

LICITACIÓN PARA LA CONCESIÓN DE SERVICIOS DE RECOLECCIÓN DE LA COMUNA DE XXXX

**GUÍA PARA EL DISEÑO DEL SERVICIO DE
RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DOMICILIARIOS Y
CÁLCULO DE INDICADORES OPTIMOS**

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE ESTA GUÍA	1
1.2 USO DE LOS INDICADORES	2
1.3 DEL CÁLCULO DEL VALOR ÓPTIMO.....	4
2. CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE LOS SERVICIOS	4
2.1 CANTIDAD TOTAL DE RESIDUOS A RECOLECTAR.....	5
2.2 FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN	5
2.3 HORARIOS DE RECOLECCIÓN	6
2.4 MÉTODO DE RECOLECCIÓN.....	6
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE RECOLECCIÓN	6
3. DIMENSIONAMIENTO DE LA FLOTA Y PLANTA DE PERSONAL	7
3.1 FLUJOGRAMA	8
4. CÁLCULO DE INDICADORES ÓPTIMOS.....	14
4.1 INDICADOR TON/SECTOR/DÍA	14
4.2 INDICADOR TONELADAS/VIAJE	14
4.3 INDICADOR TONELADAS/VEHÍCULOS PROGRAMADOS/DÍA	14
4.4 INDICADOR HABITANTES/VEHÍCULOS DE RECOLECCIÓN	15
4.5 INDICADOR HABITANTES/AYUDANTES DE RECOLECCIÓN.....	16
4.6 INDICADOR AYUDANTES/VEHÍCULOS PROGRAMADOS DÍA	16
5. EJEMPLO.....	17
5.1 ANTECEDENTES.....	17
5.2 DIMENSIONAMIENTO.....	18
5.3 CÁLCULO DE INDICADORES	22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE ESTA GUÍA

Esta guía tiene por objetivo diseñar un conjunto de indicadores que permitan definir y controlar la calidad mínima exigible de las ofertas para el servicio de recolección. Estos indicadores también pueden cumplir una función durante la operación del servicio.

En el ámbito de la recolección de residuos sólidos domiciliarios, la calidad del servicio incluye básicamente tres tipos de exigencias:

- Ambientales: minimizar las emisiones atmosféricas y acústicas
- Atención a la población cubierta: esencialmente, que se cumpla con normas de seguridad con relación a la población cubierta, que se cumpla con condiciones de presentación, que el trato del personal con la población atendida sea correcto y que el servicio sea entregado en un horario regular.
- Sanitarias o de limpieza: garantizar que las calles queden limpias.

El primer aspecto se garantiza imponiendo exigencias ambientales que deberán respetar los vehículos y equipos. En ese caso, al momento de la licitación se verifica que los camiones oferentes cumplen con las exigencias ambientales establecidas en las Bases.

En cuanto a los otros dos aspectos, la calidad de atención al usuario se verifica tanto con encuestas que permiten medir el grado de satisfacción del usuario como con fiscalización directa (en terreno) infracción y a través de indicadores.

La presente guía trata específicamente con los aspectos sanitarios y de limpieza, estableciendo primero una metodología para efectuar el diseño del servicio de recolección y, posteriormente, sobre la base de dicho diseño, determinar los rangos óptimos y aceptables para los indicadores¹ de calidad del servicio. La complejidad de este aspecto del servicio y la variabilidad de calidad posible, ha hecho recomendable desarrollar esta guía como apoyo para las Municipalidades, complementando los antecedentes encontrados en el Instructivo para la preparación de Bases Técnicas.

¹ Los indicadores recomendados y rangos aceptables tienen como referencia el documento Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública (segunda edición), del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud Organización Mundial de la Salud

El diseño del servicio de recolección propuesto en esta guía, corresponde a un estándar mínimo del servicio en función de ciertas características básicas y decisiones del Municipio.

A partir de este estándar, las Municipalidades pueden decidir –en función de sus intereses y capacidades– aumentar las exigencias de calidad (de igual modo que pueden hacerlo en los otros aspectos del servicio), las cuales deben quedar claramente reflejadas en las Bases Técnicas.

Con ese marco de definiciones, los indicadores permiten evaluar el cumplimiento de la calidad del servicio solicitada. Utilizando los indicadores (con sus rangos de aceptabilidad) en la evaluación de las ofertas, la Municipalidad puede verificar que el oferente tenga la capacidad técnica para cumplir con lo que se le exige². Adicionalmente, el Municipio puede utilizar estos indicadores como herramientas para el seguimiento del servicio³.

1.2 USO DE LOS INDICADORES

Los indicadores permiten realizar una evaluación ex – ante y ex – post del servicio. Esto pueden verse en los casos siguientes:

- Toneladas / viaje: permite verificar si la ruta está bien diseñada, la carga asignada a cada viaje es la correcta, el adecuado uso del vehículo recolector, detectar una disminución de la eficiencia del sistema de compactación, etc.

Si el valor para el indicador está por debajo del rango aceptable, indica que el área asignada al vehículo de recolección tiene una producción de residuos menor a la determinada inicialmente y por lo tanto la capacidad de carga de la caja compactadora no es utilizada eficientemente. En consecuencia, se requiere reevaluar la ruta con el propósito de ampliar el área atendida.

Por el contrario, si el valor del indicador está por sobre el rango aceptable, quiere decir que la producción de residuos del área cubierta por el vehículo es mayor a la calculada inicialmente y que el vehículo es cargado más allá de su capacidad, lo que repercutirá sobre el estado mecánico del mismo. En

² Por ejemplo, la probabilidad de que las calles no sean correctamente despejadas de residuos aumenta si el número de ayudantes y/o vehículos de recolección resultan insuficientes. Por lo tanto, al momento de la licitación, el Municipio debe verificar que el número de ayudantes y de vehículos programados sean los adecuados, midiéndolos a través de los indicadores que se describen más adelante.

³ Por ejemplo, el proponente puede establecer inicialmente un número de vehículos y ayudantes que sean satisfactorios, pero, en el transcurso de la operación disminuir su número.

consecuencia, se requiere reevaluar la ruta con el propósito de reducir el área de atención.

Puede darse que con el tiempo el valor del indicador disminuya (sin cambios en las características del área atendida), evidenciando que el sistema de compactación presenta fallas por lo que la carga se completa por volumen. Esta situación debiera ir acompañada con un aumento en el número de viajes.

