



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DEL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL TRANSMETRO EJE
“CORREDOR CENTRAL” PARA LA GENERACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO**

Amílcar José Ordóñez Medina
Asesorado por el MSc. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson

Guatemala, febrero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL TRANSMETRO EJE
“CORREDOR CENTRAL” PARA LA GENERACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

AMÍLCAR JOSÉ ORDÓÑEZ MEDINA
ASESORADO POR EL MSC. ING. SYDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DEL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL TRANSMETRO EJE “CORREDOR CENTRAL” PARA LA GENERACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 17 de noviembre de 2010.

Amílcar José Ordóñez Medina

Guatemala, 17 de septiembre de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director
Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Guatemala

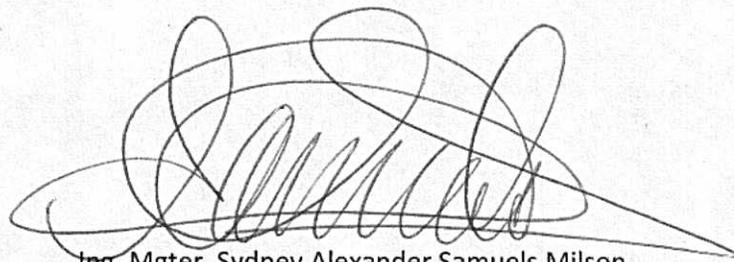
Respetado Ing. Montenegro

Por medio de la presente reciba un cordial saludo. El objetivo hacer constar que he asesorado a Amilcar José Ordóñez Medina, quien se identifica el carné No. 2003-12984. El Sr. Ordóñez está llevando a cabo el trabajo de graduación **ANÁLISIS DEL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL TRANSMETRO EJE "CORREDOR CENTRAL" PARA LA GENERACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO**, basado en el protocolo que fuera aprobado el 23 de noviembre del 2010.

Así mismo, le informo que Amilcar Ordóñez ha enmendado las correcciones realizadas y considerado los comentarios que le he indicado; por lo cual, en mi calidad de asesor del trabajo de graduación, confirmo que dicho documento cumple con la calidad técnica esperada.

Desde ya muchas gracias por la atención a la presente.

Atentamente,



Ing. Mgter. Sydney Alexander Samuels Milson

Colegiado No.1768

Sydney Alexander Samuels Milson

Ingeniero Civil Magister en Proyectos

Colegiado No. 1,768



Guatemala,
26 de enero de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

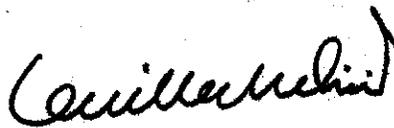
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS DEL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL TRANSMETRO EJE "CORREDOR CENTRAL" PARA LA GENERACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Amilcar José Ordóñez Medina, quien contó con la asesoría del Ing. Mgter. Sydney Alexander Samuels Milson.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



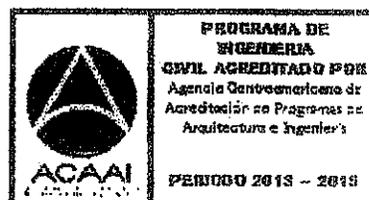
~~Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero~~
Jefe Del Departamento de Planeamiento



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





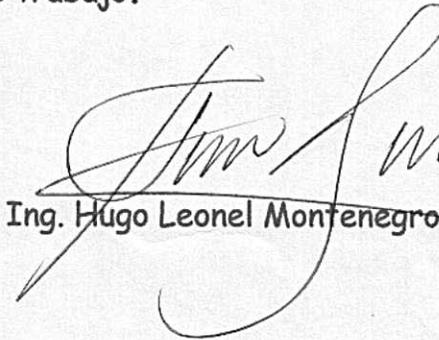
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mgter. Sydney Alexander Samuels Milson y del Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Amilcar José Ordóñez Medina, titulado **ANÁLISIS DEL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL TRANSMETRO EJE CORREDOR CENTRAL PARA LA GENERACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

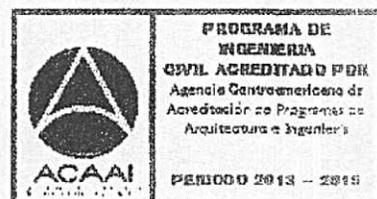

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero 2016

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala

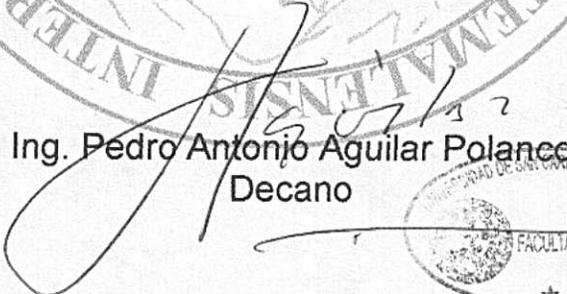


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.064.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DEL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL TRANSMETRO EJE "CORREDOR CENTRAL" PARA LA GENERACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO**, presentado por el estudiante universitario: **Amílcar José Ordoñez Medina**, y después haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, febrero de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitir los éxitos y fracasos en este camino.
Virgen María	Por su tiempo, dedicación, paciencia y apoyo en todo momento, gracias.
Mi familia	Por estar siempre presentes.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios y la Virgen María	Por el don de la vida y la sabiduría.
Mis padres	Hiram Ordóñez y Alicia Mediana por su incondicional apoyo.
Mi esposa	Alejandra Tuchan, por su amor y entrega.
Mis hermano y sobrinos	Por su constante motivación y cariño.
Mis amigos	Por acompañarme en el camino de la vida.
Mis compañeros de trabajo	Por su invaluable apoyo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el espacio que dejó crecer como persona pero sobre todo profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por su enseñanza.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Cambio climático	1
1.2. Gases de efecto invernadero (GEI)	2
1.3. Efecto antropogénico.....	4
1.4. Calentamiento global.....	5
1.4.1. Relación del transporte con el calentamiento global.....	7
1.4.2. Impacto ambiental del sector transporte en Guatemala.....	8
2. ANTECEDENTES RELACIONADOS CON EL PROTOCOLO DE KIOTO	11
2.1. Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).....	13
2.2. Ratificación del Protocolo de Kioto en Guatemala.....	14
2.3. Compromisos adquiridos	15
2.4. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).....	18
2.5. Mercado de créditos o bonos carbono	20

2.5.1.	Números del mercado de carbono	21
2.5.2.	Sectores de aplicación al mercado de carbono	22
2.6.	Mercado de carbono en sistemas de transporte masivo	24
3.	METODOLOGÍA AM00031	27
3.1.	Antecedentes	27
3.2.	Aplicación, criterios y lineamientos de la metodología	29
3.3.	Planificación y límite del proyecto	31
3.4.	Emisiones de línea base	34
3.4.1.	Determinar categoría de vehículos y sus respectivas emisiones por kilómetro	34
3.4.2.	Cálculo de emisiones por pasajero por categoría de vehículo	37
3.4.3.	Cálculo de emisiones de línea base y emisiones del proyecto	38
3.5.	Variables de monitoreo en el período de acreditación	41
3.5.1.	Encuesta de distribución modal de transporte	43
4.	LINEAMIENTOS DE DISEÑO	47
4.1.	Antecedentes de la ciudad de Guatemala	47
4.2.	Sistema de autobuses como método de transporte colectivo de la ciudad de Guatemala	48
4.3.	Problemática del sistema de transporte colectivo	55
4.4.	Parámetros de diseño	58
4.5.	Variables para la selección de un sistema de transporte masivo	60
4.5.1.	Demanda de pasajeros por hora por sentido	61
4.5.2.	Inversión para la construcción de un sistema	63
4.6.	Justificación de selección de sistema	63

4.7.	Restricciones de la metodología.....	64
4.8.	Sistema BRT de la ciudad de Guatemala.....	66
4.8.1.	Transmetro	68
4.8.2.	Transurbano	71
5.	ANÁLISIS DISEÑO Y OPERACIÓN DEL EJE “CORREDOR CENTRAL”	75
5.1.	Parámetros de diseño de eje “Corredor Central”	76
5.1.1.	Diseño general del eje	78
5.1.2.	Nuevas obras y mejoramiento a la infraestructura..	81
5.2.	Sistema de operación	86
5.3.	Sistema de recaudación	90
5.4.	Análisis de los parámetros de diseño	91
5.4.1.	Aplicabilidad de los parámetros de diseño según cumplimiento de la metodología AM0031	93
6.	ANÁLISIS DE RESULTADO Y BENEFICIOS ESPERADOS	95
6.1.	Consumo de combustible	95
6.2.	Kilómetros recorridos.....	99
6.3.	Pasajeros transportados.....	100
6.4.	Otras variables de diseño	102
6.5.	Generación de créditos de carbono.....	104
	CONCLUSIONES	105
	RECOMENDACIONES	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Límite de emisiones a contemplar en el proyecto	33
2.	Área metropolitana de Guatemala (AMG)	51
3.	Mapa sistema BRT de la ciudad de Guatemala	67
4.	Proyección Transmetro	69
5.	Estación Plaza Barrios, sistema BRT ciudad de Guatemala	70
6.	Buses del sistema BRT de la ciudad de Guatemala	71
7.	Unidad de Transurbano.....	72
8.	Primera fase de integración de Transurbano	74
9.	Mapa del eje “Corredor Central”	78
10.	Carril segregado eje “Corredor Central”	82
11.	Estación eje “Corredor Central”	85
12.	Rotulación en estación El Calvario, eje Corredor Central.....	87
13.	Centro de Control Transmetro.....	88
14.	Interacción entre Transmetro y Transurbano	89
15.	Eje “Corredor Central” sin carril segregado	103

