^I n_i > 0$$

$$t t \leq TMAX$$

$$a_i = \left\lceil \frac{m_i \times v}{c_i} \right\rceil$$

$$CV \leq INV MAX$$

$$n_i \in \mathbb{N}_0, y_i \in \{0,1\}$$

Modelo resumido

Realizando diversas sustituciones, se obtiene el siguiente modelo resumido en función de los parámetros y variables de decisión.

$$\begin{aligned} \mathbf{Min} \text{ } CT = & \left(\sum_{i=1}^I \left((2d_{cd}e_i + c_i t_{llenjaba} c_{opcd}) \frac{NVy_i}{\sum_{i=1}^I n_i c_i} + c_{mop_i} \right) n_i + \frac{e_i d_{prom} N n_i c_i}{\sum_{i=1}^I n_i c_i} \right) \\ & + 2e_c d_{cumb} \end{aligned} \quad (3)$$

s.a.

$$tt \leq TMAX$$

$$tt = \max\{tt_i, i = 1, 2, \dots, I\}$$

$$tt_i = \left(c_i t_{llenjaba} + \frac{2d_{cd}}{v_{prom}} \right) \frac{NVy_i}{\sum_{i=1}^I n_i c_i} + \left(t_{parq} \times f_i + t_{cli} + \frac{d_{prom}}{v_{prom}} \right) \times \frac{Nc_i y_i}{\sum_{i=1}^I n_i c_i}$$

$$CV \leq INV \text{ } MAX$$

$$n_i \in \mathbf{N}_0, y_i \in \{0,1\}$$

Modificaciones del modelo para los Modelos 1, 2, y 3 de Diseño de Red.

El Modelo de Costos de Diseño de Red sufre ligeras modificaciones para adaptarse a los distintos esquemas de red. Los cambios están dados en ciertas restricciones y en algunos parámetros del modelo. La tabla muestra los parámetros utilizados en los modelos y las restricciones que se modifican se muestran a continuación:

En el modelo 1 se agrega una restricción de tamaño de vehículo haciendo que $c_i \leq 144 \text{ cajas}$ Para los modelos 2 y 3, se restringe el número de abastecimientos, $a_i \leq 1$. Esto implica que los camiones sólo podrán abastecerse de producto al inicio

de la ruta. En el modelo 3 no se incluye costos de operaciones porque forma parte de las operaciones de CN, es decir: $c_{op\ cd} = 0$. Adicionalmente se excluyen los costos de viaje al CD en Cumbayá de la operación diaria (cuentan como costos de abastecimiento) $C_{cumb-cd} = 0$.

Parámetros utilizados

Modelo 1. CD CHQ			
i	1	2	Unidades
c_i	72	144	Cajas
e_i	7.13E-04	7.19E-04	Dólares/metro
e_c	7.13E-04		Dólares/metro
d_{cumb}	15000		Metros
$t_{llen\ jaba}$	8.33		Segundos
$c_{op\ cd}$	2.84E-03		Dólares/segundo
N	75		Clientes
V	5		Jabas
t_{parq}	60		Segundos
d_{prom}	500		Metros
v_{prom}	4.17		Metros/Segundo
f_i	1	1.1	
t_{cli}	120		Segundos
c_{mo}	18.67		Dólares/día
p_i	3		Personas
d_{cd}	2000		metros
q_i	15000	25000	Dólares/Camión
$TMAX$	36000		Segundos
$INV\ MAX$	140000		Dólares

Tabla 7.4-1. Parámetros utilizados en el Modelo de Costos de Diseño de Red para el Modelo 1. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Modelo 2. CrossDock CHQ						
i	1	2	3	4	5	Unidades
c_i	72	144	288	360	432	Cajas
e_i	7.13E-04	7.19E-04	7.19E-04	7.19E-04	7.19E-04	Dólares/metro
e_c	7.13E-04					Dólares/metro
d_{cumb}	1.50E+04					Metros
$t_{llenjaba}$	8.33					Segundos
c_{opcd}	2.84E-03					Dólares/segundo
N	75					Clientes
V	5					Jabas
t_{parq}	60					Segundos
d_{prom}	500					Metros
v_{prom}	4.17					Metros/Segundo
f_i	1	1.1	1.15	1.2	1.25	
t_{cli}	120					Segundos
c_{mo}	18.67					Dólares/día
p_i	3					Personas
d_{cd}	2000					metros
q_i	15000	25000	35000	45000	50000	Dólares/Camión
$TMAX$	36000					Segundos
$INV MAX$	140000					Dólares

Tabla 7.4-2. Parámetros utilizados en el Modelo de Costos de Diseño de Red para el Modelo de CrossDock cercano al CHQ. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Modelo 3. Directo Cumbayá						
i	1	2	3	4	5	Unidades
c_i	72	144	288	360	432	Cajas
e_i	7.13E-04	7.19E-04	7.19E-04	7.19E-04	7.19E-04	Dólares/metro
$e_{c'}$	No aplica					
d_{cumb}	No aplica					
$t_{llen\ jaba}$	8.33					Segundos
$c_{op\ cd}$	No aplica					Dólares/segundo
N	75					Clientes
V	5					Jabas
t_{parq}	60					Segundos
d_{prom}	500					Metros
v_{prom}	4.17					Metros/Segundo
f_i	1	1.1	1.15	1.2	1.25	
t_{cli}	120					Segundos
c_{mo}	18.67					Dólares/día
p_i	3					Personas
d_{cd}	2000					metros
q_i	15000	25000	35000	45000	50000	Dólares/Camión
$TMAX$	36000					Segundos
$INV\ MAX$	140000					Dólares

Tabla 7.4-3. Parámetros utilizados en el Modelo de Costos del Diseño de Red para el Modelo de envío directo desde Cumbayá. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Resolución del Modelo

El Modelo de Costos pertenece a la categoría de modelos no lineales tal como lo indica la ecuación (3) en la pág. 158. La expresión de la forma $\frac{x_i}{\sum c_i x_i}$ muestra claramente una expresión no lineal. De igual manera, muchas de las restricciones son no lineales. Se utilizó LINGO para hallar una solución óptima con una tolerancia de 2e-007 para el algoritmo de ramas y cotas. La Figura 7.4-1, Figura 7.4-2 y Figura

7.4-3 son capturas de pantalla indicando la estructura del modelo en LINGO. Las variables x, y, z, w, u corresponden a las variables n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 , mientras que las variables x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 corresponden a y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 . Los factores numéricos se hallan mediante sustitución directa utilizando los parámetros de las tablas antes descritas.

Por otro lado, la Figura 7.4-4 muestra los resultados en Lingo para los 3 modelos de red. El esquema de red (modelo 3) es el más óptimo en términos de costo operativo y la solución requiere un camión de 6 toneladas. Es importante señalar también que en cada caso, la solución óptima apuntó hacia el camión de mayor tamaño. Esto se debe a que los camiones de menor tamaño requerían en muchos de los casos realizar más reabastecimientos para poder completar la ruta prevista. Es importante considerar además que dentro de la estructura de costos, los relacionados con mano de obra constituyeron cerca del 50% de los costos totales, esto llevaba a que el modelo minimice el número de vehículos de cada tipo a seleccionar.

```
Min = (56*x+56*y+
(1924.105263*x+3882*y) / (72*x+144*y) +
(1708.151914*x*x1+2356.742424*y*x2) / (72*x+144*y) +15000*0.000718889*2;);

x+y>=1;
x1+x2>=1;

2205000*x1/ (72*x+144*y)<=36000;
4114800*x2/ (72*x+144*y)<=36000;

@gin(x);
@gin(y);
@gin(z);
@gin(w);
@gin(u);
@bin(x5);
@bin(x4);
@bin(x3);
@bin(x2);
@bin(x1);
x1*1000>x;
x2*1000>y;
x3*1000>z;
x4*1000>w;
x5*1000>u;
```

Figura 7.4-1. Captura de pantalla de Lingo con con el planteamiento del Modelo 1. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

```

Min = (56*x+56*y+56*z+56*w+56*u+
(1924.105263*x+3882*y+7764*z+9705*w+11646*u) / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) +
(1708.151914*x*x1+2356.742424*y*x2+3635.151515*z*x3+4274.356061*w*x4+4913.560606*u*x5) / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) );

x+y+z+w+u>=1;
x1+x2+x3+x4+x5>=1;

2205000*x1 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;
4114800*x2 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;
7934400*x3 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;
9909000*x4 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;
11916000*x5 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;

75*5<=1*(72*x+144*y+288*z+360*w+432*u);
@gin(x);
@gin(y);
@gin(z);
@gin(w);
@gin(u);
@bin(x5);
@bin(x4);
@bin(x3);
@bin(x2);
@bin(x1);
x1*1000>x;
x2*1000>y;
x3*1000>z;
x4*1000>w;
x5*1000>u;

```

Figura 7.4-2. Captura de pantalla de Lingo con el planteamiento del Modelo de Diseño de Red 2. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

```

Min = (56*x+56*y+56*z+56*w+56*u+
(1924.105263*x+3882*y+7764*z+9705*w+11646*u) / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) +
(8656.309809*x*x1+9365.909091*y*x2+10644.31818*x*x3+11283.52273*w*x4+11922.72727*u*x5) / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) );

x+y+z+w+u>=1;
x1+x2+x3+x4+x5>=1;

4545000*x1 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;
6454800*x2 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;
10274400*x3 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;
12249000*x4 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;
14256000*x5 / (72*x+144*y+288*z+360*w+432*u) <=36000;

75*5<=1*(72*x+144*y+288*z+360*w+432*u);
@gin(x);
@gin(y);
@gin(z);
@gin(w);
@gin(u);
@bin(x5);
@bin(x4);
@bin(x3);
@bin(x2);
@bin(x1);
x1*1000>x;
x2*1000>y;
x3*1000>z;
x4*1000>w;
x5*1000>u;

```

Figura 7.4-3. Captura de pantalla de Lingo con el planteamiento del Modelo de Diseño de Red 3. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Modelo 1		
Local optimal solution found.		
Objective value:		120.8913
Objective bound:		120.8913
Infeasibilities:		0.000000
Extended solver steps:		0
Total solver iterations:		5
Variable	Value	Reduced Cost
X	0.000000	-9.118780
Y	1.000000	0.000000
X1	0.000000	0.000000
X2	1.000000	1636628.

Modelo 2			Modelo 3		
Local optimal solution found.			Local optimal solution found.		
Objective value:	115.8990		Objective value:		110.5572
Objective bound:	115.8990		Objective bound:		110.5572
Infeasibilities:	0.000000		Infeasibilities:		0.000000
Extended solver steps:	0		Extended solver steps:		0
Total solver iterations:	5		Total solver iterations:		5
Variable	Value	Reduced Cost	Variable	Value	Reduced Cost
X	0.000000	6.785276	X	0.000000	16.52022
Y	0.000000	5.118288	Y	0.000000	12.41950
Z	0.000000	1.706096	Z	0.000000	4.139833
W	0.000000	0.000000	W	0.000000	0.000000
U	1.000000	9.667889	U	1.000000	23.45908
X1	0.000000	0.000000	X1	0.000000	0.000000
X2	0.000000	0.000000	X2	0.000000	0.000000
X3	0.000000	0.000000	X3	0.000000	0.000000
X4	0.000000	0.000000	X4	0.000000	0.000000
X5	1.000000	1137398.	X5	1.000000	2759891.