- Indicador toneladas/vehículos efectivos en servicio/día: permite verificar la disponibilidad de la flota y que está coincida con la oferta, el correcto diseño del servicio, el estado mecánico de la flota que se refleja en un aumento de la operación de los vehículos de reserva.

Una de las variables más importantes dentro del servicio de recolección la constituye la disponibilidad de vehículos que satisfacen la demanda de recolección. La falta de uno de ellos se verá reflejada en un aumento del valor del indicador (por sobre el rango aceptable), y por lo tanto el servicio no se podrá realizar con la calidad exigida, afectando directamente los horarios de recolección, la frecuencia y en muchos casos que el servicio no se realice.

- Indicador habitantes/vehículos de recolección en servicio: permite verificar que el número de vehículos operativos no han disminuido durante el desarrollo del contrato o que existe un aumento de habitantes que hace necesario incrementar la flota.
- Indicador habitantes/ayudantes de recolección: permite verificar los rendimientos de recolección, la sobrecarga de trabajo, y el número de ayudantes realmente operativos. Si el indicador presenta un valor bajo el rango aceptable, indica que el número de ayudantes está por sobre las necesidades del servicio, aumentando innecesariamente los costos. Si el indicador está por sobre el rango aceptable, el número de ayudantes no es suficiente para satisfacer las necesidades del servicio, lo que impactará sobre su calidad.
- Indicador ayudantes/vehículos programados/día: a través de éste indicador se verifica el cumplimiento del número de ayudantes ofertados por vehículo. Un número menor de ayudantes aumenta la probabilidad de que los ayudantes tengan que realizar el levante de residuos con mayor prisa, afectando negativamente la calidad del servicio, ya que existe una alta probabilidad que queden residuos dispersos en las vías públicas. Un número mayor de ayudantes indica que los rendimientos de recolección no se ajustan a la realidad.

1.3 DEL CÁLCULO DEL VALOR ÓPTIMO

El valor óptimo de los indicadores dependerá directamente de las características del servicio, tales como el nivel de cobertura (población total atendida), frecuencias, horarios y modalidad de recolección (puerta a puerta, contenerizada, etc.), características técnicas de los vehículos, etc. lo que en suma definirá la calidad del servicio. La Municipalidad podrá decidir ser más exigente que los valores calculados en la presente guía.

Resulta indispensable que el Municipio establezca los valores de los indicadores señalados previo al proceso de licitación, los que resultarán de la calidad del servicio que se desea desarrollar y de los recursos asignados al mismo.

Una vez fijadas dichas variables “de base”, el Municipio estará en condiciones de calcular el valor óptimo de los indicadores y establecer los rangos aceptables, con los cuales podrá evaluar las ofertas y posteriormente realizar el seguimiento del servicio.

Si el Municipio opta por dejar un cierto grado de libertad a los oferentes en la definición de los equipos (modalidad 2, pie de página 36 en Instructivo Bases Técnicas), el valor de algunas de las variables necesarias para el cálculo de ciertos indicadores dependerá de los equipos ofertados por los proponentes. En ese caso, el valor óptimo de este indicador diferirá de una propuesta a otra.

En ese caso, el Municipio deberá calcular un valor óptimo de cada indicador para cada propuesta y luego contrastar cada valor óptimo con los antecedentes entregados en la propuesta correspondiente.

Por ejemplo, para el cálculo del valor óptimo del indicador *habitantes/vehículo*, se requiere determinar el número óptimo de camiones, lo cual requiere conocer la capacidad útil de carga de los camiones de recolección. Si el Municipio dejó libre al oferente la definición del tamaño de su camión, habrá una capacidad útil de carga y por ende un número óptimo de vehículos distinto por cada oferta, lo que a su vez implicará un valor óptimo del indicador distinto por cada oferta. Se deberá en ese caso verificar, para cada propuesta, que el número de camiones ofertados sea consistente con el valor del indicador óptimo calculada para dicha oferta.

2. CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE LOS SERVICIOS

Para realizar el diseño del servicio de recolección es necesario definir las características de éste, definiendo las siguientes variables

2.1 CANTIDAD TOTAL DE RESIDUOS A RECOLECTAR

Se deberá establecer la cantidad de residuos que serán recolectados por el servicio, el cual se puede calcular de dos formas: por estimación o por monitoreo.

2.1.1 *Por Producción Per Cápita:*

$$Q_r = \frac{\text{Cobertura} \times \text{Población Total} \times \text{PPC}}{1000}$$

donde:

Q_r: Cantidad total de residuos a recolectar por día (Ton/día)

Cobertura: Porcentaje de la población que será atendida con el servicio de recolección

PPC: Producción por habitante por día expresada en kg/hab/día

2.1.2 *Por Monitoreo total del servicio existente*

La cantidad de residuos sólidos generados se obtiene pesando la cantidad total de residuos recolectados durante una semana, en el lugar de transferencia o disposición final. Considerando las variaciones y volúmenes generados semana a semana, este procedimiento debe ser repetido más de una vez para obtener datos representativos. La cantidad de residuos a recolectar diariamente estará dada por:

$$Q_r = \frac{Q_s}{7}$$

donde:

Q_r: Cantidad total de residuos a recolectar por día (Ton/día)

Q_s: Cantidad total de residuos recolectados durante la semana (Ton/día)

2.2 FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN

Se deberá establecer la frecuencia del servicio. La frecuencia de recolección define el tiempo recorrido entre la realización de dos servicios en una misma zona o lugar. La frecuencia de recolección puede ser diaria, tres o dos veces a la semana –en la mayoría de los casos con descanso los domingos.

En general, la restricción económica es un factor determinante en la frecuencia de recolección, ya que a mayor frecuencia, mayor será el costo total del servicio. La cantidad de residuos generados también puede influenciar la definición de la frecuencia de recolección. En general se recomienda frecuencia diaria para el caso de

zonas urbanas céntricas, frecuencia de tres veces por semana para sectores urbanos y frecuencia dos veces por semana para sectores suburbanos o rurales.

Sobre la base de la frecuencia de recolección se establecerán los días máximos (día punta) y normales de acumulación de residuos, y sobre la base de ellos se calculará la cantidad de residuos a recolectar.

El siguiente Cuadro entrega los días de acumulación en función de la frecuencia.