TABLAS

I.	Listado de países anexo 1.....	16
II.	Municipios que forman parte de la AMG	50
III.	Municipios que no forman parte de la AMG	51
IV.	Demanda de pasajero para selección de sistemas de transporte masivo	62

V.	Demanda de pasajeros por hora por sentido por tramos para sistemas de transporte masivo	62
VI.	Estaciones del eje “Corredor Central”	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibel
dB-A	Decibel con filtro A
DMS	Detection Management Software
EPA	Environmental Protection Agency
Hz	Herzio
MDT	Modelo digital del terreno
Leq	Nivel de presión sonora equivalente
Lmáx	Nivel de presión sonora máximo
Lmin	Nivel de presión sonora mínimo
Lpeak	Nivel de presión sonora pico
Pa	Pascales
SG	San Gabriel

GLOSARIO

AMG	Área Metropolitana Guatemalteca.
AND	Autoridad Nacional Designada, ente designado por cada gobierno que ratificó el Protocolo de Kioto, quien otorga las cartas de aprobación para los proyecto bajo el mecanismo de desarrollo limpio.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
BRT	Sistema de Buses de Tránsito Rápido.
CCD	Convención para Combatir la Desertificación de Naciones Unidas.
CDA	Carta de aprobación. Emitida por la autoridad nacional designada para dar fe que conoce y aprueba un proyecto que desea ser registrado bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio.
CDB	Convención de Diversidad Biológica de las Naciones Unidas.

CER	Certificados de Reducción de Emisión. Conocidos como "créditos de carbono" o "bonos de carbono". Equivalen a una tonelada de dióxido de carbono equivalente.
CH4	Fórmula química del metano. Es uno de los gases de efecto invernadero contemplado por el Protocolo de Kioto con un potencial de calentamiento global es 25.
CMNUCC	Comisión Marco de Naciones Unidas. El texto de la Convención fue aprobado en la Sede de las Naciones Unidas el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Su principal objetivo es estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.
CO2	Fórmula química del dióxido de carbono. Es el principal gas de efecto invernadero contemplado por el Protocolo de Kioto. Este es tomado como referencia para establecer el potencial de calentamiento global de los gases, siendo este 1.
COP	Conferencia de las Partes.
EGA	Empresa Guatemalteca de Autobuses.

Emetra	Entidad metropolitana reguladora de transporte y tránsito de la Municipalidad de Guatemala.
EOD	Entidad Operacional Designada, agentes externos validados por la junta ejecutiva del mecanismo de desarrollo limpio para llevar a cabo validaciones y verificaciones.
GEI	Gases de Efecto Invernadero. Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja por lo cual se les atribuye una relación directa con el cambio climático.
GIZ	ONG, Cooperación alemana.
HFC	Fórmula química de los Hidrofluorocarbonos. Son gases de efecto invernadero contemplado por el Protocolo de Kioto con alto potencial de calentamiento global.
Iarna	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar.
JICA	Cooperación Japonesa.
LRT	Sistemas de trenes ligeros.

MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales del la República de Guatemala.
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio.
Metodología AM0016	Metodología del Mecanismo de desarrollo limpio para Proyectos de transporte masivos rápidos.
Metodología AM0031	Metodología del Mecanismo de desarrollo limpio para proyectos de buses de tránsito rápidos.
N2O	Fórmula química del óxido de nitrógeno. Es uno de los gases de efecto invernadero contemplado por el Protocolo de Kyoto, Su potencial de calentamiento global es 298.
ONU	Organización de Naciones Unidas.
PAN	Partido de Avanzada Nacional, partido político.
PFC	Fórmula química de los Perfluorocarbonos. Son gases de efecto invernadero contemplado por el Protocolo de Kioto con alto potencial de calentamiento global.
PIB	Producto Interno Bruto.
PICC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
PPM	Partículas por millón.
SAT	Superintendencia de Administración Tributaria de la República de Guatemala.
SF6	Fórmula química hexafluoro de azufre. Es uno de los gases de efecto invernadero contemplado por el Protocolo de Kioto con un potencial de calentamiento global es 22 000.
SIGA	Sistema prepago del sistema de transporte colectivo de Guatemala.
tCO2	Toneladas de dióxido de carbono, unidad de medida para el mercado de carbono.
URL	Universidad Rafael Landívar.

RESUMEN

El cambio climático es reconocido como una problemática mundial influenciada por los hombres debido, entre otras actividades, por el uso intensivo de combustibles fósiles en el transporte. Esta premisa ha generado que los líderes mundiales promuevan acciones para contrarrestar los efectos negativos, siendo el mejor ejemplo la firma del protocolo de Kioto, Japón.

Este establece un límite de emisiones y tazas de reducción para los países desarrollados; brindándoles como una opción para el cumplimiento de metas, la compra de créditos de carbono generados por proyecto implementados en el resto de naciones, bajo el mecanismo regulado por la Organización de Naciones Unidas (ONU). Un ejemplo de real es el eje “Corredor Central” de Transmetro, registrado exitosamente en el 2009.

Transmetro genera créditos de carbono por la eficiencia de trasladar grandes cantidades de pasajeros en tiempos breves a través de buses de alta capacidad, carril exclusivo y un sistema prepago, reduciendo así de forma considerable la liberación emisiones dióxido de carbono, comparado con el sistema tradicional de buses rojos.

El presente trabajo de graduación, presenta bajo el contexto antes expuesto, el análisis del diseño y operación del eje “Corredor Central” de Transmetro para brindar alternativas que permitan maximizar la generación de créditos de carbono y de esa forma, aumentar el beneficio económico por la venta de los mismos, partiendo de los requerimientos de la metodología establecida por ONU.

OBJETIVOS

General

Desarrollar el análisis de los parámetros del diseño y operación del eje “Corredor Central” del sistema BRT de la ciudad de Guatemala, para la maximización de generación de créditos de carbono.

Específicos

1. Conoce el contexto del cambio climático a nivel mundial y su relevancia como problemática ambiental.
2. Describir el contenido del Protocolo de Kioto y la realidad de los mercados de carbono, así como su relación con el sector de transporte.
3. Analizar la metodología AM0031, como normativa bajo la cual se registra el sistema BRT para la generación de créditos de carbono.
4. Definir la realidad del transporte en Guatemala, conociendo el parque vehicular y su aporte al cambio climático.
5. Plantear la problemática del sistema de transporte colectivo de la ciudad de Guatemala.
6. Conocer los parámetros de diseño y operación del eje “Corredor Central”.

7. Conocer los parámetros de diseño y operación del eje “Corredor Central”.
8. Analizar los parámetros de diseño del eje “Corredor Central” a partir de los supuestos de la metodología AM0031, para conocer su relación y aporte a la generación de créditos de carbono.

INTRODUCCIÓN

Los bonos de carbono, conocidos también como créditos de carbono forma parte del mecanismo de desarrollo limpio, contemplado dentro del Protocolo de Kioto, firmado en 1997. Estos son creados como una herramienta para promover el desarrollo sostenible en los países no industrializados, a partir de la implementación de proyectos basados en tecnologías eficientes que reducen de forma considerable las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Los bonos o créditos de carbono constituyen un incentivo, ya que los mismos son vendidos a países industrializados, los cuales a partir del Protocolo de Kioto, Japón, están obligados a reducir una cantidad específica de emisiones o en su defecto, tiene la opción de comprar los bonos para cumplir con la meta impuesta y no incurrir en sanciones económicas.

Un ejemplo de proyectos que reducen de forma considerables los (GEI), son los sistemas de transporte colectivo de buses rápidos, conocidos por sus siglas en inglés como BRTs, los cuales al compararse con los sistemas tradicionales, como los conocidos “buses rojos” en la ciudad de Guatemala, se comprueba que son una opción más eficiente para el traslado de alta cantidad de pasajeros en menor tiempo y con calidad de servicio, convirtiéndolos así, en una opción sostenible y ambientalmente responsable, ya que disminuyen significativamente las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), así como otros gases de efecto invernadero relacionados con el uso de combustibles fósiles, como óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄).