Figura 7.4-4. Resolución de los 3 modelos en Lingo. Algunos datos han sido removidos de la captura de pantalla por motivos de espacio. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

7.5 Anexo 5. Escala de importancia relativa para comparaciones pareadas utilizadas en AHP (Saaty, Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process, 1986)

<i>Scale of Relative Importance</i>		
Intensity of Relative Importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective.
3	Moderate importance of one over another	Experience and judgment slightly favor one activity over another.
5	Essential or strong importance	Experience and judgment strongly favor one activity over another.
7	Demonstrated importance	An activity is strongly favored and its dominance is demonstrated in practice.
9	Extreme importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation.
2, 4, 6, 8	Intermediate values between the two adjacent judgments	When compromise is needed.
Reciprocals of above non-zero numbers	If an activity has one of the above numbers assigned to it when compared with a second activity, then the second activity has the reciprocal value when compared to the first.	
Rationals	Ratios arising from the scale	If consistency were to be forced by obtaining n numerical values to span the matrix.

REMARK. When only two objects are compared it may be desirable to expand the interval 1, 2 (from equal to slight importance) by inserting the values, 1.1, 1.2, . . . , 1.9, starting with 1.1 as very slight, 1.2 as slight, 1.3 as moderate, etc.

7.6 Anexo 6. Listado de las posibles zonas de carga y descarga en el polígono de estudio del CHQ

En la tabla a continuación se resaltan de color gris los lugares que actualmente han sido designados como zonas de carga y descarga en el CHQ.

# Lugar	Dirección	Latitud	Longitud
1	Montúfar entre Mejía y Chile	0°13'15.74"S	78°30'32.03"O
2	Espejo entre Flores y Montúfar	0°13'19.19"S	78°30'36.62"O
3	Montúfar entre Texiera y Junín	0°13'24.00"S	78°30'38.23"O
4	Texiera y Montúfar esquina	0°13'24.54"S	78°30'39.78"O
5	Pereira y Montúfar	0°13'25.40"S	78°30'40.37"O
6	Rocafuerte y Montúfar Oeste	0°13'30.09"S	78°30'43.79"O
7	Rocafuerte y Montúfar Este	0°13'31.05"S	78°30'43.03"O
8	Paredes y Rocafuerte	0°13'33.20"S	78°30'43.93"O
9	Maldonado entre 24 de Mayo y Rocafuerte	0°13'32.67"S	78°30'46.04"O
10	Maldonado entre 24 de Mayo y Rocafuerte	0°13'30.85"S	78°30'46.31"O
11	Morales y Paredes	0°13'34.36"S	78°30'45.82"O
12	Guayaquil y Morales (dentro de La Ronda)	0°13'28.51"S	78°30'50.45"O
13	Morales entre García Moreno y Benalcázar	0°13'23.61"S	78°30'57.75"O
14	Guayaquil entre Bolívar y Rocafuerte	0°13'24.49"S	78°30'47.09"O
15	Rocafuerte entre García Moreno y Venezuela	0°13'22.55"S	78°30'52.06"O
16	Bolívar y Venezuela esquina este	0°13'21.75"S	78°30'48.28"O
17	Bolívar y Venezuela esquina oeste	0°13'21.09"S	78°30'49.00"O
18	Venezuela y Bolívar esquina	0°13'20.83"S	78°30'48.49"O
19	Rocafuerte entre García Moreno y Benalcázar	0°13'19.88"S	78°30'55.51"O
20	Benalcázar entre Rocafuerte y Morales	0°13'21.14"S	78°30'57.40"O
21	Sucre entre Guayaquil y Flores	0°13'22.13"S	78°30'43.23"O
22	Mejía entre Flores y Guayaquil	0°13'12.65"S	78°30'34.37"O
23	Olmedo entre Guayaquil y Venezuela	0°13'8.79"S	78°30'35.36"O
24	Olmedo entre Venezuela y García Moreno	0°13'6.78"S	78°30'38.09"O
25	Manabí entre Venezuela y García Moreno	0°13'4.43"S	78°30'36.66"O
26	Vargas entre Manabí y Esmeraldas	0°13'6.69"S	78°30'32.67"O
27	Esmeraldas entre Vargas y Venezuela	0°13'4.15"S	78°30'32.11"O
28	Esmeraldas entre Vargas y Guayaquil	0°13'5.93"S	78°30'29.95"O
29	García Moreno entre Manabí y Olmedo	0°13'4.25"S	78°30'38.85"O
30	García Moreno entre Esmeraldas y Manabí	0°13'2.07"S	78°30'36.84"O
31	Olmedo entre Benalcázar y García Moreno	0°13'4.84"S	78°30'40.85"O
32	Benalcázar entre Olmedo y Mejía	0°13'4.94"S	78°30'43.48"O
33	García Moreno entre Olmedo y Mejía	0°13'6.65"S	78°30'40.77"O
34	Bolívar entre García Moreno y Benalcázar	0°13'17.71"S	78°30'53.26"O
35	Sucre entre Cuenca y Benalcázar	0°13'12.86"S	78°30'52.61"O
36	Rocafuerte entre Imbabura y Cuenca	0°13'16.66"S	78°30'59.77"O
37	Imbabura entre Rocafuerte y Bolívar	0°13'14.00"S	78°31'1.40"O
38	Bolívar entre Imbabura y Cuenca	0°13'13.39"S	78°30'59.22"O
39	Rocafuerte entre Imbabura y Chimborazo	0°13'13.46"S	78°31'3.92"O
40	Bolívar entre Imbabura y Chimborazo	0°13'11.11"S	78°31'2.44"O
41	Rocafuerte entre Quiroga y Chimborazo	0°13'10.03"S	78°31'8.48"O
42	Bolívar entre Quiroga y Chimborazo	0°13'9.09"S	78°31'5.06"O
43	Mideros entre Chimborazo e Imbabura	0°13'4.97"S	78°30'58.23"O
44	Chimborazo entre Mideros y Chile	0°13'2.61"S	78°30'57.60"O
45	Chimborazo entre Chile y Hermano Miguel	0°13'0.26"S	78°30'55.74"O
46	Hermano Miguel y José López	0°12'55.97"S	78°30'58.73"O
47	El Tejar y José López	0°12'54.48"S	78°30'58.33"O
48	Mejía y José López	0°12'53.86"S	78°30'57.09"O
49	Mejía entre José López y Mires	0°12'55.90"S	78°30'55.43"O
50	Mires entre Mejía y Olmedo	0°12'57.06"S	78°30'52.67"O
51	Imbabura entre Mejía y Olmedo	0°12'59.13"S	78°30'50.98"O
52	Cotopaxi entre Mejía y Olmedo	0°13'1.16"S	78°30'48.59"O
53	Imbabura entre Olmedo y Manabí	0°12'56.52"S	78°30'48.73"O
54	Cotopaxi entre Olmedo y Manabí	0°12'58.57"S	78°30'46.32"O
55	Cuenca entre Olmedo y Manabí	0°13'0.49"S	78°30'43.83"O
56	Manabí entre Cuenca y Benalcázar	0°13'0.27"S	78°30'41.50"O

7.7 Anexo 7. Determinación de Coordenadas de ubicación de clientes bajo la Geometría del Taxista

El uso de coordenadas geográficas para modelos de selección de rutas de corta distancia es poco conveniente debido a que dicha la distancia del gran arco considera desplazamientos a través de un arco directo entre los puntos y esto no sucede en la práctica. En la sección 1.5.3 se hizo referencia a algunos tipos de geometrías para calcular distancias. La geometría del taxista permite calcular distancias mediante desplazamientos únicamente en líneas horizontales y verticales siendo estas perpendiculares entre sí. El diseño colonial cuadriculado del CHQ requiere justamente esta geometría para poder determinar distancias recorridas entre dos puntos.

El primer paso llevado a cabo fue identificar la estructura de cuadrícula del CHQ dentro del polígono considerado. En la Figura 4.2-6 (pág. 76) se muestra el polígono de definición del CHQ. A partir de dicho perímetro se determinó la estructura cuadrangular que se indica en la Figura 7.7-1. Se elaboró un listado con las avenidas principales enumeradas tanto horizontal como verticalmente. Se identificaron ciertas calles secundarias que aparecen en la figura con tonos más claros (naranja y celeste). Además se midió la distancia entre cada una de las líneas-vías principales (números enteros) utilizando GoogleEarth. Cada avenida está asociada a una de las líneas verticales u horizontales de la Figura 7.7-1. De esta manera se tiene un par de coordenadas exactas para cada intersección. La Tabla 7.7-1 muestra cada una de las calles con el número de línea correspondiente. Se usó números fraccionarios para las vías secundarias.

Las direcciones de los clientes están dadas por intersecciones de calles. Se desconoce la posición exacta de los clientes, pero se sabe que sus direcciones son correctas (son de hecho la principal información de referencia para líderes de ruta). Se descompuso la dirección en función de sus dos calles y se asoció el código respectivo de acuerdo a la Tabla 7.7-1. El mismo argumento fue aplicado para los 56 posibles lugares de parqueo identificados en la sección 4.4.2 (pág. 108). La Tabla 7.7-2 y la Tabla 7.7-3 muestran respectivamente las coordenadas obtenidas de acuerdo a este procedimiento para los clientes y zonas de parqueo posibles.