Cuadro N° 1 Días de acumulación en función de la frecuencia

Frecuencia	N° días acumulación normal	N° días acumulación punta
Diaria	1	2
Tres veces por semana	2	3
Dos veces por semana	3	4

2.3 HORARIOS DE RECOLECCIÓN

La recolección puede ser realizada tanto en horario diurno como nocturno. La elección de un determinado horario depende de diversos factores, como el tráfico, mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, mayor productividad de la mano de obra, etc.

Cada horario de recolección conformará un turno dentro de la jornada de trabajo (es decir, si para un mismo día se trabaja en horario diurno y nocturno a la vez, entonces la jornada estará conformada por dos turnos).

2.4 MÉTODO DE RECOLECCIÓN

Esto incide en el cálculo del valor de indicadores a través de su impacto sobre el número de ayudantes y sobre la eficiencia de recolección. Se deberá establecer el mecanismo bajo el cual se desarrollará el servicio, pudiendo ser puerta a puerta, punto a punto (por medio de contenedores) o mixto (puerta a puerta y contenedores).

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE RECOLECCIÓN

Se deberá establecer las características de los vehículos de recolección. Para el caso de recolección punto a punto se deberá establecer además las características de contenedores y alzacontenedores (según se detalla en el Instructivo).

Dentro de los parámetros a definir para los vehículos de recolección se encuentra:

Capacidad de Carga: Esta estará dada por la capacidad volumétrica de la tolva y por la densidad de los residuos alcanzada en ella. La densidad dependerá si la tolva posee o no sistema de compactación.

$$C_{carga} = \text{Volumen Tolva} \times \text{Densidad Residuos}$$

donde

C_{carga} : Capacidad de carga de la tolva

3. DENSIDAD DE RESIDUOS: UNA BUENA APROXIMACIÓN ES CONSIDERAR 0,3 TON /M³ PARA UNIDADES SIN COMPACTACIÓN Y 0,45 A 0,55 TON /M³ PARA UNIDADES CON COMPACTACIÓN⁴. DIMENSIONAMIENTO DE LA FLOTA Y PLANTA DE PERSONAL

Una vez que se cuente con los antecedentes descritos en la sección precedente, se procederá a efectuar el dimensionamiento del servicio de recolección.

- con los antecedentes de PPC o la información de terreno de generación de residuos se calcula la cantidad total de desechos a recolectar en una semana,
- a partir de la frecuencia y los horarios de atención se determinará el número de sectores que debe considerar el servicio y la cantidad de residuos a recolectar diariamente por sector.
- a partir de las características del vehículo de recolección y los tiempos asociados al ciclo de recolección, se determinará la capacidad de carga útil del camión recolector y el número de viajes por turno.
- conocido el número de viajes por camión por turno, se deduce el número óptimo de vehículos necesarios para efectuar el servicio de recolección y, en función de este valor, se establecerá el número de ayudantes de recolección.

⁴ Además de establecer las variables pertinentes para los indicadores, se deberá definir otros aspectos de los equipos, tales como:

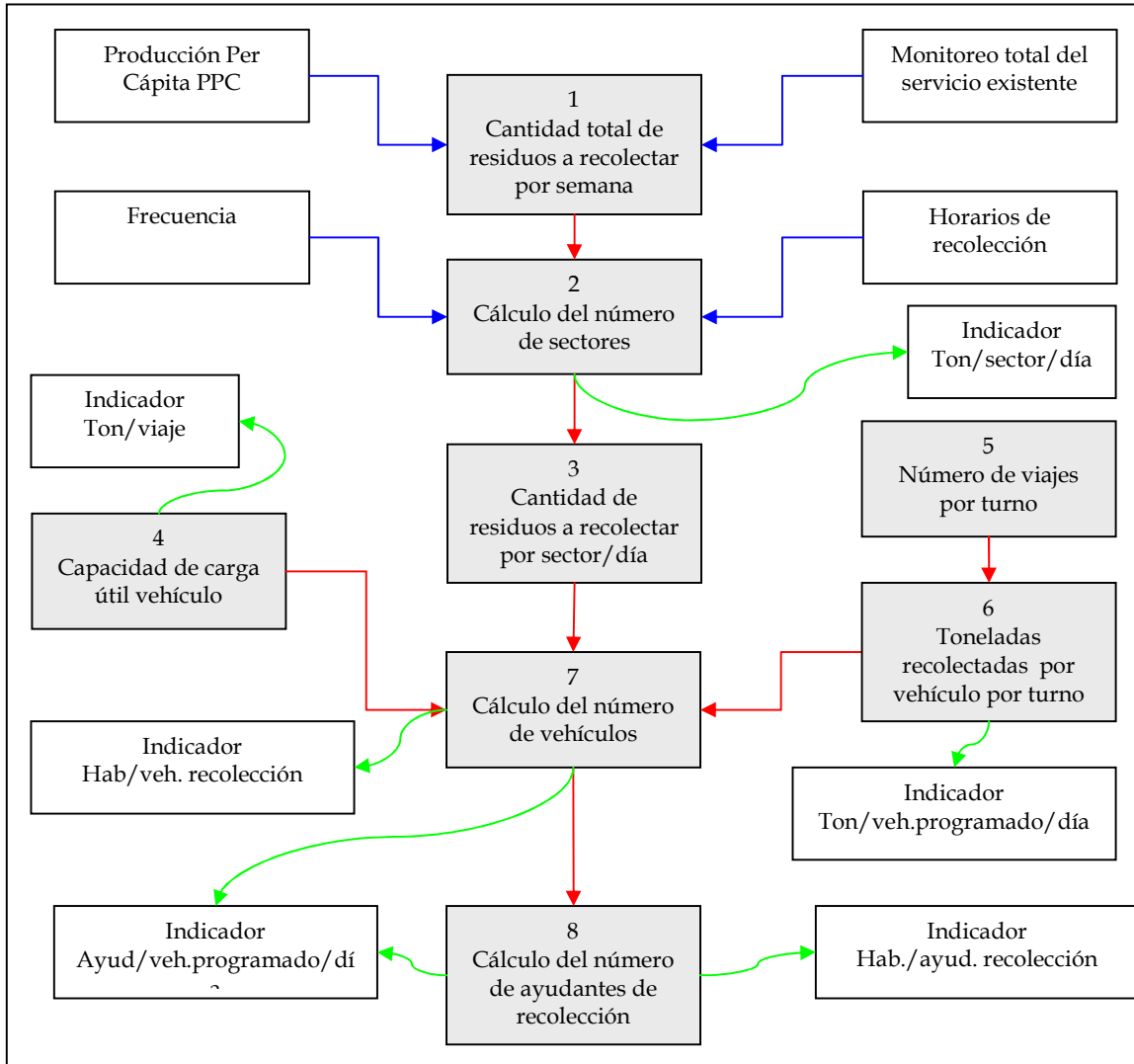
Peso por eje: Se deberá definir la carga máxima por eje del vehículo de recolección sobre la base de las cargas de diseño de los pavimentos existentes en el área de recolección.