Este es el caso del Transmetro, conocido técnicamente como el sistema BRT de la ciudad de Guatemala, el cual a partir del exitoso registro ante la Organización de Naciones Unidas (ONU) el 24 de julio de 2012, tiene la capacidad de genera créditos de carbono, los cuales responden al consumo eficiente de combustible y la capacidad de transportar a grandes cantidades de pasajeros en tiempo breve.

El sistema integrado de transporte colectivo de la ciudad de Guatemala es conocido como un sistema BRT, ya que está compuesto por autobuses de alta capacidad que circulan en carriles exclusivos, paradas fijas elevadas y cuentan con un sistema de alimentación con el que comparte un programa prepago. Este está compuesto por ejes de operación, como el “Corredor Central”. El sistema BRT es operado por la Municipalidad de Guatemala bajo la marca comercial Transmetro, el cual se complementa con buses alimentadores operados por consorcios privados que brindan el servicio bajo el nombre de Transurbano.

Para lograr el registro y la generación de créditos o bonos de carbono del eje “Corredor Central” de Transmetro, la Municipalidad de Guatemala cumplió con una serie de requerimientos y lineamientos establecidos por Naciones Unidas, considerando múltiples factores como la situación actual del transporte colectivo, el parque vehicular y la planificación, pero el principal factor determinante para la obtención del beneficio, es contar con un diseño según lo especificado.

El presente trabajo de graduación narra la realidad ambiental mundial y los efectos del cambio climático como contexto, exponiendo los supuestos contemplando en el Protocolo de Kioto, como acuerdo vinculante que tiene como objetivo reducir la contaminación. De igual forma plantea el mecanismo

de desarrollo limpio como una opción para la generación de créditos de carbono que benefician a proyectos que impulsan el desarrollo sostenible.

Este documento describe la reseña histórica y plantea la problemática que ha sufrido la ciudad de Guatemala por el ineficiente servicio de transporte colectivo. Asimismo, lleva a cabo el análisis el diseño y operación del Eje “Corredor Central” para la generación de créditos de carbono, en búsqueda de maximizar la capacidad de generación de créditos o bonos que conlleven un mayor beneficio económico.

1. MARCO CONCEPTUAL

“Reconocer el cambio climático como una problemática mundial, ha generado que líderes de naciones e instituciones altamente reconocidas, lleven a cabo estudios e investigaciones que permitan determinar el origen del mismo y la relación que este tiene con las actividades humanas. De esta forma los conceptos de calentamiento global, gases de efecto invernadero y efecto antropogénico son cada día sujetos de mayor interés e inversión para aumentar los conocimientos relacionados a estos fenómenos, lo cual deriva en implementación de acciones correctivas concretas para reducir sus impactos¹”.

“A partir de estas iniciativas, se cuenta con protocolos vinculantes, como por ejemplo el de Kioto en Japón, el cual acompañado de diversas acciones claras promueven la responsabilidad ambiental, enfocándose en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero²”.

Un gran aporte y que ha generado que las emisiones de carbono cobren vigencia e importancia, es la creación del mercado de créditos de carbono, ya que por primera vez en la historia que una variable ambiental se le asigna un valor comercial y se genera una oferta-demanda para un producto ambiental.

1.1. Cambio climático

Se ha llamado cambio climático, a la modificación del clima con respecto a su historial en una determinada región o a nivel global. Estas se producen a

¹ Naciones Unidas. *Convención marco de Naciones Unidas para el cambio climático*. p. 5.

² Naciones Unidas. *Protocolo de Kioto*. p. 2.

muy diversas escalas de tiempo y a parámetros como la temperatura, precipitaciones, nubosidad, entre otros. Estas variaciones se atribuyen a causas naturales y, en los últimos siglos se deben también a las acciones de la humanidad y la industrialización acelerada.

El término cambio climático suele usarse, de forma poco apropiada, para hacer referencia tan solo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) usa el término cambio climático, únicamente para referirse al cambio por causas humanas³.

Así pues, se puede definir los efectos producidos por causas naturales como variabilidad natural del clima. En algunos casos, para referirse al cambio de origen humano se usa también la expresión cambio climático antropogénico.

En el siglo XX, la temperatura global promedio fue de 15 °C. Una serie de evidencias sugieren que desde el inicio de la civilización humana, la temperatura únicamente ha variado 1 °C. Según modelos científicos se pronostica un aumento de 1,4 – 5,8 °C antes del 2100 si las emisiones antropogénicas no son reducidas, lo cual indica un cambio de aceleración de la temperatura.

1.2. Gases de efecto invernadero (GEI)

“Históricamente el efecto invernadero es un fenómeno natural cuya función es regular la temperatura en la superficie terrestre, lo cual ha permitido la vida en el planeta Tierra. En los últimos dos siglos, a partir de la revolución

³ United Nations Framework *Convention on Climate Change. Información básica.* http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/items/6168.php. Consulta: 20 de enero de 2013.

industrial, se ha generado una influencia antropogénica la cual ha aumentado la liberación de gases de efecto invernadero (GEI). Científicos afirman que el aumento de GEI es el principal causante del calentamiento global y que ha provoca hoy día el cambio climático⁴.

La razón de esta discrepancia de temperatura, es que la atmósfera es casi transparente a la radiación de onda corta, pero absorbe la mayor parte de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre. Este fenómeno o efecto se debe a varios componentes atmosféricos, tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono, entre otros. Estos se denominan por sus peculiaridades.

Estos gases absorben y remiten la radiación de onda larga, devolviéndola a la superficie terrestre, causando así, el aumento de temperatura. El fenómeno atmosférico se basa en un proceso distinto al de un invernadero, pero el término se ha popularizado tanto, que ya no hay forma de establecer un término más exacto.

Los gases de efecto invernadero, se intensifican por la quema de combustibles fósiles, la tala inmoderada y quema de bosques liberan dióxido de carbono. La acumulación de este gas, junto con otros con las mismas características, atrapa la radiación solar cerca de la superficie terrestre, causando un calentamiento global tras intensificar el efecto antes mencionado.

El calentamiento global, según estudios científicos internacionales, podría en los próximos 45 años tener repercusiones devastadoras, como el aumento en el nivel del mar lo suficiente como para inundar ciudades costeras en zonas

⁴ United State Environmental Protection Agency. *Cambio climático*. <http://epa.gov/climatechange/science/causes.html>. Consulta: 15 de junio de 2013.

bajas y deltas de ríos, o alterar drásticamente la producción agrícola internacional y los sistemas de intercambio.

1.3. Efecto antropogénico

El efecto antropogénico se denomina a todo aquel impacto que se deriva de las actividades humanas, como el uso de combustible fósil para generación de energía, transporte u otros usos, fertilizante para la agroindustria y cambio de uso de suelo, así como gases refrigerantes para sistemas de enfriamiento.

El aumento de la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero ha sido algo progresivo y constante debido a la actividad humana. Por ejemplo, a principios de siglo XX por la quema de bosques para conseguir tierras de cultivo. La concentración de dióxido de carbono (CO_2) ha aumentado en las últimas décadas por uso de combustibles fósiles como fuente de energía, para el transporte y en procesos industriales.

El metano (CH_4) también es otro gas de efecto invernadero y su concentración en la atmósfera se va aumentando en mayor medida por el tratamiento de residuos en los vertederos, la digestión de los rumiantes al criarlos masivamente para alimento, la gestión del estiércol y fertilizantes agrícolas también producen importantes cantidades de óxido nitroso, y en menor medida por los cultivos de arroz y las incineradoras de residuos.

El óxido nitroso (N_2O) también se utiliza como propelente para aerosoles, en la fabricación de lámparas incandescentes y fluorescentes, entre otros. Todos estos gases contribuyen activamente al efecto invernadero antropogénico, todos los gases de efecto invernadero, tales como los perfluorcarbonados (PFC) y los hidrofluorcarbonados (HFC), que se utilizan en

equipos de refrigeración, extintores de incendios y aerosoles, además del hexafluoruro de azufre (SF6), que se utiliza como gas aislante en equipos de distribución de energía eléctrica.

A modo ilustrativo cabe mencionar que el dióxido de carbono ha aumentado de 275 parte por millón (ppm) antes de la revolución industrial, a 361 ppm, los niveles de metano se han duplicado en los últimos 100 años y la cantidad de óxido de dinitrógeno aumenta a razón de un 0,25 % anual, lo cual muestra una tendencia a largo plazo de una carga intensa de GEI que repercutirá en aumento de impactos severos a nivel global, algunos ya tangibles a través de fenómenos naturales extremos.