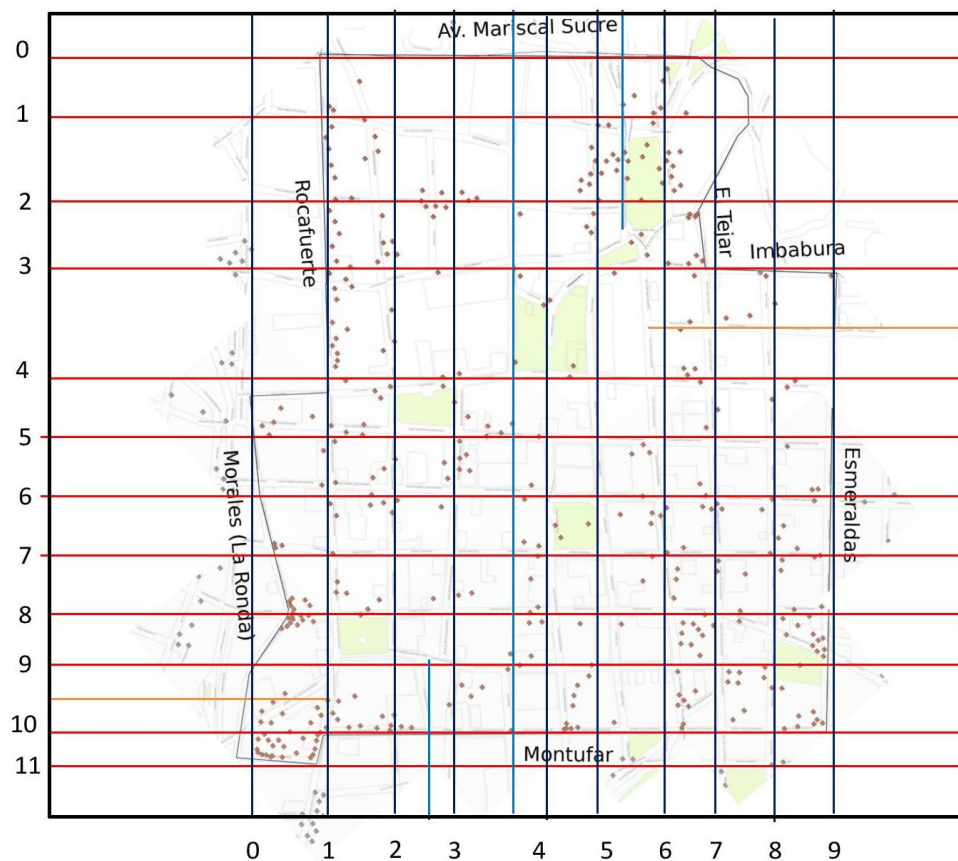


Figura 7.7-1. Cuadrícula del polígono de trabajo del CHQ. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Calle	Sentido	Número	x (m)	Calle	Sentido	Número	y (m)
Morales	Vertical	0	0.00	Mariscal S	Horizontal	0	1207.25
Rocafuerte	Vertical	1	98.00	Quiroga	Horizontal	1	1157.40
Bolivar	Vertical	2	192.43	Jose Lope	Horizontal	1	1157.40
Pereira	Vertical	2.5	246.38	Chimbora	Horizontal	2	1034.53
Sucre	Vertical	3	300.33	Mires	Horizontal	2	1034.53
Alianza	Vertical	3	300.33	Imbabura	Horizontal	3	938.41
Milagros	Vertical	3	300.33	Cotopaxi	Horizontal	3.5	890.64
Texiera	Vertical	3	300.33	Cuenca	Horizontal	4	842.87
Junin	Vertical	3.5	380.14	Benalcaza	Horizontal	5	746.15
Mideros	Vertical	3.5	420.04	Garcia Mo	Horizontal	6	654.11
Espejo	Vertical	4	459.94	Venezuel	Horizontal	7	558.75
Chile	Vertical	5	545.41	Guayaquil	Horizontal	8	368.31
Hermano Miguel	Vertical	5.5	591.84	Vargas	Horizontal	8	309.80
Mejia	Vertical	6	638.27	Flores	Horizontal	9	251.29
El Tejar	Vertical	6	638.27	Maldonad	Horizontal	9.5	189.44
Olmedo	Vertical	7	733.61	Montufar	Horizontal	10	127.59
Manabi	Vertical	8	825.92	Paredes	Horizontal	11	0.00
Esmeraldas	Vertical	9	918.52				

Tabla 7.7-1. Calles y sus respectivas coordenadas para la transformación a coordenadas de la geometría del taxista. **Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes**

Cod.	X (m)	Y (m)	Cod.	X (m)	Y (m)	Cod.	X (m)	Y (m)	Cod.	X (m)	Y (m)	Cod.	X (m)	Y (m)	Cod.	X (m)	Y (m)
C1	825.9	127.6	C64	825.9	251.3	C127	192.4	368.3	C189	733.6	368.3	C251	825.9	558.8	C315	918.5	127.6
C2	192.4	1034.5	C65	98.0	127.6	C128	0.0	189.4	C190	825.9	251.3	C252	192.4	368.3	C316	0.0	746.2
C3	98.0	1034.5	C66	192.4	938.4	C129	98.0	558.8	C191	98.0	938.4	C253	733.6	251.3	C317	918.5	938.4
C4	638.3	1157.4	C67	0.0	368.3	C130	0.0	0.0	C192	545.4	558.8	C254	638.3	1157.4	C318	192.4	746.2
C5	98.0	938.4	C68	192.4	938.4	C131	192.4	842.9	C193	0.0	189.4	C255	0.0	746.2	C319	300.3	1034.5
C6	638.3	127.6	C69	638.3	251.3	C132	638.3	746.2	C194	98.0	654.1	C256	0.0	368.3	C320	638.3	938.4
C7	638.3	1207.3	C70	98.0	127.6	C133	300.3	558.8	C195	918.5	654.1	C257	192.4	842.9	C321	98.0	1034.5
C9	192.4	746.2	C71	459.9	127.6	C134	825.9	251.3	C196	591.8	1157.4	C258	98.0	1034.5	C322	825.9	558.8
C10	98.0	938.4	C72	98.0	1157.4	C135	192.4	842.9	C197	733.6	938.4	C259	545.4	251.3	C323	300.3	938.4
C11	825.9	558.8	C73	638.3	654.1	C136	98.0	558.8	C198	545.4	1034.5	C260	98.0	0.0	C324	98.0	1157.4
C12	638.3	558.8	C74	733.6	746.2	C137	300.3	368.3	C199	545.4	1157.4	C261	300.3	746.2	C325	733.6	890.6
C13	0.0	368.3	C75	591.8	1157.4	C138	300.3	1034.5	C200	192.4	938.4	C262	98.0	127.6	C326	918.5	368.3
C14	192.4	842.9	C76	98.0	842.9	C139	98.0	1034.5	C201	98.0	127.6	C263	638.3	127.6	C327	98.0	938.4
C15	0.0	558.8	C77	591.8	1157.4	C140	98.0	938.4	C202	420.0	1034.5	C264	459.9	368.3	C328	918.5	558.8
C16	0.0	0.0	C78	192.4	746.2	C141	300.3	654.1	C203	300.3	1034.5	C265	98.0	368.3	C329	192.4	1034.5
C17	98.0	189.4	C79	638.3	1034.5	C142	733.6	251.3	C204	98.0	127.6	C266	733.6	251.3	C330	918.5	558.8
C18	638.3	251.3	C80	918.5	368.3	C143	459.9	368.3	C205	98.0	0.0	C267	300.3	368.3	C331	300.3	1034.5
C19	733.6	654.1	C81	98.0	746.2	C144	545.4	558.8	C206	638.3	1157.4	C268	98.0	654.1	C332	459.9	251.3
C20	825.9	368.3	C82	300.3	654.1	C145	591.8	1157.4	C207	733.6	368.3	C270	98.0	654.1	C333	638.3	938.4
C21	192.4	746.2	C83	591.8	1157.4	C146	591.8	1157.4	C208	733.6	842.9	C271	918.5	368.3	C334	98.0	558.8
C22	192.4	558.8	C84	0.0	368.3	C147	591.8	1157.4	C209	0.0	558.8	C272	825.9	127.6	C335	246.4	127.6
C23	192.4	938.4	C85	0.0	558.8	C148	591.8	1157.4	C210	0.0	189.4	C273	545.4	1034.5	C336	459.9	127.6
C24	98.0	842.9	C86	0.0	654.1	C149	545.4	746.2	C211	459.9	251.3	C274	98.0	127.6	C337	300.3	127.6
C25	192.4	938.4	C87	825.9	654.1	C150	638.3	938.4	C212	192.4	1157.4	C275	545.4	251.3	C338	459.9	251.3
C26	733.6	251.3	C88	733.6	938.4	C151	98.0	1034.5	C213	98.0	0.0	C276	733.6	127.6	C339	98.0	558.8
C27	733.6	654.1	C89	825.9	368.3	C152	591.8	1157.4	C214	300.3	127.6	C277	638.3	654.1	C340	733.6	890.6
C28	733.6	938.4	C90	545.4	842.9	C153	591.8	1157.4	C215	192.4	938.4	C278	545.4	938.4	C341	380.1	251.3
C29	733.6	654.1	C91	733.6	251.3	C154	591.8	1157.4	C216	300.3	1034.5	C279	300.3	746.2	C343	638.3	890.6
C30	300.3	746.2	C92	591.8	1157.4	C155	591.8	1157.4	C217	98.0	1034.5	C280	545.4	251.3	C344	98.0	127.6
C31	0.0	189.4	C93	0.0	368.3	C156	591.8	1157.4	C218	918.5	127.6	C281	380.1	251.3	C345	192.4	1034.5
C32	98.0	1034.5	C94	0.0	368.3	C157	591.8	1157.4	C219	825.9	654.1	C282	300.3	654.1	C346	825.9	938.4
C33	0.0	368.3	C95	0.0	558.8	C158	545.4	938.4	C220	733.6	938.4	C283	733.6	368.3	C347	0.0	368.3
C34	0.0	368.3	C96	300.3	127.6	C159	591.8	1157.4	C221	98.0	127.6	C284	638.3	251.3	C348	0.0	558.8
C35	300.3	746.2	C97	591.8	1157.4	C160	591.8	1157.4	C222	98.0	938.4	C285	733.6	1034.5	C349	300.3	368.3
C36	733.6	842.9	C98	638.3	368.3	C161	591.8	1157.4	C223	591.8	1157.4	C286	825.9	558.8	C350	192.4	1157.4
C37	545.4	746.2	C99	420.0	842.9	C162	545.4	127.6	C224	733.6	368.3	C287	98.0	189.4	C351	246.4	251.3
C38	825.9	842.9	C100	825.9	842.9	C163	591.8	1157.4	C225	98.0	1157.4	C288	591.8	1157.4	C352	825.9	842.9
C39	98.0	368.3	C101	733.6	654.1	C164	98.0	1034.5	C226	918.5	368.3	C289	98.0	938.4	C353	420.0	1034.5
C40	825.9	558.8	C102	459.9	558.8	C165	545.4	746.2	C227	0.0	746.2	C290	300.3	127.6	C354	545.4	1157.4
C41	638.3	558.8	C103	0.0	189.4	C166	591.8	1157.4	C228	98.0	0.0	C291	192.4	368.3	C355	0.0	368.3
C42	98.0	654.1	C104	0.0	368.3	C167	733.6	842.9	C229	733.6	842.9	C292	0.0	189.4	C356	545.4	1157.4
C43	300.3	251.3	C105	98.0	127.6	C168	300.3	842.9	C230	98.0	842.9	C293	825.9	368.3	C357	192.4	1157.4
C44	459.9	558.8	C106	0.0	189.4	C169	545.4	938.4	C231	98.0	0.0	C294	98.0	1157.4	C358	98.0	127.6
C45	380.1	251.3	C107	918.5	127.6	C170	0.0	189.4	C232	918.5	127.6	C295	192.4	746.2	C359	638.3	1157.4
C46	0.0	368.3	C108	192.4	842.9	C171	733.6	654.1	C233	0.0	368.3	C296	459.9	127.6	C360	300.3	1034.5
C47	192.4	368.3	C109	300.3	558.8	C172	591.8	1157.4	C234	300.3	558.8	C297	825.9	127.6	C361	545.4	1157.4
C48	638.3	251.3	C110	0.0	189.4	C173	0.0	558.8	C235	459.9	368.3	C298	825.9	558.8	C362	300.3	127.6
C49	638.3	558.8	C111	0.0	189.4	C174	98.0	0.0	C236	591.8	1157.4	C299	300.3	127.6	C363	545.4	127.6
C50	300.3	654.1	C112	98.0	654.1	C175	0.0	189.4	C237	918.5	368.3	C300	300.3	746.2	C364	98.0	842.9
C51	0.0	368.3	C113	638.3	654.1	C176	638.3	842.9	C238	918.5	368.3	C302	918.5	368.3	C365	98.0	938.4
C52	545.4	746.2	C114	300.3	368.3	C177	733.6	368.3	C239	638.3	1157.4	C303	300.3	558.8	C366	638.3	558.8
C53	825.9	368.3	C115	300.3	842.9	C178	0.0	368.3	C240	192.4	1034.5	C304	459.9	127.6	C367	638.3	938.4
C54	0.0	368.3	C116	638.3	127.6	C179	0.0	558.8	C241	825.9	251.3	C305	98.0	746.2	C368	825.9	746.2
C55	0.0	558.8	C117	98.0	558.8	C180	300.3	1034.5	C242	545.4	558.8	C306	0.0	746.2	C369	918.5	654.1
C56	0.0	368.3	C118	0.0	368.3	C181	0.0	558.8	C243	545.4	368.3	C307	459.9	746.2	C370	825.9	938.4
C57	0.0	368.3	C119	545.4	558.8	C182	0.0	368.3	C244	459.9	251.3	C308	825.9	127.6	C371	825.9	654.1
C58	591.8	1157.4	C120	638.3	368.3	C183	0.0	368.3	C245	98.0	746.2	C309	0.0	558.8	C372	0.0	842.9
C59	591.8	1157.4	C121	192.4	938.4	C184	0.0	189.4	C246	0.0	368.3	C310	300.3	842.9	C373	545.4	1034.5
C60	0.0	746.2	C122	300.3	938.4	C185	0.0	368.3	C247	300.3	558.8	C311	192.4	938.4	C374	733.6	1034.5
C61	733.6	1034.5	C123	300.3	1034.5	C186	300.3	654.1	C248	300.3	746.2	C312	300.3	1034.5	C375	0.0	368.3
C62	459.9	127.6	C124	825.9	558.8	C187	0.0	368.3	C249	192.4	746.2	C313	459.9	127.6	C376	733.6	1034.5
C63	0.0	558.8	C125	733.6	938.4	C188	733.6	890.6	C250	192.4	654.1	C314	733.6	842.9			