Dimensiones de los vehículos: Se deberán definir restricciones en cuanto al ancho y largo de los vehículos de recolección sobre la base de las dimensiones de las avenidas o calles (ancho pasajes, radios de giro).

Restricciones ambientales: Se podrán establecer exigencias ambientales adicionales a las establecidas en la normativa vigente, con el fin de regular y/o minimizar las emisiones atmosféricas, acústicas y caída de líquidos.

Una vez efectuado el dimensionamiento, se procederá a evaluar los indicadores óptimos y se establecerán los rangos aceptables para los mismos a través de los cuales se efectuará la evaluación de las ofertas

Flujograma



3.1 PASO 1: CANTIDAD TOTAL DE RESIDUOS A RECOLECTAR EN UNA SEMANA

A partir de la cantidad de residuos a recolectar diariamente Q_r (punto 2.1.1 o 2.1.2) se determinará la cantidad total de residuos a recolectar en una semana.

$$Q_{sem} = Q_r \times 7$$

donde:

Q_{sem} : Toneladas totales a recolectar durante una semana

3.2 PASO 2: CÁLCULO DEL NÚMERO DE SECTORES

La ciudad en la cual se efectuará el servicio de recolección se puede dividir en sectores en función de la frecuencia de recolección y los turnos de trabajo.

Así, por ejemplo, una ciudad en que existe frecuencia de tres veces por semana, ésta se puede dividir en dos sectores:

- Sector 1: Atendido los días lunes, miércoles y viernes y
- Sector 2: Atendido los días martes, jueves y sábado.

Si adicionalmente la recolección se efectúa en dos turnos, uno diurno y otro nocturno, la ciudad se podrá dividir en cuatro sectores:

- Sector 1: Atendido los días lunes, miércoles y viernes turno diurno
- Sector 2: Atendido los días lunes, miércoles y viernes turno nocturno
- Sector 3: Atendido los días martes, jueves y sábado turno diurno y
- Sector 4: Atendido los días martes, jueves y sábado turno nocturno.

El cuadro siguiente entrega el número de sectores sobre la base de la frecuencia y horarios de atención del servicio de recolección.

Cuadro N°2 Número de sectores en función de la frecuencia y turnos días

Frecuencia	N° turnos/día	N° sectores
Diaria	1	1
	2	2
	3	3
Tres veces por semana	1	2
	2	4
	3	6
Dos veces por semana	1	3
	2	6
	3	9

3.3 PASO 3: CANTIDAD DE RESIDUOS A RECOLECTAR POR SECTOR/DÍA

Los sectores de recolección de una ciudad corresponden regiones homogéneas, de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad apropiada de trabajo para que utilice toda su capacidad.

La cantidad de residuos a recolectar por sector se puede determinar considerando una distribución uniforme del tonelaje total por sector, es decir:

$$Q_{sector} = Q_{sem}/N^{\circ} \text{ sectores}$$

donde:

Q_{sector}: Cantidad de residuos a recolectar por sector, expresado en Ton/sem.

Q_{sem}: Cantidad total de residuos a recolectar en la semana, expresado en Ton/sem.

En el caso que exista más de una frecuencia, la distribución de la cantidad de residuos por sector, se deberá efectuar en forma separada para cada frecuencia.

Calculada la cantidad de residuos a recolectar por sector, se procederá a determinar la cantidad de residuos a recolectar durante el día normal y el día punta.

$$Q_{día \text{ normal}} = (Q_{sector}/7) \times N^{\circ} \text{ días acumulación normal}$$

donde:

Q_{día normal}: Cantidad de residuos a recolectar en un día normal por sector, expresado en Ton/día.

Q_{sector}: Cantidad de residuos a recolectar por sector en una semana, expresado en Ton/sem.

N^o días acumulación normal: Número mínimo de días de acumulación de residuos en función de la frecuencia de recolección (Cuadro 1).

$$Q_{día \text{ punta}} = (Q_{sector}/7) \times N^{\circ} \text{ días de acumulación punta}$$

donde:

Q_{día punta}: Cantidad de residuos a recolectar en el día de máxima acumulación por sector, expresado en Ton/día

Q_{sector}: Cantidad de residuos a recolectar por sector en una semana, expresado en Ton/sem.

N^o días acumulación punta: Número máximo de días de acumulación de residuos en función de la frecuencia de recolección (ver Cuadro 1).

3.4 PASO 4: CAPACIDAD DE CARGA ÚTIL DEL VEHÍCULO

Se calculará la capacidad de carga útil del vehículo como:

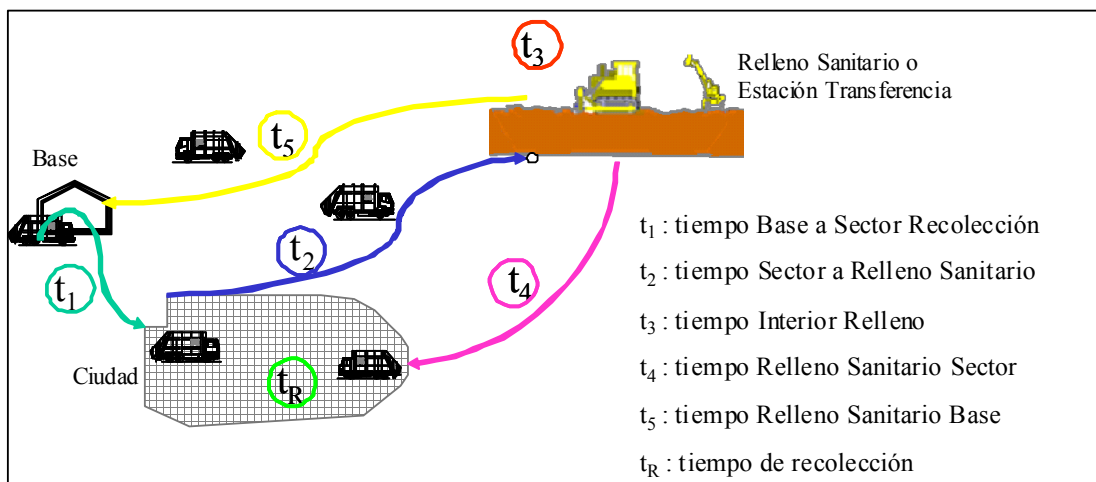
$$\text{Capacidad útil de transporte} = \text{Peso bruto vehicular} - (\text{Peso del chasis} + \text{Peso caja recolectora})$$

Los datos anteriores deben ser proporcionados por el fabricante del vehículo de recolección.