1.4. Calentamiento global

Los diez años más calurosos que se han registrados, se han producido desde 1997. Expertos indican que las acciones de la humanidad están causando la diferencia. El efecto de la influencia antropogénica, en particular las emisiones de gases de efecto invernadero, ha aumentado la probabilidad de tener este tipo de años muy cálidos. Tomando como referencia datos históricos y modelos científicos, la temperatura global es 0,7 °C mayor que si los seres humanos no alteraran el clima o aportaran la cantidad de emisiones que actualmente generan.

“La temperatura sigue fluctuando de un año a otro como resultado de variaciones naturales. El panel intergubernamental de cambio climático (PICC), referencia mundial científica en materia de cambio climático, reconocido por la Organización de Naciones Unidas propone una serie de medidas para reducir los daños debidos al cambio climático⁵”.

⁵ PICC. *Informe para tomadores de decisiones*. p. 2.

Entre dichas medidas, destaca poner un precio al carbono o instalar un impuesto según la contaminación que se genere tomando en cuenta a cada uno de los gases responsables del efecto invernadero. Las opciones destinadas a la preservación del medio ambiente que ha presentado el PICC son:

- Reducción del uso de energías fósiles (*bunker*, gas líquido de petróleo, carbón y otros derivados).
- Promoción de las energías renovables.
- Reducción de la contaminación debida a los medios de transporte.
- Diseño y construcción de edificios ecológicos.
- Reducción de las emisiones de la industria.
- Modificación de las prácticas agrícolas para preservar los bosques.

El informe del PICC aseguró que la actividad humana es responsable del calentamiento global y también advirtió sobre las consecuencias de este fenómeno, como la subida de temperaturas, las sequías y un aumento en el nivel de los mares, entre otros. El objetivo del documento fue identificar la tecnología y las medidas que están al alcance de la comunidad internacional para conseguir que las emisiones de gases descendan, lo cual se cree que frenará el aumento de la temperatura.

El informe sostiene que deben introducirse medidas en los sectores energético, transporte, obras públicas, agricultura y en la explotación de recursos forestales, industria y en la gestión de la basura. Adicionalmente se indicó que el compromiso no debería ser únicamente de los países desarrollados, sino también de los países en vías de desarrollo o subdesarrollados.

Activistas señalan que no deben quedar por fuera individuos e instituciones que realicen esta misma lucha para combatir el cambio climático. Actualmente, el proceso está en marcha pero hasta el momento el esfuerzo es insuficiente. En ese sentido, la propuesta es muy concreta: un compromiso con objetivos de reducción de emisiones reales y con acciones decididas en materia de energías renovables, eficiencia energética y reducción en el consumo.

Así, la tendencia es ahora a las ciudades compactas, integradas, con crecimientos urbanos integrados y no ocupando territorios de valor ecológico. Un modelo que tienda a la sostenibilidad debe basarse en la participación de la ciudadanía, promoviendo planes urbanistas en función de mejorar la calidad de vida de los habitantes.

1.4.1. Relación del transporte con el calentamiento global

Como se menciona en el la última publicación oficial para el país, *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012, vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo* publicado por la Universidad Rafael Landívar (URL) y su Instituto de agricultura y recursos naturales y ambiente (IARNA), en el capítulo tercero: “Queda claro, en todo caso, que el cambio climático es una cuestión transversal que incide en numerosos aspectos: sobre todo físicos ambientales, pero seguidamente y como consecuencia, los económicos, sociales, étnicos, culturales...”. Así pues, es importante conocer el aporte del transporte a este fenómeno con repercusiones múltiples.

El aporte del transporte, se relaciona directamente con el consumo del combustible fósil que este utiliza como fuente de energía. Como se conoce comúnmente y como afirma el *Perfil de la caracterización del parque vehicular de la ciudad de Guatemala*, la combustión móvil genera la liberación de gases y

partículas como monóxido de carbono, óxido de azufre, óxido de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y dióxido de carbono. Este último, como se expuso en los incisos anteriores, es el principal gas de efecto invernadero y a quien se le atribuye en gran medida el cambio climático.

Tomando como referencia los índices de desarrollo del Banco Mundial publicados en su página oficial de internet⁶, el aporte del transporte como sector es de más de 4 750 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente, lo que corresponde aproximadamente al 5 % de las emisiones mundiales.

1.4.2. Impacto ambiental del sector transporte en Guatemala

En Guatemala, a partir de datos publicados en *Guatemala en Cifras 2011* del Banco de Guatemala, aproximadamente el 50 % del combustible fósil es utilizado para combustión móvil, es decir transporte, en general. Según el cuadro 30 de la publicación de la URL y el Iarna⁷, en 2010 se atribuye a la actividad económica transporte, almacenamiento y comunicaciones, 1 708 624 toneladas de dióxido de carbono, lo que corresponde al 8,4 % del total de emisiones del país.

Tomando como referencia las estadísticas de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT), aproximadamente el 50 % de los vehículos se encuentran registrados en el departamento de Guatemala, por lo que se puede concluir, que el mayor impacto ambiental por el uso de combustible para transporte se encuentra en esta región.

⁶ Banco Mundial. *Indicadores*. <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.TRAN.MT>. Consulta: 20 de enero de 2013.

⁷ Iarna. *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012*, Vulnerabilidad local, creciente construcción de riesgo. 2013. p. 176.

Según información publicada por el MARN, en su estudio *Perfil de la caracterización del parque vehicular de Guatemala año base 2010* desarrollado por el ingeniero Abelardo Pérez Zamora, en la nueva ciudad de Guatemala el rendimiento promedio es de 34 kilómetros por galón, valor inferior a la mayoría de grandes ciudades del mundo, lo que tiene como consecuencia directa un mayor consumo de combustible y fósil, repercutiendo esto en la calidad del aire por la gran cantidad de emisiones liberadas a la atmósfera.

“De igual forma, la problemática de la calidad del aire en la ciudad de Guatemala tiene una relación directa con los sistemas de transporte. Iniciando con el transporte colectivo, el cual según información oficial provista por Departamento de Medios de transporte de la entidad metropolitana reguladora de transporte y tránsito (Emetra)”⁸, en Guatemala, para julio de 2009, se contaba con 3 902 unidades, las cuales en promedio para la fecha antes mencionadas, la edad de antigüedad promedio era de 17,5 años, lo cual trasladado al 2013, es más de 21 años.

De igual forma aportan emisiones, como medio de transporte cada vez más común en la ciudad de Guatemala los taxis estacionarios y rotativos, los cuales a partir de estudios desarrollados por la empresa Green Development⁹, son el medio motorizado con mayor impacto por kilómetro recorrido, ya que recorren promedio al día 264 km con un ocupación 1,83 personas, lo cual refleja que un porcentaje del tiempo, los taxistas se desplazan de forma individual, aumentando drásticamente las emisiones de dióxido de carbono.

En resumen, el capítulo 1 expone que el cambio climático se refiere a las variaciones climáticas sufridas por el aumento de la temperatura, fenómeno que

⁸ Emetra. *Oficio DMT-01104-2009*, 2009 .

⁹ Grütter Jürg; Ricuarte Susana. *Documento de diseño de proyecto “bus de tránsito rápido (BRT) de la ciudad de Guatemala”* versión 1. 2011.

tiene una relación directa y es atribuido por expertos a la actividad antropogénica, la cual a través de sus procesos agroindustriales, comerciales y domésticas, han liberado una gran cantidad de gases de efecto invernadero. El transporte, como acción de toda actividad económica y medio de locomoción de habitantes en toda ciudad, tiene un impacto considerable por la quema de combustible fósil.

2. ANTECEDENTES RELACIONADOS CON EL PROTOCOLO DE KIOTO

A pesar que a lo largo de los últimos 21 años se han llevado a cabo año con año conferencias de las partes, en las cuales se han alcanzado acuerdos para abordar la problemática del cambio climático y la necesidad de adaptación y mitigación al cambio climático, sin duda el principal acuerdo en esta materia es el Protocolo de Kioto; aunque es importante mencionar que el mismo debería ser suprimido por el nuevo acuerdo que se espera alcanzar este año en la reunión de París.

“El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kioto, Japón, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Los gobiernos signatarios pactaron reducir las emisiones de GEI en un 5 % entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. El reglamento detallado fue acordado en la conferencia de las partes número 7 (COP, por sus siglas en inglés), en Marrakech, Marruecos, en el 2001. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004¹⁰”.

El Protocolo de Kioto es un tratado vinculante que compromete a los países desarrollados, a asumir su responsabilidad por los altos niveles de gases de efecto invernadero que emiten. Esto a partir de 150 años de efectos antropogénicos como lo son las actividades industriales, el protocolo le asigna

¹⁰ CMNUCC. Unidos por el clima, p. 50.

una mayor carga a las naciones desarrolladas, bajo el principio “Responsabilidades común, pero diferentes”.