Tabla 7.7-2. Coordenadas para los 371 clientes de CN en la geometría del taxista. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova

Lugar	X (m)	Y (m)	Lugar	X (m)	Y (m)	Lugar	X (m)	Y (m)	Lugar	X (m)	Y (m)
L1	591.8	127.6	L15	98.0	606.4	L29	872.2	654.1	L43	866.8	986.5
L2	459.9	189.4	L16	192.4	558.8	L30	872.2	654.1	L44	866.8	1034.5
L3	340.2	127.6	L17	192.4	558.8	L31	733.6	700.1	L45	723.1	1034.5
L4	300.3	127.6	L18	192.4	558.8	L32	685.9	746.2	L46	591.8	1157.4
L5	246.4	127.6	L19	98.0	700.1	L33	685.9	654.1	L47	638.3	1157.4
L6	98.0	127.6	L20	49.0	746.2	L34	192.4	700.1	L48	638.3	1157.4
L7	98.0	127.6	L21	300.3	309.8	L35	300.3	794.5	L49	638.3	1096.0
L8	98.0	0.0	L22	638.3	309.8	L36	98.0	890.6	L50	685.9	1034.5
L9	98.0	189.4	L23	733.6	463.5	L37	145.2	938.4	L51	685.9	938.4
L10	98.0	189.4	L24	733.6	606.4	L38	192.4	890.6	L52	685.9	890.6
L11	0.0	0.0	L25	825.9	606.4	L39	98.0	986.5	L53	825.9	938.4
L12	0.0	368.3	L26	872.2	368.3	L40	192.4	986.5	L54	825.9	890.6
L13	0.0	700.1	L27	918.5	463.5	L41	98.0	1096.0	L55	825.9	842.9
L14	145.2	368.3	L28	918.5	368.3	L42	192.4	1096.0	L56	825.9	794.5

Tabla 7.7-3. Coordenadas (geometría del taxista) para las 56 zonas posibles de parqueo en el CHQ. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

7.8 Anexo 8. Modelo de selección asignación zonas de carga/descarga y clientes.

7.8.1 Definición del Modelo

El modelo de selección y asignación de zonas de carga y descarga y clientes busca asignar clientes a un determinado número de zonas de tal forma que se minimice la distancia recorrida desde la zona hacia cada uno de los clientes. El modelo realiza una suposición importante: Las zonas son cercanas entre sí de tal forma que el tiempo en ruta entre zonas es muy pequeño en comparación al tiempo de servicio a todos los clientes de cada zona. Esto hace que el tiempo en ruta entre zonas sea despreciable para el análisis.

Sean:

$i = 1,2,3, \dots, I$ las posibles zonas de carga y descarga

$j = 1,2,3, \dots, J$ los clientes o puntos de entrega

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si el cliente } j \text{ es asignado a la zona } i \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad \text{para } i = 1,2, \dots, I; j = 1,2, \dots, J$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{si la zona } i \text{ es seleccionada} \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad \text{para } i = 1,2, \dots, I$$

N El número máximo de zonas de carga y descarga a asignarse

M Un número positivo arbitrariamente grande

d_{ij} La distancia de acuerdo a alguna métrica entre el cliente j y la zona i

El modelo se define de la siguiente manera:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$M y_i \geq \sum_{j=1}^J x_{ij} \text{ para } i = 1, 2, \dots, I$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1 \text{ para } j = 1, 2, \dots, J$$

$$\sum_{i=1}^I y_i \leq N$$

La primera restricción (también conocida como restricción de la gran M) hace que la definición de la variable de decisión y_i se cumpla de manera lineal. La segunda restricción $\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1 \text{ para } j = 1, 2, \dots, J$ obliga a que cada uno de los clientes sea ubicado en exactamente una zona. Por último la tercera restricción $\sum_{i=1}^I y_i \leq N$ permite que sólo un conjunto de como máximo N zonas sea seleccionado dentro de la solución. Dado que todas las restricciones y la función objetivo son lineales, se trata de un modelo de programación lineal de asignación. Es importante señalar que el modelo tiene $I \times (J + 1)$ variables de decisión, todas ellas binarias.

7.8.2 Resolución del modelo para el caso de Cervecería Nacional con la Distancia del Gran Círculo

En el caso de Cervecería Nacional y su problema de distribución en el CHQ se tienen $I = 56$ zonas de carga y descarga, $J = 376$ clientes. Se ha establecido además de ello, $M = 1000$ y $N = 20$. Esto genera un total de $I \times (J + 1) = 56 \times (376 + 1) = 21112$ variables de decisión binarias. Al modelo anterior se agregó una restricción importante para obligar que los lugares 19, 34, 36, 37,38, 44 sean seleccionadas (ya que actualmente esas son zonas de carga y descarga permitidas en el CHQ). La distancia entre cada par de puntos está dada por la métrica del gran círculo y por la ecuación (1) (pág. 38) que se muestra a continuación.

$$d_{ij} = \text{ArcCos}(\text{Sin}(\text{lat}_j) \text{Sin}(\text{lat}_i) + \text{Cos}(\text{lat}_j) \text{Cos}(\text{lat}_i) * \text{Cos}(\text{long}_i - \text{long}_j)) \times 6371 \text{Km}$$

Debido a las dimensiones de la tabla, no puede mostrarse la matriz de asignación resultante del modelo. La Figura 7.8-1 muestra una captura de pantalla de los parámetros de construcción del Modelo de Open Solver. El tiempo de setup para el problema fue de 263.9 segundos (a un promedio de 80 variables por segundo), el programa logró una solución óptima con un margen de confianza del 5% en 3 minutos adicionales. La asignación óptima de los lugares y clientes se muestra en la Tabla 7.8-1. La distancia total recorrida (valor objetivo) para esta solución es de 34.1Km.

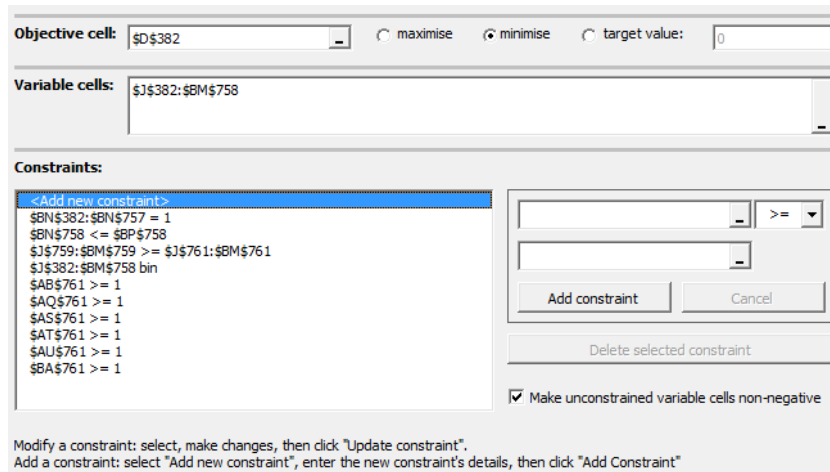


Figura 7.8-1. Captura de Pantalla en Open Solver para el Modelo de Asignación y Selección de Clientes y Zonas

L12: C182, C183, C187, C246, C265, C34, C355, C46, C51, C55, C57, C84.
L17: C104, C109, C114, C117, C127, C136, C137, C22, C234, C247, C252, C268, C270, C334, C338, C339, C39, C44, C47, C50
L19: C112, C194, C24, C245, C255, C305, C306, C316 C42, C60, C81, C88
L2: C143, C211, C235, C244, C264, C274 C281, C304, C313, C332, C336, C341, C349, C43, C62,
L22: C116, C120, C142, C149, C162, C165, C166, C179, C18, C189, C209, C242, C243, C253, C259, C263, C266, C275, C276, C280, C283, C284, C296, C363, C41, C48, C6, C67, C69, C91, C95, C98
L25: C11, C177, C195, C207, C219, C251, C26, C286, C322, C328, C330, C368, C369, C371, C40, C49, C52, C87
L28: C1, C107, C124, C134, C190, C20, C218, C224, C226, C232, C237, C238, C241, C271, C272, C293, C297, C298, C302, C308, C315, C326, C53, C64, C80, C89,
L33: C101, C102, C113, C119, C12, C144, C171, C19, C192, C27, C277, C29,

C299, C366, C73, C74
L34: C122, C133, C168, C227, C250, C303, C318, C9
L35: C115, C141, C186, C21, C248, C249, C261, C278, C279, C282, C291, C295, C30, C300, C307, C310, C35, C37, C78, C82, C90, C99,
L36: C10, C191, C230, C289, C364, C365, C372, C76
L37: C121, C132, C140, C200, C215, C222, C23, C25, C311, C32, C321, C327, C5, C66, C79
L38: C108, C257, C323, C68.
L42: C138, C139, C151, C164, C2, C212, C216, C217, C225, C240, C258, C294, C3, C312, C319, C324, C329, C331, C345, C350, C357, C360, C72
L44: C123, C131, C135, C14, C150, C153, C158, C163, C169, C180, C198, C199, C202, C203, C273, C333, C353, C356, C361, C373, C75
L49: C145, C146, C147, C148, C152, C154, C155, C156, C157, C159, C160, C161, C172, C196, C206, C223, C236, C239, C254, C285, C288, C354, C359, C367, C374, C4, C58, C59, C61, C7, C77, C83, C92, C97
L5: C118, C126, C13, C17, C204, C210, C214, C262, C267, C301, C335, C337, C347, C348, C351, C375, C45, C71, C85, C86, C96
L54: C100, C125, C167, C176, C188, C197, C208, C220, C229, C28, C314, C317, C320, C325, C340, C343, C346, C352, C36, C370, C376, C38
L6: C105, C201, C213, C221, C269, C287, C290, C344, C358, C362, C65, C70, C8

L8: C103, C106, C110, C111, C128, C129, C130, C15, C16, C170, C173, C174, C175, C178, C181, C184, C185, C193, C205, C228, C231, C233, C256, C260, C292, C309, C31, C33, C342, C54, C56, C63, C93, C94

Tabla 7.8-1. Zonas de carga y descarga seleccionadas y sus clientes asignados bajo la métrica del gran círculo..

Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes.

7.8.2.1 Visualización de la red diseñada

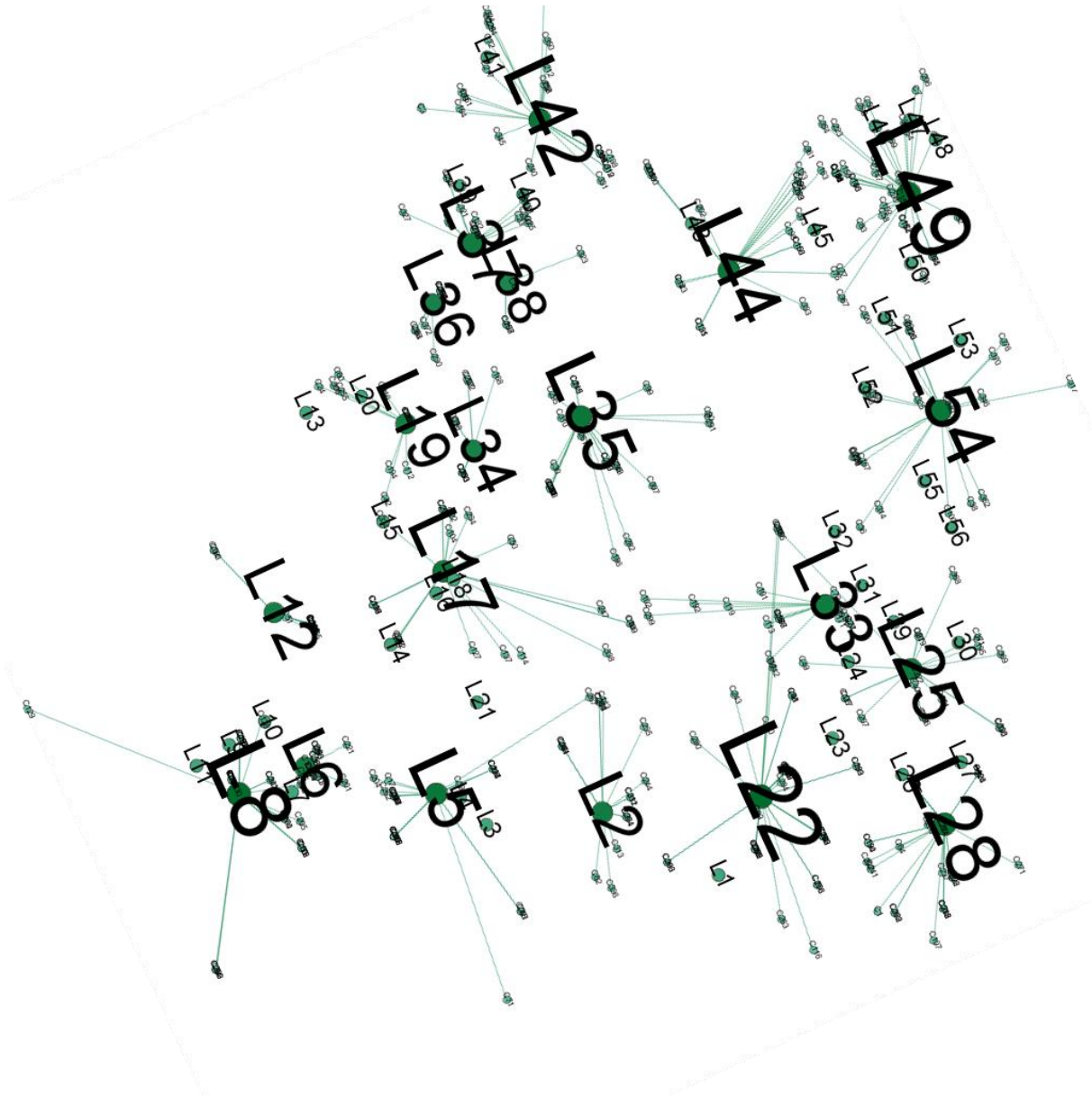


Figura 7.8-2. Grafo con las zonas de carga y descarga (L) y sus puntos de entrega respectivos (C). **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Se utilizó Gephi para mostrarla configuración de red de la solución actual en el mapa de clientes y zonas obtenido utilizando la geometría del taxista. Es interesante notar que a diferencia de lo que ocurre en la Figura 7.8-2, muchos arcos se entrecruzan entre sí y se identifican muchos nodos que no deberían corresponder a la zona a la

que fueron asignados por la solución del modelo bajo la métrica del gran círculo. Esto se debe a que muchas de las ubicaciones geográficas de los clientes eran erróneas, y al hecho de que los clientes y zonas fueron ubicados en las intersecciones de las avenidas y no en sus ubicaciones reales para simplificar el análisis al momento de generar las coordenadas de la métrica del taxista.

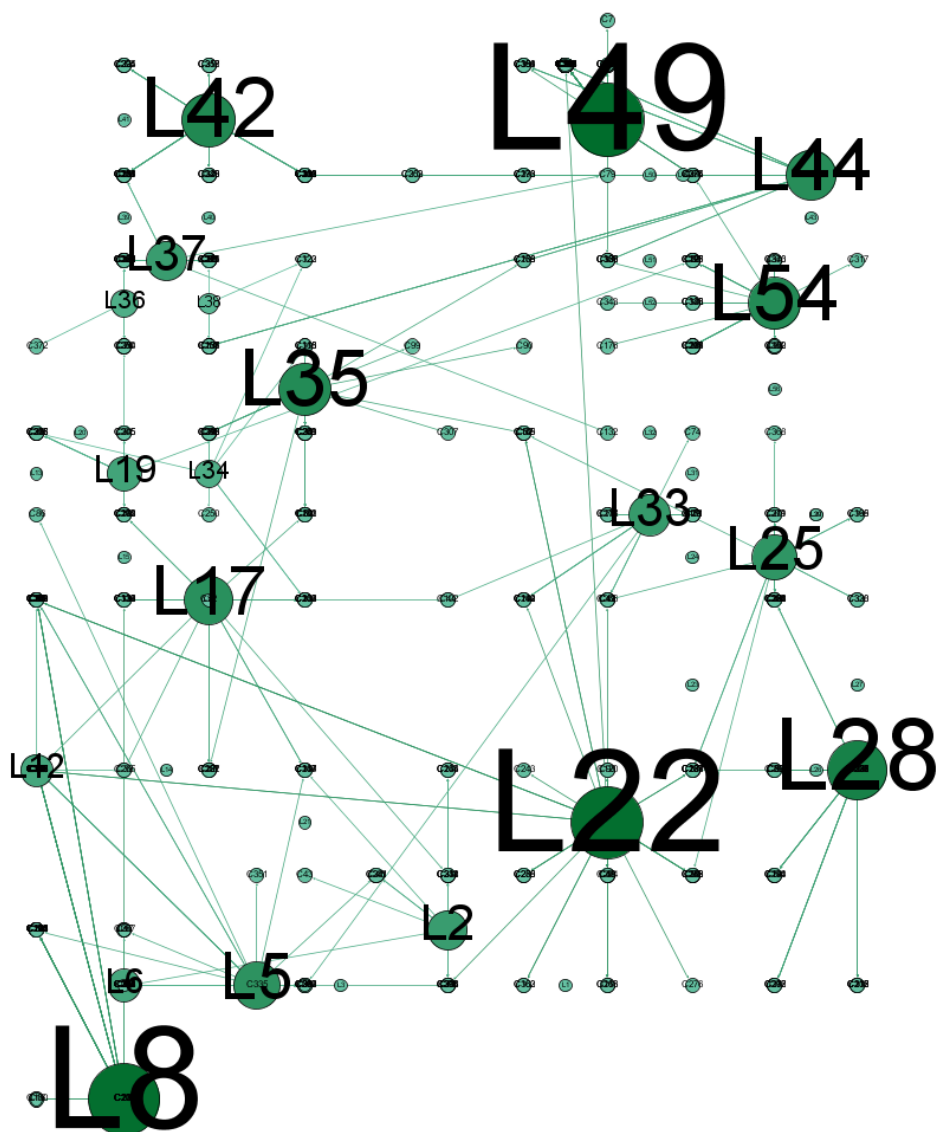


Figura 7.8-3. Solución al modelo de asignación de clientes a zonas representada en la red de la geometría del Taxista. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

7.8.3 Solución al modelo de asignación bajo la geometría del taxista

En el caso de Cervecería Nacional y su problema de distribución en el CHQ se tienen $I = 56$ zonas de carga y descarga, $J = 371$ clientes (se encontró que 5 de ellos no pertenecían al polígono del CHQ).. Se ha establecido además de ello, $M = 1000$ y $N = 20$. Esto genera un total de $I \times (J + 1) = 56 \times (371 + 1) = 20832$ variables de decisión binarias. Al modelo anterior se agregó una restricción importante para obligar que los lugares 19, 34, 36, 37,38, 44 sean seleccionadas (ya que actualmente esas son zonas de carga y descarga permitidas en el CHQ). La distancia entre cada par de puntos está dada por la métrica del taxista y por la ecuación (2) que se muestra a continuación.

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

La Tabla 7.8-2 muestra las 20 zonas seleccionadas bajo la nueva solución. Es interesante notar que 239 de 371 arcos (65% de los arcos) de la red coinciden, así como el 75% de los lugares de parqueo seleccionados por el modelo. Esto muestra que sí existe cierta congruencia entre las geometrías analizadas. Los lugares L36 Y L38 son aquellos con el menor número de clientes asignados (esto se debe a la gran cercanía entre nodos y a las restricciones que obligan a que estos nodos sean seleccionados).