3.5 PASO 5 NÚMERO DE VIAJES POR TURNO

El número de viajes que realiza un vehículo de recolección durante un turno está íntimamente relacionado con la capacidad de carga de cada vehículo, con la cantidad total de residuos a recolectar en un período de tiempo, el rendimiento de los trabajadores de recolección y la distancia o tiempo empleado al lugar de descarga de residuos (estación de transferencia o sitio de disposición final).

Para establecer el número de viajes, se deberá calcular el tiempo de ciclo de recolección, para 1, 2 o más viajes. El número de viajes será igual al valor máximo de viajes para un tiempo de ciclo igual o menor a la duración del turno. Las actividades que conforman el ciclo de recolección son:



El tiempo de Ciclo se calcula de acuerdo a:

- *Tiempo Ciclo 1 viaje : Tiempo Total = $t_1 + t_R + t_2 + t_3 + t_5$*
- *Tiempo Ciclo 2 viajes: Tiempo Total = $t_1 + t_R + t_2 + t_3 + t_4 + t_R + t_2 + t_3 + t_5$*

En ambos casos el tiempo de ciclo debe ser igual o menor a la duración de la jornada.

Los tiempos t_1 a t_5 , se pueden medir directamente en terreno. El tiempo de recolección se determina en base al rendimiento de recolección y la capacidad del camión.

$$T_R = \frac{\text{Capacidad útil transporte}}{\text{Rendimiento recolección}}$$

donde

T_R : Tiempo de recolección

Capacidad útil de transporte: Valor calculado en punto 2.1.4

Rendimiento de recolección: Se considera un rendimiento entre 2,0 a 2,6 ton/hr, para el caso de recolección puerta a puerta y de 2,5 a 3,0 ton/hr para la recolección punto a punto. Los rangos menores de rendimiento corresponden a los valores alcanzados en la recolección los días normales y los valores mayores para los días punta.

Calculados los tiempos de ciclo se verificará que estos sean menores o iguales a la duración del turno, estableciendo el número de viajes igual al valor máximo que cumpla la condición anterior.

En el caso que la sumatoria de los tiempos de ciclo para 2 viajes o más sea un poco mayor que la duración del turno (sea Δt la diferencia de tiempo), se podrá considerar para el último viaje, parte de la capacidad útil de transporte del vehículo, de modo de reducir el tiempo de recolección y con ello obtener un tiempo de ciclo menor o igual a la duración del turno, en este caso la capacidad total de transporte del último viaje estará dada por:

$$\text{Carga último viaje} = \Delta t \times \text{rendimiento de recolección}$$

donde:

$$\Delta t = \text{Tiempo ciclo} - \text{Duración turno (en horas)}$$

3.6 PASO 6: TONELADAS RECOLECTADAS POR VEHÍCULO POR TURNO

Determinado el número de viajes se calculará el total de toneladas transportadas por vehículo por turno como:

$$Q_{\text{turno}} = N^{\circ} \text{ viajes} \times \text{Capacidad útil de transporte}$$

donde:

Q_{turno} : Cantidad total de residuos recolectados por vehículos en el turno, expresado en ton/vehículo.

N° viajes: Número viajes determinado en punto 2.1.5

Capacidad útil de transporte: Valor determinado en punto 2.1.4

En el caso en que el último viaje no se realiza a plena carga, como se señalara en el punto 3.5, el total de toneladas transportadas por vehículo por turno se calculará como:

$$Q_{\text{turno}} = \sum_{i=1}^{i=n} \text{Toneladas/viaje}$$

3.7 PASO 7: CÁLCULO DEL NÚMERO ÓPTIMO DE VEHÍCULOS

Corresponde al número de vehículos que requieren operar simultáneamente, es decir, en un mismo día y horario. Dado que el total de residuos a recolectar es distinto, dependiendo si corresponde a día punta o normal, es necesario calcular la flota para ambas situaciones de acuerdo al siguiente procedimiento.

$$N^{\circ} \text{vehículos}_{\text{Punta}} = \frac{Q_{\text{día punta}}}{Q_{\text{turno}}}$$

$$N^{\circ} \text{vehículos}_{\text{Normal}} = \frac{Q_{\text{día normal}}}{Q_{\text{turno}}}$$

Donde:

$N^{\circ} \text{vehículos}_{\text{Punta}}$: Número de vehículos necesarios para realizar el servicio en día punta

$N^{\circ} \text{vehículos}_{\text{Normal}}$: Número de vehículos necesarios para realizar el servicio en día normal

$Q_{\text{día punta}}$: Cantidad de residuos a recolectar en el día de máxima acumulación por sector, expresado en Ton/día

$Q_{\text{día normal}}$: Cantidad de residuos a recolectar en el día normal de acumulación por sector, expresado en Ton/día

Q_{turno} : Cantidad total de residuos recolectados por vehículos en el turno, expresado en ton/vehículo

El número de vehículos necesarios para realizar el servicio de recolección es el que se determina para el día punta, adicionalmente se debe considerar entre un 10 y 15% de flota de reserva para reparaciones, mantenimiento y emergencia, por lo tanto:

$$N^{\circ} \text{ óptimo de vehículos} = N^{\circ} \text{ vehículos Punta} + \% \text{ reserva}$$

3.8 PASO 8: CÁLCULO DEL NÚMERO DE AYUDANTES DE RECOLECCIÓN.

El número de ayudantes por camión es función de la modalidad del servicio, en caso que la recolección se efectúa puerta a puerta se recomienda operar con tres ayudantes de recolección por vehículo, si la recolección se realiza punto a punto (contenedores) y los contenedores no están amarrados el número de ayudantes se reduce a dos por vehículo de recolección.