El principio de “Responsabilidad común, pero diferente” tiene como principal objetivo imponer cargas diferenciadas a cada país según su intensidad en liberación de emisión de GEI. Para ello, se dividen en tres grupos, los países de anexo I, anexo II y no anexo I. Los primeros países (anexo I), son los únicos a los que se les establece una meta de reducción, entre estos se encuentran las naciones europeas, Estados Unidos de América, Canadá, Japón y Australia.

Según lo estipulado, el compromiso entraría en vigencia en su carácter vinculante, al momento de ser ratificado por los países industrializados que representen, al menos, un 55 % de las emisiones de CO₂ a nivel mundial. Esto se cumplió con la ratificación de Rusia en noviembre de 2004, después de conseguir que la Unión Europea (UE) se comprometiera a pagar la reconversión industrial, así como la modernización de sus instalaciones, en especial las petroleras.

Adicional a la reducción específica de emisiones de gases de efecto invernadero, dentro de los objetivos del protocolo se contempla la promoción del desarrollo sostenible, propiciando y fortaleciendo la generación de energía a partir de métodos no convencionales bajos en intensidad de liberación de carbono.

El protocolo contempla en el anexo A, según lo establecido previamente por la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, las emisiones de seis gases de efecto invernadero son:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- óxido nitroso (N₂O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)¹¹

El documento concluye indicando que el calentamiento provocado por el efecto antropogénico derivado de la actividad humana, tiene un impacto visible a nivel global en muchos sistemas biológicos y físicos, confirmando así, que en todos los continentes hay signos evidentes del efecto del mismo en animales, plantas y otras especies. De igual forma, augura que el 30 % de las especies animales estarán en peligro de extinción si no se detiene el aumento de la temperatura entre 1,5 y 2,5 grados Celsius.

2.1. Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)

La Convención marco de las Naciones Unidas para el cambio climático (CMNUCC), entró en vigencia el 21 de marzo de 1994. Esta ha sido ratificada por 195 países, los cuales son llamados Partes de la Convención. Dicha unidad nace a partir de la Cumbre de Río, en 1992. De aquí surgen 2 convenciones más, la Convención de Diversidad Biológica (CDB) y la Convención para Combatir la Desertificación (CCD) de Naciones Unidas, las cuales se encuentran ligadas entre sí y se busca la cooperación entre ellas.

El principal objetivo de la CMNUCC, es estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel que pueda prevenir los daños a partir de la

¹¹ Naciones Unidas. *Protocolo de Kioto*. p. 22.

interferencia antropogénica con el sistema climático. Para lograrlo, la convención sigue los siguientes pasos:

- Reconocer que existe un problema.
- Establecer una meta ambiciosa, pero específica.
- Asignar la responsabilidad a los países desarrollados, para que lideren el tema.
- Dirigir fondos hacia actividades de cambio climático en países en desarrollo.
- Vigilar el problema y qué se está haciendo al respecto.
- Listar las acciones y establecer el camino que guie al equilibrio.
- Iniciar con la evaluación para la adaptación al cambio climático.

La CMNUCC es la entidad que regula los mecanismos del Protocolo de Kioto, tanto la implementación conjunta, como el mecanismo de desarrollo limpio. Los proyectos deben ser registrados ante esta convención, con la finalidad de ser trazables y poder obtener los beneficios, tales como los certificados de emisiones reducidas (CER), también conocidos como créditos de carbono. Cada CER equivale a una tonelada de dióxido de carbono (tCO₂), los cuales usualmente son vendidos o comercializados con los países industrializados, quienes los utilizan para poder alcanzar su meta de reducción de emisiones, bajo el Protocolo de Kioto.

2.2. Ratificación del Protocolo de Kioto en Guatemala

Guatemala firmó durante la convención de las partes realizada el 13 de junio de 1992, los acuerdos que se alcanzaron. Estos fueron aprobados por el Congreso de la República de Guatemala el 28 de marzo de 1995, mediante el Decreto No. 15-95. La ratificación del Protocolo de Kioto por parte de la

República de Guatemala se dio el 3 de junio de 1999, a partir del Decreto del Congreso No. 23-99, el cual fue ratificado por el Ministerio de Relaciones Exteriores el 07 de julio del mismo año.

Como parte del protocolo, cada país debía definir una autoridad nacional designada (AND), quien fungiría como ente rector. En Guatemala, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) fue nombrado por el gobierno central como la Autoridad Nacional designada, según el Acuerdo Gubernativo No. 388-2005. Dentro de las diversas responsabilidades del MARN, la más importantes es, la potestad de emitir la “carta de aprobación” (CDA) que valida oficialmente que el país autoriza la ejecución de proyectos bajo mecanismo de desarrollo limpio.

Bajo esta premisa, se generó el Acuerdo Ministerial No. 477-2005¹², el 19 de septiembre del 2005 para crear la Oficina Nacional de Desarrollo Limpio (MDL), así como el reglamento del procedimiento de solicitud, análisis, valoración y aprobación nacional. A partir de la ratificación del Protocolo de Kioto, este se integró a la normativa nacional.

2.3. Compromisos adquiridos

El compromiso adquirido por los firmantes del Protocolo de Kioto, según el artículo 9 de dicho convenio, es asumir cada parte sus responsabilidades comunes pero diferenciadas. Formular programas nacionales para mitigación y adaptación al cambio climático, aplicación y difusión de tecnologías y procesos ecológicamente racionales, cooperar en investigaciones científicas para la creación de información valiosa relacionada al tema, entre otros.

¹² *Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*. <http://www.marn.gob.gt>, Consulta: 25 de abril de 2013.

Es importante mencionar como se segmentan los países parte en el protocolo para los compromisos. Los países de (anexo I), son todos aquellos países industrializados y desarrollados. En total son 39 naciones incluidas bajo este esquema.

Tabla I. **Listado de países anexo 1**

Países Anexo 1		
Alemania	Australia	Austria
Bélgica	Bulgaria	Canadá
Comunidad Europea	Croacia	Dinamarca
Eslovaquia	Eslovenia	España
Estados Unidos de América	Estonia	Federación de Rusia
Finlandia	Francia	Grecia
Hungría	Islandia	Irlanda
Italia	Japón	Letonia
Liechtenstein	Lituania	Luxemburgo
Mónaco	Noruega	Nueva Zelanda
Países Bajos	Polonia	Portugal
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte		
República Checa	Rumanía	Suecia
Suiza	Ucrania	

Fuente: elaboración propia a partir de información contenida en el Protocolo de Kioto, 2014.

De los países indicados en el cuadro 1, el único país que no firmó ni ratificó el convenio, fue Estados Unidos de América.

El anexo II, incluye a los países listados por la Convención, que tienen la obligación especial de proveer recursos financieros y facilitar transferencia de tecnología a los países en vías de desarrollo. El resto de países se clasifican dentro del grupo conocidos como No anexo I. Estos, como lo indica su nombre, son todos aquellos que no forman parte de los grupos antes mencionados.

Guatemala, al igual que el resto de países latinoamericanos se encuentra incluida en este apartado.

Según lo estipulado en el artículo 3 del Protocolo, los países que forman parte del anexo I de la Convención Marco de Naciones Unidas para el cambio climático (CMNUCC), a partir del Protocolo de Kioto se comprometen a reducir sus emisiones de gas de efecto invernadero en al menos un 5 % con respecto al nivel de 1990 durante el primer período que comprende del 2008 al 2012. El anexo del Protocolo contiene los compromisos cuantificados suscritos por las partes.

Los estados miembros de la Unión Europea deberán reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 8 %, de forma conjunta, entre 2008 y 2012. Para el periodo anterior a 2008, los miembros de dicha unión se comprometen a realizar progresos en el cumplimiento de sus compromisos a más tardar en el 2005 y a poder facilitar las pruebas correspondientes. Mil novecientos noventa y cinco puede considerarse el año de referencia para las partes que lo deseen en lo que respecta a las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre-SF₆, y 1990 como referencia para las emisiones de CO₂.

Durante los años de negociación del protocolo se han hecho investigaciones económicas, para ver que repercusión podría tener la firma de este. Según estas, para la mayoría de los países los costes para cumplir estos objetivos serían bajos, de entre 3-20 dólares por tonelada de CO₂. En el caso de los sectores de mayor consumo energético esto gastos serían mayores, supondrían entre 3 – 5 % del coste de la energía.

El informe del PICC indica que el impacto de las medidas del Protocolo de Kioto apenas afectaría al Producto Interno Bruto (PIB) de la mayoría de los países, en 2010 sería inferior al 1 %, sin embargo, ayudaría a financiar proyectos involucrados con el ambiente y la sostenibilidad integral.