<p>L10: C103, C105, C106, C110, C111, C128, C17, C170, C175, C184, C193, C201, C204, C210, C221, C262, C274, C287, C292, C31, C344, C358, C65, C70</p>

<p>L12: C104, C118, C13, C15, C173, C178, C179, C181, C182, C183, C185, C187, C209, C233, C246, C256, C265, C309, C33, C34, C347, C348, C355, C375, C39,</p>

C46, C51, C54, C55, C56, C57, C63, C67, C84, C85, C93, C94, C95
L16: C109, C117, C127, C129, C133, C136, C22, C234, C247, C252, C291, C303, C334, C339, C44, C47
L19: C112, C194, C227, C245, C255, C268, C270, C305, C306, C316, C42, C60, C81, C86
L2: C143, C162, C211, C235, C244, C259, C264, C275, C280, C281, C296, C304, C313, C332, C336, C338, C341, C363, C45, C62, C71
L22: C116, C120, C142, C18, C243, C253, C26, C263, C266, C276, C284, C48, C6, C69, C91, C98
L25: C11, C124, C195, C219, C251, C286, C298, C322, C328, C330, C368, C369, C371, C40, C87
L26: C1, C107, C134, C177, C189, C190, C20, C207, C218, C224, C226, C232, C237, C238, C241, C271, C272, C283, C293, C297, C302, C308, C315, C326, C53, C64, C80, C89
L33: C101, C113, C119, C12, C132, C144, C149, C165, C171, C19, C192, C242, C27, C277, C29, C366, C37, C41, C49, C52, C73, C74
L34: C21, C249, C250, C295, C318, C78, C9
L35: C115, C122, C141, C168, C186, C248, C261, C279, C282, C30, C300, C307, C310, C323, C35, C50, C82, C99
L36: C230, C24, C364, C372, C76
L37: C10, C121, C139, C140, C151, C164, C191, C200, C215, C217, C222, C23, C25, C258, C289, C3, C311, C32, C321, C327, C365, C5, C66, C68
L38: C108, C131, C135, C14, C257

L4: C114, C137, C214, C267, C290, C299, C335, C337, C349, C351, C362, C43, C9
L42: C123, C138, C180, C2, C202, C203, C212, C216, C225, C240, C294, C312, C319, C324, C329, C331, C345, C350, C353, C357, C360, C72
L44: C100, C285, C317, C346, C352, C370, C374, C376, C61
L46: C145, C146, C147, C148, C152, C153, C154, C155, C156, C157, C159, C160, C161, C163, C166, C172, C196, C198, C199, C206, C223, C236, C239, C254, C273, C288, C354, C356, C359, C361, C373, C4, C58, C59, C7, C75, C77, C83, C92, C97
L51: C125, C150, C158, C167, C169, C176, C188, C197, C208, C220, C229, C278, C28, C314, C320, C325, C333, C340, C343, C36, C367, C38, C79, C88, C90
L8: C130, C16, C174, C205, C213, C228, C231, C260

Tabla 7.8-2. Solución para el problema de asignación utilizando la distancia del taxista, se muestran las zonas y sus nodos asignados. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

Así como en la anterior solución, se utilizó Gephi para graficar los esquemas de red resultantes con los arcos y nodos generados por el modelo de asignación. La Figura 7.8-4 muestra el diagrama de red obtenido. Es interesante notar que a diferencia de las soluciones anteriores, en ninguno de los casos ningún par de arcos cruza. Este es un hecho necesario aunque no suficiente para garantizar una solución óptima de asignación para las 20 redes pero muestra que los resultados son coherentes con lo que se esperaría del modelo de asignación.

Por otra parte la vista en coordenadas geográficas de la solución actual se muestra en la Figura 7.8-5, así como en la anterior, el cambio de geometrías modifica las distancias y hace que varios nodos se crucen entre sí.

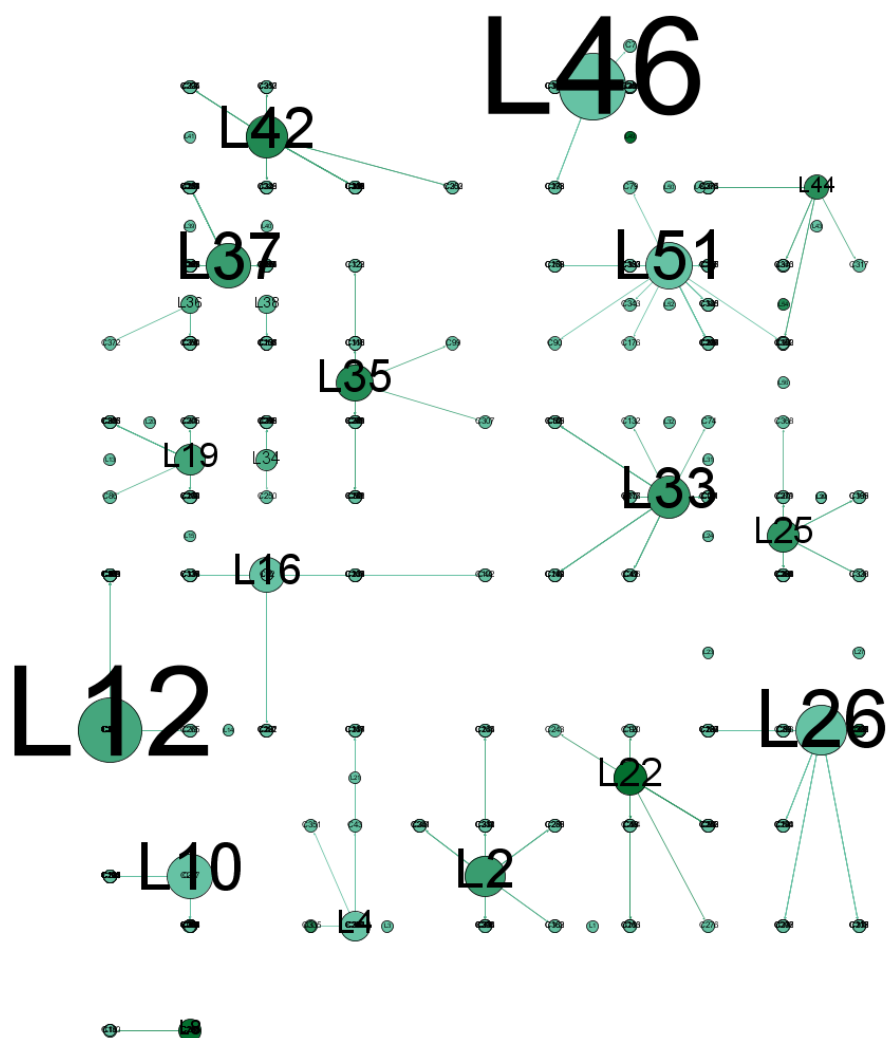


Figura 7.8-4. Grafo de la solución encontrada utilizando la geometría del Taxista visualizada dentro de la red del CHQ bajo la geometría del taxista. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

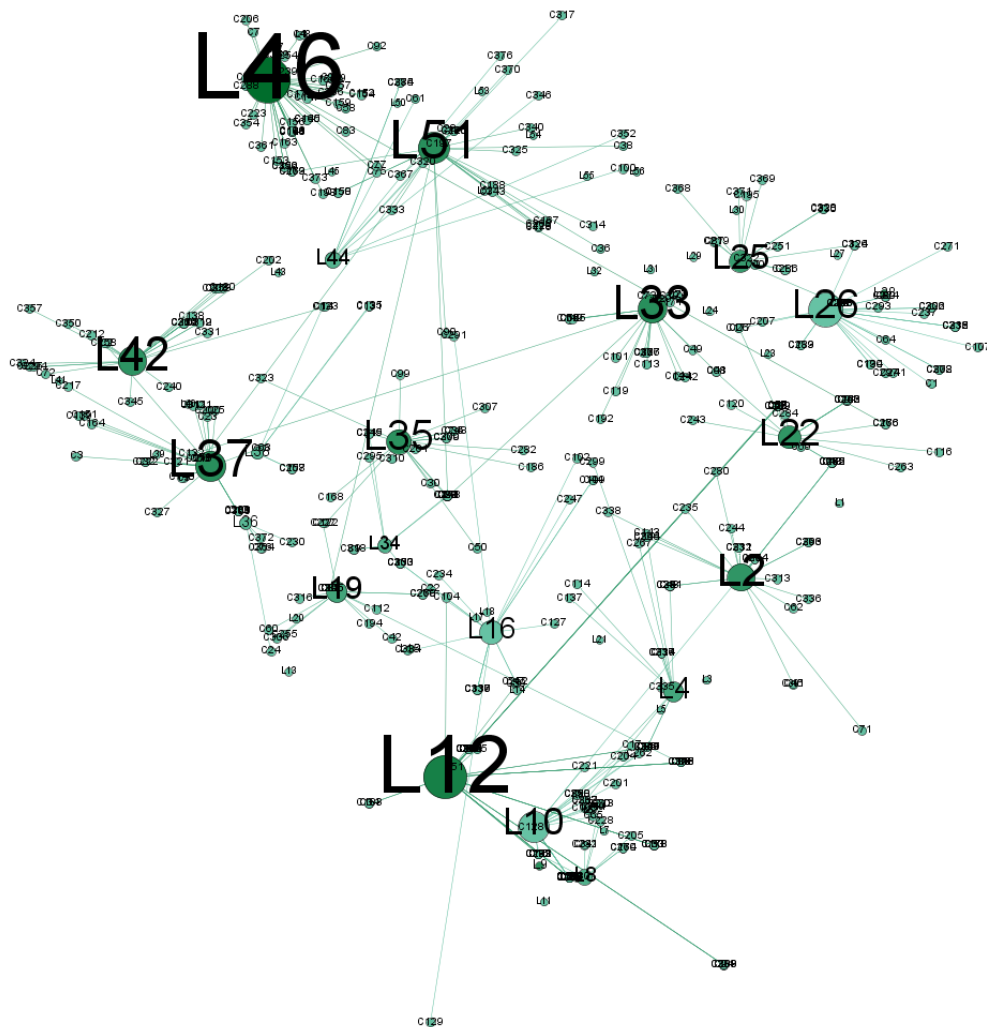


Figura 7.8-5. Vista en coordenadas geográficas de la solución obtenida bajo la geometría del taxista. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

7.9 Anexo 9. Modelo de asignación de rutas maestras

7.9.1 Definición del modelo

Se define la siguiente función objetivo:

$$\text{Min} (\text{Máx}(tt_i) - \text{Mín}(tt_i)) \text{ para } i = 1, 2, \dots, I$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

Restricción de capacidad de entrega diaria

$$Q_i \leq QMAX \text{ para } i = 1, 2, \dots, I$$

Restricción de traslape. Sea P_i el polígono más pequeño que cubre las zonas de entrega asignadas a la ruta i bajo la geometría del taxista. Se busca que $P_i \cap P_j = \emptyset \forall i, j \in R \text{ con } i \neq j$. Esta restricción podría ser matemáticamente representada construyendo el lugar geométrico de los puntos que pertenecen a cada polígono a través de sistemas de desigualdades a partir de las ecuaciones de recta entre cada par de nodos que constituyen los vértices de cada polígono P_i .