El número total de ayudantes se determina como:

$$\text{Número total de ayudantes} = N^{\circ} \text{vehículos}_{\text{punta}} \times N^{\circ} \text{turnos} \times \text{Ayudantes por vehículo}$$

Al número total de ayudantes se debe agregar un 10% de reserva por ausentismo o accidente de trabajo. Por lo tanto la cantidad óptima de ayudantes corresponde a

$$N^{\circ} \text{ óptimo ayudantes} = \text{Número total de ayudantes} + 10\%$$

4. CÁLCULO DE INDICADORES ÓPTIMOS

4.1 INDICADOR TON/SECTOR/DÍA

Es importante recalcar que en el caso que el Municipio establezca la sectorización de la comuna, el oferente no tendrá responsabilidad si el indicador está fuera del rango aceptable. Se recomienda verificar en terreno la asignación de sectores. Si la sectorización ha sido realizada por el Oferente, se deberá calcular el indicador sobre la base de los antecedentes de cada una de las ofertas, quedando fuera de concurso aquellas cuyo indicador presenta valores fuera de los rangos aceptables ya que no aseguran el cumplimiento de la calidad del servicio.

Determinado el número de sectores, es posible calcular el valor óptimo para el indicador *Ton/sector/día*, como:

$$\text{Ton/sector/día}_{\text{óptimo}} = \frac{Qr \times \text{días mes}}{N^{\circ} \text{ Sectores} \times \text{días efectivos sector}}$$

donde:

Qr:	Cantidad total de residuos a recolectar por día (Ton/día).
Días mes:	Número total de días trabajados en el mes
Nº sectores	Número de sectores calculados en punto 3.2
Días efectivos sector	Número total de días trabajados en el mes por sector

Se establecerá como rango aceptable del indicador una variación de $\pm 15\%$ del valor del indicador óptimo.

4.2 INDICADOR TONELADAS/VIAJE

El valor óptimo del indicador *Toneladas/viaje* es igual entonces a la capacidad útil de transporte del vehículo de recolección calculada en el punto 3.4.

$$\text{Ton/viaje}_{\text{óptimo}} = \text{Capacidad útil de transporte}$$

Se establecerá como rango aceptable del indicador a:

$$0,92 \leq \text{Ton/viaje}_{\text{óptimo}} \leq 1,05$$

4.3 INDICADOR TONELADAS/VEHÍCULOS PROGRAMADOS/DÍA

El valor óptimo del indicador *Toneladas/vehículos programados/día* se determina por:

$$\text{Toneladas/vehículos programados/día}_{\text{óptimo}} = Q_{\text{turno}} \times N^{\circ} \text{ turnos}$$

donde:

Qturno: Cantidad total de residuos recolectados por vehículos en el turno, expresado en ton/vehículo, determinado en punto 3.6.

Nº turnos: Número de turnos trabajados en la jornada diaria

Se establecerá como rango aceptable del indicador una variación de $\pm 7\%$ del valor del indicador óptimo.

4.4 INDICADOR HABITANTES/VEHÍCULOS DE RECOLECCIÓN

A partir del número óptimo de vehículos, es posible calcular el valor óptimo del indicador *Habitantes/vehículos de recolección* como:

$$\text{Habitantes/vehículos de recolección} = \frac{\text{Población atendida por el servicio}}{\text{Nº de vehículos día punta}}$$

donde:

Población atendida: Cantidad total de habitantes cubiertos con el servicio de recolección.

Nº óptimo de vehículos: Número de vehículos en día punta calculado en el punto 3.7

Se establecerá como rango aceptable del indicador una variación de $+10\%$ del valor del indicador óptimo.

Es importante dejar en claro que dependiendo de la duración del contrato de recolección y del crecimiento de la población en la comuna, es posible que se requiera aumentar la flota de vehículos para lograr mantener el indicador dentro de los rangos aceptables y así asegurar la calidad del servicio. En muchos casos se establece en las Bases Técnicas el aumento de la flota de vehículo en función de la recepción de nuevas viviendas por parte de la Dirección de Obras del Municipio, ya que el incremento de habitantes es más difícil de cuantificar.

Conocido el valor del indicador óptimo *Habitantes/vehículos de recolección*, y sobre la base de la densidad de habitantes por viviendas se calculará el número de viviendas atendidas por un vehículo de recolección, como:

$$\text{Nº viviendas} = \frac{\text{Habitantes/vehículos de recolección}}{\alpha}$$

donde:

α : número de habitantes por vivienda, y corresponde a un valor promedio para la comuna.

Sobre la base de éste valor y el porcentaje de flota de reserva se fijará el número de viviendas que representa el aumento de la flota en una unidad.

4.5 INDICADOR HABITANTES/AYUDANTES DE RECOLECCIÓN

El valor óptimo del indicador se calculará como:

$$\text{Habitantes/ayudantes de recolección} = \frac{\text{Población atendida por el servicio}}{\text{N}^{\circ} \text{ óptimo de ayudantes}}$$

donde:

Población atendida: Cantidad total de habitantes cubiertos con el servicio de recolección.

Nº óptimo de ayudantes: Número óptimo de ayudantes calculado en el punto 3.8

Se establecerá como rango aceptable del indicador una variación de +5% del valor del indicador óptimo.

4.6 INDICADOR AYUDANTES/VEHÍCULOS PROGRAMADOS DÍA

El valor óptimo del indicador está dado por:

$$\text{Ayudantes/vehículos programados día} = \text{N}^{\circ} \text{ óptimo ayudantes} / (\text{N}^{\circ} \text{ vehículos punta}) * (\text{N}^{\circ} \text{ turnos/día})$$

donde:

Nº óptimo de ayudantes: Número óptimo de ayudantes calculado en el punto 3.8

Nº vehículos punta: Número de vehículos necesarios para realizar el servicio en día punta, valor calculado en punto 3.7

Se establecerá como rango aceptable del indicador una variación de -5% del valor del indicador óptimo.

5. EJEMPLO

5.1 ANTECEDENTES

5.1.1 Generales

- **Zona:** *Urbana*
- **Población:** *230.000 habitantes*
- **Cobertura:** *100%*
- **Método de recolección:** *Puerta a Puerta*
- **Horario: Diurno:** *06:00 a 14:00 hr.*
- **P.P.C:** *0,8 Kg/hab/día*
- **Frecuencia:** *3 veces por semana*⁷⁸
- **Nocturno:** *20:00 a 04:00 hr.*

5.1.2 Características vehículo recolección:

- **Tipo:** *Compactador*
- **Densidad residuos:** *0,5 Ton/m³*
- **Peso Chasis:** *4,06 Ton*
- **Capacidad caja:** *16 m³*
- **Peso bruto vehicular**⁹: *18 Ton*
- **Peso caja recolectora:** *5,9 Ton*

⁷ En el caso de una zona rural se recomienda una frecuencia de dos veces por semana.