2.4. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

Según lo estipulado en el tratado, los países contemplados en el anexo I deben cumplir sus metas a partir de una medición nacional. El Protocolo de Kioto ofrece medios adicionales para poder alcanzar dichos objetivos; esto mediante tres mecanismos de mercado que permiten estimular las inversiones amigables con el ambiente, y de forma paralela, brindar alternativas a las partes para lograr los cometidos propuestos; siendo estos:

- El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), acuerdo entre un país en vías de desarrollo y uno desarrollado con compromisos de reducción, en definición técnica, países anexos I y países No anexo I.
- Implementación conjunta entre dos países desarrollados o anexo I.
- Mercado de carbono o reducción interna de países desarrollados o anexo I.

MDL es un acuerdo suscrito en el Protocolo de Kioto establecido en el artículo 12. El principal objetivo de este, es brindar la oportunidad a países en vías de desarrollo de impulsar proyectos que promuevan el desarrollo sostenible. De igual forma, permite a los gobiernos de los países industrializados (también llamados países desarrollados o países del anexo I del Protocolo de Kioto) y a las empresas (públicas o privadas) suscribir acuerdos para cumplir con metas de reducción de gases de efecto invernadero en el primer periodo de compromiso comprendido entre 2008 – 2012.

El MDL permite la posibilidad de transferir tecnologías limpias a los países en desarrollo. Al invertir los gobiernos o las empresas en estos proyectos MDL reciben certificados de reducción de emisiones (CER), los cuales pueden adquirir en un mercado de carbono y simultáneamente lograr completar las metas de reducciones a las que se han comprometido.

El MDL está regido por la conferencia de partes del protocolo y bajo la supervisión de la Junta Ejecutiva del mecanismo, quien es el encargado de designar Entidades Operacionales Designadas (EOD) que validen y verifiquen los proyectos. También se exige la autorización de participación voluntaria y la constancia de contribución al desarrollo sostenible del país de acogida, del proyecto por parte de la Autoridad Nacional Designada (AND), que para los efectos se trata generalmente del Ministerio o Secretaría de Ambiente correspondiente, quien a su vez puede establecer los trámites internos para su aprobación.

Para obtener la certificación de las emisiones, entre las partes interesadas, o sea el país industrializado y el país en desarrollo receptor del proyecto, deberán demostrar una reducción real, mensurable y prolongada en el tiempo de emisiones. Se debe comprobar que los CER sean adicionales a lo que habría ocurrido en ausencia de la actividad o proyecto.

Las decisiones del Consejo Ejecutivo del MDL consideran que la línea de base sea la referencia de las emisiones, tal como ocurrirían en un escenario tradicional. Analizan el criterio de adicionalidad, lo cual les permite asegurar que las emisiones evitadas son, precisamente, adicionales a las que ocurrirían en ausencia del proyecto MDL. La adicionalidad no es exclusivamente económica o financiera, para su definición se cuenta con una herramienta oficial que permite definir la adicionalidad de un proyecto.

Dentro de las atribuciones del Consejo Ejecutivo se encuentra el establecer una metodología de monitoreo y verificación que defina un planteamiento para el seguimiento y evaluación de los proyectos. De igual forma definen que los proyectos a considerar deben haber empezado después de diciembre de 2000.

2.5. Mercado de créditos o bonos carbono

Los certificados de emisiones reducidas son conocidos popularmente como “créditos de carbono” o “bonos de carbono”, los cuales son la unidad de transacción del mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones que tiene efectos negativos en el medio ambiente; los cuales se definen bajo mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global. Un bono de carbono o crédito de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono a la atmósfera.

Los bonos de carbono permiten al desarrollador de un proyecto obtener un ingreso adicional por la venta en los mercados internacionales de la reducción de emisiones que el proyecto evita o se hubieran generado en ausencia del mismo. El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a emitir CO₂ como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado.

La transacción de los bonos de carbono permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido. Las

reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO₂ equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER).

Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países (anexo I) (industrializados, de acuerdo a la nomenclatura del Protocolo de Kioto). Los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación son por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramientos de eficiencia energética de procesos, forestación, tratamientos de aguas residuales, implementación de sistemas de transportes masivos eficientes.

2.5.1. Números del mercado de carbono

Como se ha mencionado en los incisos previos, la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático es la entidad encargada de comunicar oficialmente los resultados y beneficios del MDL, su impacto para la mitigación al cambio climático y el monto aproximado generado de las transacciones. Los datos presentados a continuación, corresponden a la información provista hasta el 31 de diciembre de 2012 y fueron publicados en la página oficial de la entidad a cargo¹³, fecha que coincide con el vencimiento del primer periodo de cumplimiento del Protocolo de Kioto.

“Durante los primeros 4 años, se emitieron 1 154 664 328 CER, lo que corresponde a la reducción efectiva de la misma cantidad de toneladas de dióxido de carbono, esto a partir del registro de 5 511 proyectos alrededor del mundo. Esto equivale a transacciones que superan los US\$ 10 000 000.00. Cabe mencionar que los créditos de carbono han propiciado la generación de

¹³ UNFCCC Convenio sobre el cambio climático. *Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)*. <http://cdm.unfccc.int/> Consulta: 25 de enero de 2013.

120 000 000 000 vatios de energía renovable en países no desarrollados, entre otros datos relevantes¹⁴.

El país con mayor porcentaje de proyectos registrados es China, con el 52,6 %, seguido de India con el 18,3 % y Brasil 4,2 %. Cabe mencionar otros países latinoamericanos como México con el 2,8 %, Chile con el 1,2 % y Colombia, Perú y Argentina con el 0,8, 0,8 y 0,6 % respectivamente. Guatemala, al igual que resto de países de Centroamérica, se incluye dentro del rubro “resto de países”, sin embargo, es importante mencionar que Guatemala registró 13 proyectos, que representa el 0,002 %.

Del total de certificados de emisión reducida emitidos por la CMNUCC hasta diciembre del 2012, fueron 11 154,664 328, el 60,9 % fue generado por China, seguido por India con 14,1 % y Brasil con 8,8 %. Sobresalen países latinoamericanos como México, Chile, Argentina y Colombia, con 1,6, 1 ,08 y 0,3 %, respectivamente. Guatemala representa menos del 0,02 % del total de emisiones, sin embargo, es el octavo país latinoamericano en reducción de emisiones, según datos provistos por la página “Finanzas Carbono” patrocinada por el Banco Interamericanos de Desarrollo (BID), Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), entre otros¹⁵.

2.5.2. Sectores de aplicación al mercado de carbono

Dentro de los alcances del Mecanismo de Desarrollo Limpio, se definen lineamientos básicos que un proyecto debe cumplir, para ser elegible para la generación de créditos de carbono, estos son:

¹⁴ CMNUCC. *Reporte de beneficios del mecanismo de desarrollo limpio a 2012*,

¹⁵ Finanzas Carbono. *Estadísticas MDL*. <http://finanzascarbono.org/mecanismo-desarrollo-limpio/estadisticas/>. Consulta: 25 de enero de 2013.

- Evitar emisiones de gases de invernadero por medio de energías renovables, eficiencia energética, cambio de combustibles y otros.
- Capturar carbono por medio de la fotosíntesis en el sector forestal, secuestro geológico, entre otros.
- Contribuir al desarrollo sustentable de los países en desarrollo y faciliten el cumplimiento de compromisos de países del anexo I.

Como describe el reporte de la Conferencia de las Partes relacionada al Protocolo de Kioto sostenida en Montreal, Canadá, del 28 de noviembre al 10 de diciembre del 2005, en la 4ª decisión, “Guía de lineamientos del mecanismo de desarrollo limpio” delimita que un proyecto deben demostrar que reducen de forma significativa emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para poder generar créditos de carbono, y dicha reducción debe ser permanente en el tiempo. Entre los beneficios para los proyectos desarrollados bajo los lineamientos del MDL se pueden mencionar:

- Mejora de la rentabilidad del proyecto por la venta de los certificados de emisión reducida (CER).
- Mejor presentación de los estados financieros debido a la contabilidad de carbono.
- Mejor imagen internacional de la empresa, pues es un acto voluntario.
- Consolidación del liderazgo empresarial local, pues se adelanta al resto de sus competidores.
- Acceso a fondos verdes o de responsabilidad social.
- Fortalece la competitividad de la empresa, pues se debe implementar procesos de supervisión.

Adicional a la reducción de emisiones de GEI, los proyectos MDL deben cumplir con reglas y procedimientos específicos: a fin de obtener los certificados

de emisiones reducidas (CER), un proyecto MDL debe cumplir con una serie de prerequisites de los cuales los más relevantes son el contribuir al desarrollo sostenible del país anfitrión y la denominada adicionalidad, que es uno de los elementos más importantes en el desarrollo de un proyecto MDL.

De manera resumida un proyecto es adicional si el proyecto no se hubiese realizado sin tomar en cuenta el MDL y sus beneficios; se considera, si las emisiones antropogénicas de gases efecto invernadero por fuentes son reducidas por debajo de aquellas que hubiesen ocurrido en ausencia del proyecto MDL registrado.