Restricción de distancia entre zonas asignadas dentro de cada ruta. Esta restricción se vincula mucho con la restricción de traslape ya que como se mencionó anteriormente es necesario aunque no suficiente que los polígonos de las rutas no se traslapen entre sí para minimizar la distancia entre nodos dentro de una ruta. De igual manera se quiere que los polígonos formados por las rutas no sean demasiado extensos (es decir, que las zonas de una ruta dada no estén demasiado alejadas entre sí). Por estas razones se escribe la siguiente restricción

$$d_i \leq DMAX$$

En la anterior definición, se tienen los siguientes parámetros:

- $i = 1, 2, \dots, I$ son las rutas de entrega que se requiere crear.
- $k = 1, 2, \dots, K$ son las zonas de carga y descarga a asignarse a rutas de entrega.
- t_k es el tiempo total de entrega a los clientes de la zona de carga y descarga k . Está dado por el tiempo total de desplazamiento hacia cada uno de los clientes y el tiempo de servicio de cada cliente.
- q_k es el volumen total asignado a la zona de carga y descarga k
- $x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{zona } k \text{ es asignada a la ruta } i \\ 0, & \text{zona } k \text{ no es asignada a la ruta } i \end{cases}$
- tt_i es el tiempo total de entrega de la ruta i . $tt_i = \sum_{k=1}^K t_k x_{ik}$
- Q_i es el volumen total asignado a la ruta i . $Q_i = \sum_{k=1}^K q_k x_{ik}$
- $QMAX$ es la capacidad máxima en volumen total del/ de los vehículos de entrega
- d_i Es la distancia promedio entre los nodos asignados a la ruta i y el centro geométrico de dicha ruta. Dicha distancia Siendo rx_i y ry_i las coordenadas del centro geométrico de la ruta i y lx_k y ly_k las coordenadas del nodo que define el centro de la zona de carga y descarga k :

$$d_i = \frac{\sum_{k=1}^K |lx_k - rx_i| \times x_{ik} + |ly_k - ry_i| \times x_{ik}}{\sum_{k=1}^K x_{ik}}$$

- $DMAX$ es la distancia promedio máxima permitida entre los nodos asignados para cualquiera de las rutas.

7.9.2 Método heurístico de resolución

Debido a la complejidad en la definición matemática de la restricción de traslape, es más conveniente analizar el modelo antes descrito a nivel heurístico a partir de un grafo en el que cada nodo es ubicado de acuerdo a sus coordenadas (según la geometría que se quisiera utilizar). El algoritmo se muestra a continuación.

Para construir una solución inicial relajando el criterio de capacidad.

1. Resolver el problema de asignación de zonas de carga y descarga a zonas de carga y descarga estructurado de la misma manera que el problema de selección y asignación de clientes a zonas de carga y descarga. El objetivo es encontrar N zonas de carga y descarga que se vinculen entre sí de manera que la distancia entre las zonas vinculadas y la zona seleccionada sea mínima. De la siguiente manera:

Sean:

$i = 1,2,3, \dots, I$ las zonas de carga y descarga que quieren asignarse a rutas

$j = 1,2,3, \dots, J$ las mismas zonas de carga y descarga que quieren asignarse a rutas

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si la zona } i \text{ se vinculará con la zona } j \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad \text{para } i = 1,2, \dots, I; j = 1,2, \dots, J$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{si la zona } i \text{ es seleccionada} \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad \text{para } i = 1,2, \dots, I$$

N El número de rutas a asignarse

M Un número positivo arbitrariamente grande

d_{ij} La distancia de acuerdo a alguna métrica entre la zona j y la zona i

El modelo se define de la siguiente manera:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$My_i \geq \sum_{j=1}^J x_{ij} \text{ para } i = 1, 2, \dots, I$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1 \text{ para } j = 1, 2, \dots, J$$

$$\sum_{i=1}^I y_i \leq N$$

La primera restricción (también conocida como restricción de la gran M) hace que la definición de la variable de decisión y_i se cumpla de manera lineal. La segunda restricción $\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1 \text{ para } j = 1, 2, \dots, J$ obliga a que cada una de las zonas j se vincule con una de las zonas i . Por último la tercera restricción $\sum_{i=1}^I y_i \leq N$ permite que sólo un conjunto de como máximo N zonas sea seleccionado dentro de la solución. Dado que todas las restricciones y la función objetivo son lineales, se trata de un modelo de programación lineal de asignación. Es importante señalar que el modelo tiene $I \times (J + 1)$ variables de decisión, todas ellas binarias.

Para mejorar la solución

Compruebe que la solución inicial satisface la restricción de capacidad. Si no lo hace, pruebe cambiar alguno de los nodos de la ruta o rutas que no satisfagan la restricción con rutas vecinas.

1. Definir $h_i = tt_i - \text{mín}(tt_i)$ para $i = 1, 2, \dots, I$
2. Sea R^* aquella ruta maestra para la que h_i es máximo ($\text{máx } h_i = h^*$)
3. Elegir un nodo k en R^* tal que $t_k \leq h^*$. Si esta relación no se cumple, ir al paso A. Si se cumple, pase al paso 4.

A. R^* será la siguiente ruta con el mayor tiempo de holgura h_i , vuelva al paso 3. Si para la siguiente ruta, $h_i = 0$ entonces la mejor solución ha sido encontrada

4. Elegir una ruta R_i inmediatamente cercana a R^* y verificar (1) que agregar el nodo no produce traslape entre las rutas R_i y R^* . Luego, compruebe que (2) las restricciones de capacidad y distancia se satisfacen. Si los criterios (1) y (2) se cumplen, entonces, asigne el nodo k a la ruta R_i . Caso contrario vaya al paso A.

7.9.3 Resolución del Modelo para el caso de Cervecería Nacional

7.9.3.1 Parámetros utilizados

El modelo antes descrito fue resuelto para el caso de Cervecería Nacional a partir de los resultados obtenidos en la sección 4.4.3. Se tiene 20 posibles zonas de carga y descarga seleccionadas, cada una de las zonas está vinculada con un subconjunto de puntos de entrega con clientes ($x_{jk}=1$ si el cliente j está vinculado con la zona k).

El Drop Size de cada cliente q_j es conocido y así también la distancia en términos de la geometría del Taxista desde el nodo seleccionado hacia cada cliente. Se requiere

estimar el tiempo total de entrega t_k de cada una de las 20 posibles zonas de carga y descarga seleccionadas.

El tiempo de entrega depende del tiempo de atención en mostrador a cada uno de los clientes así como también de la distancia recorrida hasta el punto de almacenamiento. Se asume en este punto que los viajes se realizan a pie y que cada operario puede entregar un máximo de 10 cajas por viaje. Se asume también que los miembros del equipo de reparto caminan a una velocidad de 4Km/h. Se conoce la distancia en metros entre la zona de carga y descarga y el cliente d_{jk} y se asigna un tiempo de atención a cada cliente de 5min después de que los productos han sido colocados en el sitio de recepción del cliente. De esta manera se define el tiempo de entrega de la siguiente manera, sean $j = 1,2,3,\dots,J$ clientes y $k = 1,2,3, \dots, K$ zonas:

$$t_k = \sum_{j=1}^J \left(\frac{2d_{jk} \left\lceil \frac{q_k}{10} \right\rceil}{1.11m/s} + 300s \right) x_{jk}$$

También es necesario definir dinámicamente las coordenadas del centro de cada uno de los polígonos. Para ello, se empleó la geometría del taxista (dado que se trabajará a partir de esta solución) utilizando la siguiente expresión:

$$rx_i = \frac{\sum_{k=1}^K x_{ij} l x_k}{K}; ry_i = \frac{\sum_{k=1}^K x_{ij} l y_k}{K}$$

La muestra los parámetros utilizados para la resolución del problema.

Posibles zonas de carga y descarga: L12, L8, L10, L19, L36, L37, L42, L16, L38, L34, L4, L35, L2, L46, L22, L51, L33, L25, L44, L26. De tal forma que $k = 1$ corresponde a la zona L12.

Rutas: R1,R2,R3,R4,R5, (R6). De tal forma que $i = 1$ corresponde a la ruta R1

$Q_{MAX} = 432$ cajas, $D_{MAX} = 350m$

k	Nombre	t_k (h)	lx_k (m)	ly_k (m)	q_k (cajas)
1	L12	3.69	0.00	368.31	184.9
2	L8	0.68	98.00	0.00	42.5
3	L10	2.47	98.00	189.44	100.8
4	L19	1.10	98.00	700.13	26.4
5	L36	0.59	98.00	890.64	21.2
6	L37	2.33	145.22	938.41	116.6
7	L42	3.70	192.43	1095.97	182
8	L16	2.44	192.43	558.75	50.8
9	L38	0.70	192.43	890.64	87
10	L34	0.74	192.43	700.13	25.9
11	L4	1.69	300.33	127.59	55.6
12	L35	2.08	300.33	794.51	55.5
13	L2	2.54	459.94	189.44	80.9
14	L46	3.85	591.84	1157.40	211
15	L22	2.33	638.27	309.80	79.5
16	L51	3.44	685.94	938.41	97.6
17	L33	2.90	685.94	654.11	97.8
18	L25	1.80	825.92	606.43	51.4
19	L44	1.53	866.76	1034.53	55.6
20	L26	4.22	872.22	368.31	144.8

Tabla 7.9-1. Parámetros característicos de las 20 posibles zonas de carga y descarga consideradas para la creación de rutas. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

7.9.3.2 Resolución del modelo para la creación de 5 rutas de distribución

Se corrió el modelo de asignación de zonas a zonas descritos en la sección 7.9.1. El número de zonas pivote a elegirse era 5. El modelo fue configurado en Microsoft Excel y genera la matriz de asignación resultante que se muestra en la Figura 7.9-1.

Se observa como las restricciones de asignación y de la gran M permiten completar la asignación. La idea de correr el modelo de asignación de zona es que cada una de las ramas que se forman en el algoritmo constituye la primera asignación de rutas, es decir, cada una de las ramas constituye una de las rutas de la solución inicial. Utilizando Gephi, se graficó la solución inicial encontrada, posteriormente, utilizando GIMP (programa de plataforma libre de diseño gráfico) se dibujaron los polígonos que constituyen cada una de las primeras 5 rutas. Dicho gráfico se muestra en la Figura 7.9-2. Se observa como ninguno de los polígonos se traslapa.

A continuación se procede con las iteraciones delineadas en la sección 7.9.2. La matriz de asignación junto con los valores de la función objetivo y sus holguras que se muestra en la Figura 7.9-3 permite comprobar que aún existe gran oportunidad de mejora. Las rutas están desbalanceadas, y por ejemplo, el tiempo de entrega para la ruta 1 es 5.4 horas mayor que el de la ruta 4 (que es aquella con el menor tiempo total de ruta). Se continuó con 5 iteraciones del modelo hasta obtener los resultados de la Figura 7.9-4.