⁸ También se puede considerar más de una frecuencia para una misma comuna, en ese caso se debe especificar la población y PPC para cada una de las frecuencias y efectuar los cálculos separados para cada una de ellas.

⁹ En la selección del camión recolector se debe poner especial atención a que las características de éste se ajusten a las condiciones viales de la comuna.

5.1.3 *Tiempos de Ciclo*¹⁰:

Origen-Destino	Turno Diurno Minutos	Turno Nocturno Minutos
t1: Base a Sector	5	5
t2: Sector a Relleno Sanitario	25	21
t3: Relleno Sanitario	15	15
t4: Relleno Sanitario a Sector	20	15
t5: Relleno Sanitario a Base	20	17

5.1.4 *Rendimiento Recolección*¹¹:

- Día Punta: 2,6 Ton/hr
- Día Normal: 2,0 Ton/hr.

5.2 DIMENSIONAMIENTO

5.2.1 *Paso 1: Cantidad total de residuos a recolectar en una semana*

- Cantidad de residuos a recolectar diariamente

$$Q_r = (\text{Cobertura} \times \text{Población} \times \text{PPC}) / 10000 = (100\% \times 230.000 \times 0,8) / 1000$$

$$\rightarrow Q_r = 184 \text{ Ton/día}$$

- Cantidad de residuos a recolectar en una semana

$$\rightarrow Q_{\text{sem}} = Q_r \times 7 = 1.288 \text{ Ton/sem}$$

¹⁰ Los tiempos de ciclo deben ser tomados en distintos horarios, considerando horas punta, sentidos de tránsito, vías reversibles y otras condiciones que pueden afectar los tiempos dependiendo de la hora en que se efectúa la recolección. La variación de los tiempos de ciclo es una variable que debe ser analizada para optar por recolección diurna o nocturna. En comunas que presenten avenidas de fuertes pendientes se debe considerar que los vehículos inicien su recorrido en los puntos más altos de modo que la recolección se realice siempre en bajada.

¹¹ Los rendimientos deben ser comprobados una vez iniciado el servicio, sobre la base de datos estadísticos y durante el desarrollo del contrato volver a evaluar los indicadores.

5.2.2 Paso 2: Cálculo del número de sectores¹²

El servicio se desarrollará con una frecuencia de tres veces por semana en dos turnos, de Cuadro N°2 se obtiene el número de sectores:

$$\rightarrow N^{\circ} \text{ Sectores} = 4$$

5.2.3 Paso 3: Cantidad de residuos a recolectar por sector/día

$$Q_{\text{sector}} = Q_{\text{sem}} / N^{\circ} \text{ sectores} = 1.288 / 4$$

$$\rightarrow Q_{\text{sector}} = 322 \text{ Ton/sem}$$

De Cuadro N°1 se obtiene los días de acumulación que en este caso corresponden a:

- Día normal: 2 días de acumulación
- Día Punta: 3 días de acumulación

$$\rightarrow Q_{\text{día normal}} = (Q_{\text{sector}} / 7) \times 2 = 92 \text{ Ton/día}$$

$$\rightarrow Q_{\text{día punta}} = (Q_{\text{sector}} / 7) \times 3 = 138 \text{ Ton/día}$$

El Cuadro N°3 resume la cantidad de toneladas a recolectar diariamente por sector:

Cuadro N°3 Cantidad de residuos a recolectar por sector

Sectores	Días de Recolección						Ton/sem Sector
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
S1 Diurno	138		92		92		322
S2 Diurno		138		92		92	322
S3 Nocturno	138		92		92		322
S4 Nocturno		138		92		92	322
Totales	276	276	184	184	184	184	1.288

5.2.4 Paso 4: Capacidad de carga útil del vehículo

A partir de los antecedentes del camión se calcula la Capacidad útil de transporte:

$$\text{Capacidad útil de transporte} = \text{Peso bruto Vehicular} - (\text{Peso chasis} + \text{Peso caja})$$

¹² En el caso que se considere más de una frecuencia el número de sectores y todos los pasos siguientes se debe calcular por separado, como si se tratara de dos servicios diferentes, posteriormente el número de camiones y de personal que requiere el servicio corresponde a la suma de ambos cálculos y sobre ese total se aplica el porcentaje de reserva para determinar el valor óptimo.

$$\rightarrow \text{Capacidad útil de transporte} = 18 - (4,06+5,9) = 8,04 \text{ Ton.}$$

Si se considera una densidad de los residuos en la caja de 0,55 Ton/m³, el volumen total es de 16 m³, lo que se ajusta al volumen de almacenamiento de la caja compactadora.

5.2.5 Pasos 5 y 6: Número de viajes por turno - Toneladas recolectadas por vehículo por turno

Para determinar el número de viajes por turno se determinará los tiempos de ciclo para cada viaje en horario diurno y nocturno, para los días punta:

a) Días Punta Horario Diurno:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Ciclo 1er viaje} &= t_1+t_2+t_3+t_4+T_R = 5 + 25 + 15 + 20+ T_R = (65 + T_{R1}) \text{ min} \\ &= (1,08 + T_{R1}) \text{ hr.} \end{aligned}$$

$$T_{R1} = \text{Capacidad útil transporte} / \text{Rendimiento recolección} = 8,04/2,6 = 3,1 \text{ hr.}$$

$$\rightarrow \text{Tiempo Ciclo 1er viaje} = 1,08 + 3,1 = 4,2 \text{ hr.}$$

Si se considera que el primer viaje tiene un tiempo de ciclo de 4,2 hrs y el turno tiene una duración de 8 hrs., entonces para el segundo viaje queda disponible un tiempo de 3,8 hr. de modo de cumplir con los horarios fijados¹³.

Se considerará dos viajes por turno.