Asimismo, los proyectos elegibles para formar del mercado voluntario toman en consideración temas relevantes, como el impacto en el clima y ambiente local, comunidades, biodiversidad, sociedad, cultura, entre otros. De esta manera se da un mayor valor agregado para la venta de los bonos que se obtengan por la iniciativa.

2.6. Mercado de carbono en sistemas de transporte masivo

El mercado de carbono, como fue expuesto anteriormente, ha generado la dinámica de compra-venta de créditos de carbono a nivel mundial, impulsando sectores específicos a partir del beneficio económico que estos generan, dando lugar a la implementación de tecnologías nuevas amigables con el medio ambiente.

El sector de transporte, identificado como el séptimo sector o como típicamente se indica en inglés “scope 7”, han sido aprobadas 5 metodologías por la CMNUCC. De estas, 4 son de gran escala, es decir, proyectos con la capacidad de reducir al menos 60 000 toneladas de dióxido de carbono. La

quinta metodología está identificada como consolidada. Del total de metodologías aprobadas, únicamente dos de estas contemplan transporte terrestre sobre ruedas, las otras estipulan la circulación marítima o sobre rieles.

De las metodologías para transporte terrestres sobre ruedas, las aprobadas por Naciones Unidas son:

- AM0031 “Bus Rapid Transit Projects, version 5.0.0”, que se traduce al español como “Proyectos de Buses de Tránsito Rápidos versión 5.0.0”.
- ACM0016 “Mass Rapid Transit Projects, version 3.0.0”, que se traduce al español como: “Proyectos de Transporte Masivos Rápidos, versión 3.0.0”.

“Bajo la metodología ACM0016 se han registrado a la fecha 6 proyectos, el primero fue Sistema BRT EDOMEX México, líneas 1-5, el 30 de mayo de 2011. Adicionalmente se han desarrollados 2 proyectos en India y 3 más en México, para un total de 4 proyectos en el país latinoamericano con una capacidad de reducción esperada de 463 991 CER. India espera reducir con la mitad de proyectos, casi el doble de emisiones, 722 587 CER¹⁶”.

Siguiendo los supuestos de la metodología AM0031 se han registrado hasta el 31 de enero de 2012 nueve proyectos. El primero, el cual fue también pionero para el sector de transporte en el Mecanismo de Desarrollo Limpio, es el sistema BRT de Bogotá Colombia, Transmilenio Fase II-IV. Adicionalmente, se han desarrollado 4 proyectos más en diferentes ciudades de Colombia, en Cali, Pereira, Barranquilla y Medellín, con una capacidad total de reducción de 702 013 CER. También han concluido la fase de registro exitosamente un

¹⁶ UNFCCC. *Convenio sobre el cambio climático* Proyectos. <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Consulta: 11 de julio 2013

proyecto en México, dos en China y el “Bus Rapid Transit (BRT) in Guatemala City”, en español: “Buses de Tránsito Rápido de la ciudad de Guatemala”, el cual fue registrado el 3 de julio de 2012 y cuenta con la capacidad de reducción más grande de todos los proyectos registrados, 536 148 CER.

En síntesis, el Protocolo de Kioto fue firmado el 11 de diciembre de 1997 en la ciudad de Kioto, Japón, con el objetivo de reducir las emisiones de GEI de los países industrializados en un 5 % entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. Guatemala firmó y ratificó dicho convenio, a partir de lo cual, tuvo acceso a la generación y venta de créditos o bonos de carbono a través del MDL. Dicho mercado es regulado por la CMNUCC y dentro de los sectores elegibles para generar este beneficio económico se encuentran los sistemas de transporte, a través del cual se ha registrado Transmetro.

3. METODOLOGÍA AM00031

Las metodologías para la generación de créditos de carbono, tiene como fundamento, presentar de forma clara y accesible, los supuestos que deben cumplir los proyectos que desean alcanzar la generación de CER. Estas incluyen, como componentes básicos las siguientes variables:

- Aplicabilidad de metodología.
- Normativa de referencia.
- Definiciones.
- Herramientas para la determinación de escenario de línea base.
- Cálculo de reducción de emisiones.
- Metodología de monitoreo.
- Anexos específicos según la metodología como apoyo para los desarrolladores de proyectos.

3.1. Antecedentes

La Junta Ejecutiva del MDL de la ONU, como ente rector ha aprobado dos metodologías para la generación de créditos de carbono en sistemas de transporte colectivos masivos terrestres. La más antigua es la AM0031, la cual es de gran escala, con el título "*Proyectos de buses de tránsito rápido*". La segunda y más reciente, la ACM0016, la cual no será sujeta de análisis en este documento.

La metodología AM0031 fue aprobada inicialmente por el panel de metodologías del mecanismo de desarrollo limpio, el 27 de julio de 2006¹⁷, a partir del requerimiento de la empresa suiza DNV para el registro del proyecto del sistema BRT de Bogotá, Colombia, Transmilenio en sus fases II a la IV. Esta fue la primera versión 1.1.

Esta metodología, desde su aprobación, ha sufrido modificaciones a partir de requerimiento, tanto del panel de metodología, como revisiones de expertos técnicos a nivel mundial. La primera versión 1.1 fue válida hasta el 30 de julio de 2009, sustituida por la versión 2.0. vigente hasta el 29 de octubre del mismo año.

La versión 3.1.0 de la metodología fue válida del 30 de octubre del 2009 al 24 de noviembre de 2011, cuando la sustituyó la versión 4.0.0, la cual nuevamente se discontinuó al entrar la versión vigente 5.0.0 el 23 de noviembre de 2012.

La estructura primordial de la metodología AM0031, si bien ha sufrido variaciones con las diferentes versiones, no ha sido modificada radicalmente. Bajo esta premisa, es válido conocer los componentes integrales, los cuales dictan los supuestos que todo proyecto debe cumplir, si desea alcanzar el registro y emisión de créditos de carbono.

¹⁷ Convenio sobre el cambio climático UNFCCC. NM0105-rev: sistema de tránsito rápido de autobuses de Bogotá, Colombia: TransMilenio Fase II a IV. <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/pnm/byref/NM0105-rev>. Consulta: 21 de junio de 2013.

3.2. Aplicación, criterios y lineamientos de la metodología

La metodología AM0031 define como principio básico de aplicación, que el proyecto consista en la construcción y operación de sistemas de autobuses de tránsito rápido, conocidos por sus siglas en inglés como sistemas BRT. De igual forma contempla la extensión o expansión de un sistema ya existente, siempre y cuando se desarrollen nuevas líneas troncales.

Para aplicar la metodología, no hay limitante de tipos de combustibles, estos pueden ser líquidos o gaseosos, así como fuentes alternas, por ejemplo biodiésel. Es indispensable que el proyecto sea terrestre y que el desarrollo del nuevo sistema BRT o su ampliación, no desplace o inhabilite proyectos de transporte colectivo masivo, como trenes o tranvías.

Es importante mencionar que, como supuesto fundamental de aplicabilidad, se debe demostrar, que el escenario tradicional o típico sería, continuar con el medio de transporte convencional que hasta la fecha la ciudad o estado cuentan, es decir, que la inversión en un sistema BRT no es la opción usual.

Las metodologías para la generación de créditos de carbono, típicamente se basan o toman como referencia, normas previas que han sido desarrollados por técnicos expertos de los sectores específicos, así como la normativa general del mecanismo de desarrollo limpio.

La metodología AM0031, como fundamento técnico, toma como referencia la norma “línea base para proyectos de buses de tránsito rápido”, la cual fue desarrollada por la empresa Grütter Consulting, consorcio suizo líder en la gestión de estudios para determinar el impacto ambiental de transporte

colectivo e industrial, tanto terrestre, como marítimo. Dicha regulación se identifica bajo la simbología NM0105¹⁸.

Adicional a norma técnica de referencia, se contemplan las herramientas institucionales del mecanismo de desarrollo limpio, las cuales fueron desarrolladas con el propósito de unificar los conceptos para ciertos criterios transversales de los proyecto de créditos de carbono.

Los documentos tomados como referencia por la metodología, son la herramienta para demostración de adicionalidad, cálculo de emisiones y fugas por el consumo de energía eléctrica de la red y cálculo de las fugas de emisiones por la combustión fósil. Es importante mencionar, que se debe aplicar siempre la versión vigente de las herramientas.

En las metodologías aprobadas por la ONU, la sección de definiciones tiene el objetivo de plantear conceptos, primordialmente técnicos, que limiten cualquier interpretación errónea parcial o total, exponiendo claramente, las variables o componentes específicas relacionadas a los proyectos sujetos de análisis.