Esta solución muestra que existe una diferencia máxima de 1.54 horas entre los tiempos máximos (ruta 4) y el tiempo mínimo (ruta 5). No obstante, ningún otro cambio es factible. Por ejemplo, si se mira la ruta 3, ubicar la zona L34 en la ruta 5 implica sobrepasar la capacidad máxima del camión de traslado, generando un mayor desbalance. La vista de grafo de la solución propuesta se muestra en la Figura 7.9-5. Es importante señalar que la ruta actual tiene una carga de 433.2 que está justo en el límite de volumen del camión de carga seleccionado. Cabe mencionar también que la Ruta 5 es aquella con mayor carga y a la vez con menor

tiempo de ruta, esto implica que en promedio los clientes asignados a esta ruta están más lejanos entre sí.

	L12	L8	L10	L19	L36	L37	L42	L16	L38	L34	L4	L35	L2	L46	L22	L51	L33	L25	L44	L26			
L12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =	1
L46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1 =	1
L22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 =	1
L51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1 =	1
L33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1 =	1
L25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 =	1	
L44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1 =	1
L26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 =	1
	0	0	5	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	3		
<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=	<=			
*M	0	0	20	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20		
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5 =	5

Figura 7.9-1. Matriz de asignación resultante para una solución inicial de 5 rutas generada en OpenSolver. Elaborado por: Juan Pablo Córdova Paredes

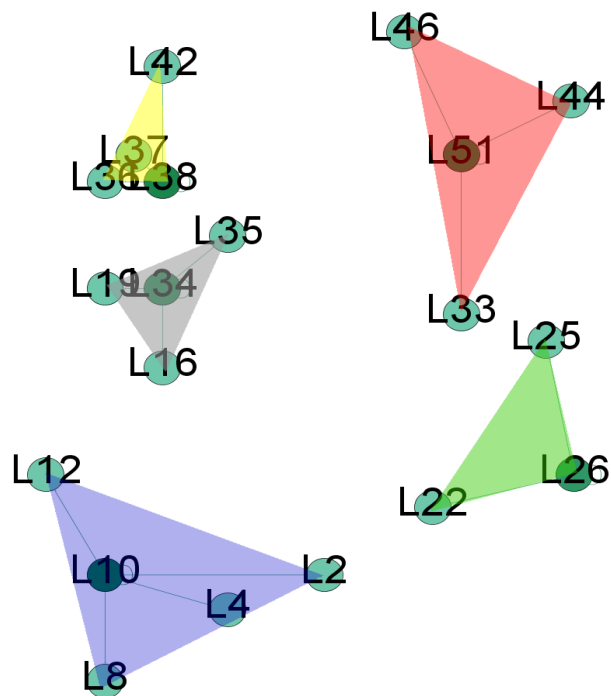


Figura 7.9-2. Solución inicial obtenida para el problema de asignación de 5 rutas. Los arcos son formados como resultado de la matriz de asignación de la Figura 7.9-1. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

	R1	R2	R3	R4	R5	
L12	1	0	0	0	0	1
L8	1	0	0	0	0	1
L10	1	0	0	0	0	1
L19	0	0	0	0	1	1
L36	0	0	0	1	0	1
L37	0	0	0	1	0	1
L42	0	0	0	1	0	1
L16	0	0	0	0	1	1
L38	0	0	0	1	0	1
L34	0	0	0	0	1	1
L4	1	0	0	0	0	1
L35	0	0	0	0	1	1
L2	1	0	0	0	0	1
L46	0	0	1	0	0	1
L22	0	1	0	0	0	1
L51	0	0	1	0	0	1
L33	0	0	1	0	0	1
L25	0	1	0	0	0	1
L44	0	0	1	0	0	1
L26	0	1	0	0	0	1
<i>DROP (caj)</i>	464.70	275.70	462.00	406.80	158.60	
<i>T (h)</i>	11.06	8.35	11.72	7.32	6.37	
<i>Holg T (h)</i>	4.70	1.98	5.35	0.96	0.00	
<i>Dist</i>	240.03	212.52	229.42	106.44	117.08	
<i>rx (m)</i>	191.25	778.80	707.62	157.02	195.80	
<i>ry (m)</i>	174.96	428.18	946.11	953.91	688.38	

Figura 7.9-3. Matriz de asignación de rutas para la solución inicial, junto con los valores de holgura. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

	R1	R2	R3	R4	R5	Total
L12	1					1
L8	1					1
L10	1					1
L19					1	1
L36					1	1
L37					1	1
L42					1	1
L16			1			1
L38					1	1
L34					1	1
L4	1					1
L35			1			1
L2		1				1
L46				1		1
L22		1				1
L51				1		1
L33			1			1
L25			1			1
L44				1		1
L26		1				1
<i>DROP (cajas)</i>	383.80	305.20	281.40	364.20	433.20	
<i>T (h)</i>	8.53	9.08	9.97	8.82	8.43	
<i>Holg T (h)</i>	0.10	0.65	1.54	0.39	0.00	
<i>Dist</i>	195.66	210.10	320.84	177.24	129.00	
<i>rx (m)</i>	124.08	656.81	766.14	309.83	178.94	
<i>ry (m)</i>	171.34	289.18	808.37	1063.93	755.80	

Figura 7.9-4. Solución encontrada para el problema de asignación de 5 rutas y 20 posibles zonas de carga y descarga. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

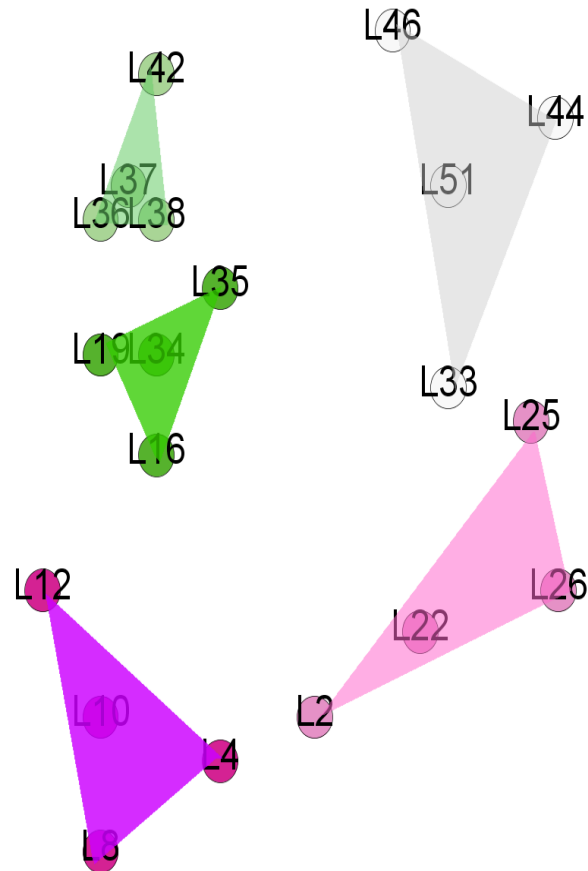


Figura 7.9-5. Cinco rutas encontradas a través de la heurística de asignación de rutas. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

7.9.3.3 Resolución del modelo para la creación de 6 rutas de distribución

Se resolvió el modelo para la creación de 6 rutas de distribución. En el caso particular de Cervecería Nacional, podría adaptarse este esquema en el caso en que se realicen entregas durante 6 días de la semana. Como es de esperarse, la asignación de rutas no cambia mucho en comparación al caso de 5 rutas, y la asignación resulta en una reducción en los tiempos diarios de operación de cada ruta. Se resolvió el problema de asignación de zonas determinando ahora un total de 6 zonas pivote. Al igual que lo efectuado para el caso de 5 rutas, se presenta la

matriz de asignación resultante así como el diagrama de red de polígonos de la solución inicial.

	L12	L8	L10	L19	L36	L37	L42	L16	L38	L34	L4	L35	L2	L46	L22	L51	L33	L25	L44	L26				
L12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L36	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L37	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L42	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L38	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	=	1
L22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
L51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	=	1
L33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	=	1
L25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	=	1
L44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	=	1
L26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	=	1
	0	0	3	0	0	4	0	0	0	4	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0				
	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=				
*M	0	0	20	0	0	20	0	0	0	20	0	0	20	0	0	20	0	20	0	0				
	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	6	=	6

Figura 7.9-6. Matriz de asignación resultante para una solución inicial de 6 rutas generada en OpenSolver (MS Excel). **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

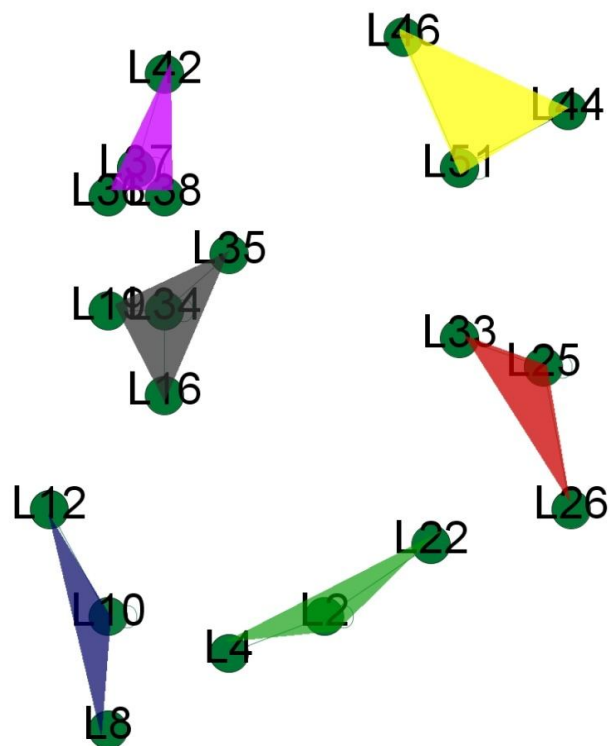


Figura 7.9-7. Solución inicial obtenida para el problema de asignación de 6 rutas. Los arcos son formados como resultado de la matriz de asignación de la Figura 1. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	
L12	1						1
L8	1						1
L10	1						1
L19						1	1
L36					1		1
L37					1		1
L42					1		1
L16						1	1
L38					1		1
L34						1	1
L4		1					1
L35						1	1
L2		1					1
L46				1			1
L22		1					1
L51				1			1
L33			1				1
L25			1				1
L44				1			1
L26			1				1
<i>DROP (cajas)</i>	328.20	216.00	294.00	364.20	406.80	158.60	
<i>T (h)</i>	6.84	6.55	8.92	8.82	7.32	6.37	
<i>Holg T (h)</i>	0.47	0.18	2.56	2.45	0.96	0.00	
<i>Dist</i>	167.50	181.96	188.93	177.24	106.44	117.08	
<i>rx (m)</i>	65.33	466.18	794.69	714.85	157.02	195.80	
<i>ry (m)</i>	185.92	208.94	542.95	1043.45	953.91	688.38	

Figura 7.9-8. Matriz de asignación de rutas para la solución final, junto con los valores de holgura para el problema con 6 rutas de entrega. **Elaborado por:** Juan Pablo Córdova Paredes