A continuación se calcula el tiempo de ciclo que no está asociado a recolección para el 2º viaje:

$$\text{Tiempo 2º viaje} = t_2+ t_3+ t_5 = 25 + 15 + 20 = 60 \text{ min} = 1,0 \text{ hr.}$$

Por lo tanto el tiempo disponible para recolección en el 2º viaje es:

$$T_{R2} = \text{Duración turno} - T_{\text{ciclo 1er}} + \text{Tiempo 2º viaje} = 8 - 4,2 - 1,0 = 2,8 \text{ hr.}$$

La cantidad de residuos recolectados en la 2,8 hr. disponibles para recolección en el 2º viaje corresponde a:

¹³ En la selección del camión se debe tomar en cuenta además el tiempo que se requiere para completar la carga, en muchos casos los vehículos no alcanzan a realizar dos vueltas a tiempo completo y por lo tanto en la segunda vuelta se ocupa parte de la capacidad, por ello, se debe considerar un vehículo que permita completar la carga útil en el tiempo disponible para la recolección..

$$\rightarrow \text{Ton } 2^{\circ} \text{ viaje} = T_{R2} \times \text{rendimiento recolección} = 2,8 \times 2,6 = 7,28 = 7,3 \text{ ton}$$

Por lo tanto en día punta en horario diurno el vehículo de recolección realiza dos viajes transportando una carga total de $Q_{\text{turno}} 15,4 \text{ ton}$.

b) Día Punta en Horario Nocturno

$$\begin{aligned} \text{Tiempo ciclo } 1^{\text{er}} \text{ viaje} &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + T_{R1} = 5 + 21 + 15 + 15 + T_R = (56 + T_{R1}) \text{ min.} \\ &= (0,93 + T_{R1}) \text{ hr.} \end{aligned}$$

$$T_{R1} = \text{Capacidad útil transporte} / \text{Rendimiento recolección} = 8,04 / 2,6 = 3,1 \text{ hr.}$$

$$\rightarrow \text{Tiempo Ciclo } 1^{\text{er}} \text{ viaje} = 0,93 + 3,1 = 4,03 \text{ hr.}$$

Si se considera que el primer viaje tiene un tiempo de ciclo de 4,03 hr. y el turno tiene una duración de 8 hr. Entonces para el segundo viaje queda disponible un tiempo de 3,97 hr. de modo de cumplir con los horarios fijados. Por ello, se considerará dos viajes por turno.

A continuación se calcula el tiempo de ciclo que no está asociado a recolección para el 2° viaje:

$$\text{Tiempo } 2^{\circ} \text{ viaje} = t_2 + t_3 + t_5 = 21 + 15 + 17 = 53 \text{ min} = 0,93 \text{ hr.}$$

Por lo tanto el tiempo disponible para recolección en el 2° viaje es:

$$T_{R2} = \text{Duración turno} - T_{\text{ciclo } 1^{\text{er}}} + \text{Tiempo } 2^{\circ} \text{ viaje} = 8 - 4,03 - 0,93 = 3,04 \text{ hr.}$$

La cantidad de residuos que se puede recolectar en las 3,04 hr. disponibles para recolección en el 2° viaje corresponde a

$$\rightarrow \text{Ton } 2^{\circ} \text{ viaje} = T_{R2} \times \text{rendimiento recolección} = 3,04 \times 2,6 = 7,91 = 7,9 \text{ ton}$$

Por lo tanto en día punta en horario nocturno, el vehículo de recolección realiza dos viajes transportando una carga total $Q_{\text{turno}} \text{ de } 15,9 \text{ ton}$.

5.2.6 Paso 7: Cálculo del número óptimo de vehículos

$$N^{\circ} \text{ Vehículos punta diurno} = Q_{\text{día punta}} / Q_{\text{turno}} = 138 / 15,4 = 9 \text{ camiones}$$

$$N^{\circ} \text{ Vehículos punta nocturno} = Q_{\text{día punta}} / Q_{\text{turno}} = 138 / 15,9 = 9 \text{ camiones}$$

→ El total óptimo de camiones que se requieren para efectuar el servicio los días punta es de 10 unidades, considerando una reserva del 10%.

5.2.7 Paso 8: Cálculo del número de ayudantes de recolección.

$$\begin{aligned}\text{Número total ayudantes} &= \text{N}^{\circ} \text{ vehículos punta} \times \text{N}^{\circ} \text{ turnos} \times \text{Ayudantes por vehículo} \\ &= 9 \times 2 \times 3 = 54 \text{ ayudantes}\end{aligned}$$

→ Entonces el número óptimo de ayudantes corresponde a 60, considerando una reserva del 10%.

5.3 CÁLCULO DE INDICADORES

5.3.1 Indicador Ton/sector/día

$$\begin{aligned}\text{Ton/sector/día}_{\text{óptimo}} &= Q_r \times \text{días mes} / \text{N}^{\circ} \text{ sectores} \times \text{días efectivos} \\ &= 184 \times 30 / 4 \times 12 = 115 \text{ Ton/sector/día}\end{aligned}$$

Por lo tanto:

→ Rango aceptable para el indicador = (97,75 a 132,25) ton/sector/día.

5.3.2 Indicador Toneladas/viaje

$$\begin{aligned}\text{Ton/viaje}_{\text{óptimo}} &= \text{Capacidad útil de transporte} \\ &= 8,04\end{aligned}$$

→ Rango aceptable Indicador = (7,4 a 8,4) ton/viaje

5.3.3 Indicador Toneladas/vehículos programados/día

$$\text{Toneladas/vehículos programados/día}_{\text{óptimo}} = Q_{\text{turno}} \times \text{N}^{\circ} \text{ turnos}$$

En este caso Q_{turno} corresponde al tonelaje promedio transportado entre el turno diurno y nocturno, entonces

$$Q_{\text{turno}} = (15,4 + 15,9) / 2 = 15,65 \text{ Ton/turno}$$

$$\text{Toneladas/vehículos programados/día}_{\text{óptimo}} = 15,65 \times 2 = 31,3 \text{ Ton/veh/día}$$

→ Rango Aceptable Indicador = (29,11 a 33,49) Ton/veh/día

5.3.4 Indicador Habitantes/vehículos de recolección

$$\text{Habitantes/vehículos recolección} = \text{Población Atendida} / \text{N}^{\circ} \text{ vehículos día punta}$$

$$= 230.000 / 9 = 25.556 \text{ hab/vehículo}$$

→ Rango Aceptable Indicador = (23,000 a 28.111) ton/vehículo/día

5.3.5 *Indicador Habitantes/ayudantes de recolección*

Habitantes/ayudantes recolección = Habitantes atendidos / N° ayudantes día punta

$$= 230.000 / 60 = 3.833$$

→ Rango Aceptable Indicador = (3.450 a 4.216) Ton/veh/día