La metodología AM0031 incluye la definición de los sistemas de tránsito rápido masivo, así como los sistema BRT, los cuales, según la traducción de la versión oficial en inglés, como un servicio de un sistema colectivo de pasajeros urbano o extraurbano de tránsito basado en autobuses, los cuales se desplazan en rutas troncales, permitiendo una operación de alto rendimiento para el traslado de gran cantidad de pasajeros en tiempos breves. Adicionalmente se

¹⁸ UNFCCC. *Convenio sobre el cambio climático*. AM0031: autobús de tránsito rápido proyecta -Versión 5.0.0
<http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/GBFY1EP0Q2XUZQY9HJLL5BP9DOM0QW>. Consulta: 10 de agosto de 2013.

definen conceptos como rutas alimentadoras, qué es expansión y extensión de rutas, entre otros.

3.3. Planificación y límite del proyecto

El establecimiento de línea base es fundamental para el desarrollo de los proyectos con las opción para generar créditos de carbono, ya que es a partir de esta, que se definen las principales variables a considerar en cálculo de reducción de emisiones.

Las herramientas que permiten definir el escenario de línea base, tiene relación directa con la capacidad de generación de créditos de carbono, su aplicabilidad correcta tiene un impacto en la estimación de reducciones, lo que redundando finalmente en maximizar los beneficios económicos que se pueden percibir por la venta de certificados de reducción de emisiones.

Establecer los límites del proyecto es primordial, para determinar el área física en dónde se considera que el proyecto se lleva a cabo. La variable sensible para establecer esta barrera, son los viajes que se llevan a cabo dentro del sistema, definiendo que el sistema puede ser únicamente las rutas troncales, o estas últimas y las alimentadoras.

El viaje de un pasajero, se considera desde su inicio cuando entra a uno de los componentes del sistema hasta su destino final. Si el usuario utiliza medios alternos de transporte, como autobuses extraurbanos u otros, estos por no ser considerados parte del sistema integrado de transporte, no se valora como inicio del viaje donde aborda la unidad extraurbana, sino hasta que ingresa a uno de los componentes del estudio, los buses troncales o alimentadores.

De esta forma, las barreras físicas del proyecto, se establecen en el área de influencia directa del sistema, es decir, hasta donde las rutas troncales y alimentadoras tengan acceso, hasta ahí es el límite físico y geográfico del proyecto.

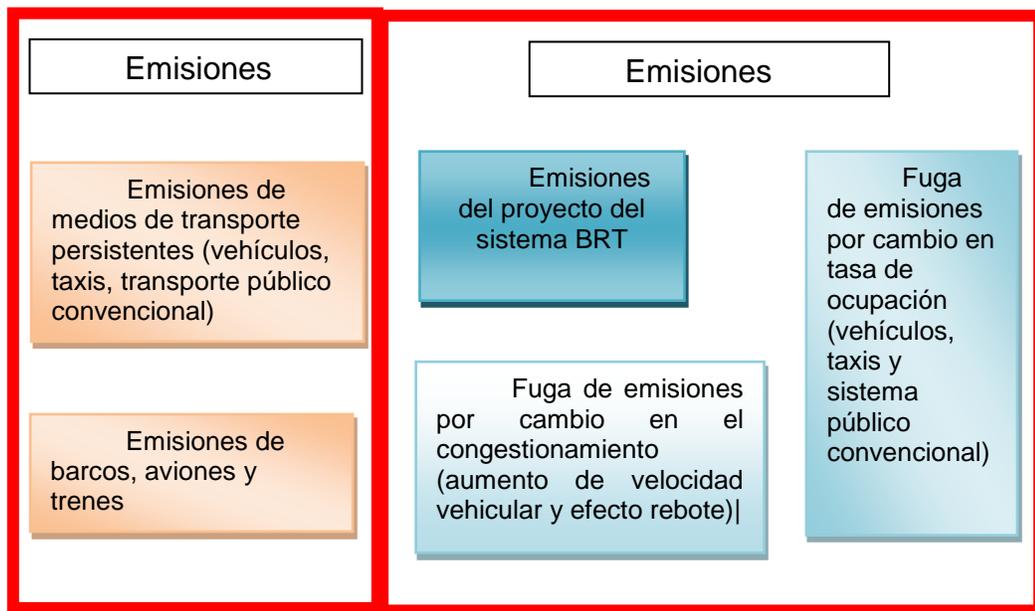
Es importante establecer un límite para las emisiones que serán consideradas o no dentro del proyecto. Según la metodología, no se toman en cuenta como escenario de línea base o de proyecto, las emisiones por los medios de transporte terrestres que continúen en operación de forma simultánea con el sistema, como los vehículos, motocicletas, taxi y sistema público convencional. De igual forma, los sistemas de transporte no terrestres, como vuelos y barcos, y sistemas sobre rieles.

Las emisiones que se deben incluir dentro de los límites del proyecto, son las generadas por la operación del sistema BRT para el transporte de pasajeros. De igual forma deben de considerarse las siguientes fugas:

- Incremento de velocidad de vehículos. Esto se asume considerando que el sistema BRT sustituye el sistema tradicional, por lo tanto, puede aumentar la fluidez del tránsito y repercutir en aumento de la velocidad.
- Efecto de rebote. Considerando que la eficiencia del sistema, incide en el aumento de viajes.
- Cambio de tasa de ocupación de vehículos y taxis. Tomar en cuenta que la implementación del sistema puede repercutir en la ocupación de los medios de transporte, aumenta o disminuyendo su densidad.
- Cambio de tasa de ocupación en sistema de buses tradicionales. Considerar que el nuevo sistema puede tener un impacto directo en los tradicionales, provocando migración de uno a otro y por lo tanto incidir en aumento de emisiones por transporte de pasajero.

La siguiente imagen, resumen de forma gráficas las emisiones a considerarse dentro del alcance del proyecto.

Figura 1. **Límite de emisiones a contemplar en el proyecto**



Fuente: elaboración propia.

Como presenta la figura 1, las emisiones excluidas se limitan a las que son generadas por los medios de transporte particulares o medios convencionales, así como las que se liberan a través de locomoción acuática, en rieles o aérea, es decir, todas aquellas que nos son partes del sistema, como se plantea en el sector derecho.

Adicional a las emisiones propias de los componentes del sistema BRT, dentro del área derecha de la figura se ubican también las fugas por cambios en el congestionamiento o el efecto de rebote, así como las fugas reducidas por el cambio de transporte modal ligadas directamente a la operación del proyecto.

3.4. Emisiones de línea base

Las emisiones de línea de un proyecto de créditos de carbono, establecen el impacto inicial en cuanto a la liberación de emisiones a la atmósfera, es decir el escenario antes de que se lleve a cabo el proyecto. Este procedimiento es vital para el cálculo de reducciones, ya que es este planteamiento de la situación previa, el que permite determinar la magnitud del beneficio del proyecto y por lo tanto, su capacidad de generar créditos de carbono.

Según la metodología AM0031, el escenario de línea base se construye de dos procedimientos fundamentales, siendo estos:

- Determinar las emisiones por pasajero por tipo de vehículo. Dicho cálculo debe llevarse a cabo antes del inicio del proyecto.
- Determinar las emisiones de línea base, las cuales se estimarán una vez se haya implementado el proyecto, tomando en cuenta los valores de emisión por pasajero por tipo de vehículo, a partir del factor de cambio de uso modal a obtener de la encuesta anual.

3.4.1. Determinar categoría de vehículos y sus respectivas emisiones por kilómetro

El primer paso para determinar las categorías de los vehículos, es establecer cuales son representativo por su cantidad y presencia en la región o ciudad donde se lleve a cabo el proyecto¹⁹. De igual forma, se debe considerar las variaciones dentro de cada tipo de categoría, ya que puede presentarse el caso en el cual se cuente, por ejemplo, con autobuses medianos y grades, los

¹⁹ Metodología AM0031 ver. 5.0.0, p. 12.

cuales deben segregarse, siempre que se cuente con la información mínima de tasa de ocupación y rendimiento.

Como requerimiento mínimo de la metodología, se debe incluir el transporte colectivo público, en todas sus variantes, vehículos no motorizados, como bicicletas y considerar la inducción de tráfico, el cual consideraría el transporte predominante del área.

La metodología estipula también, considerar sin excepción, los medios relevantes que tiene relación con el proyecto del sistema BRT, tomando como premisa, que exista la posibilidad de un cambio de medio de transporte particular, hacia el nuevo sistema colectivo.

De igual forma, se deberá tomar en cuenta para ampliaciones o extensiones, que las emisiones del sistema previo y rutas troncales activas, no se consideran dentro de la emisiones de línea base, por consiguiente, no son sujetas de la generación de créditos de carbono.

Las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) por kilómetro por categoría de vehículo, deberán calcularse previo al primer período de registro del proyecto. Dicha variable, se basa en el consumo de cada tipo de combustible analizado de forma independiente por categoría. La metodología establece que para dicho fin, deberá tomarse en cuenta la cantidad de carbono de los tipos de combustible.

Los factores de emisión a considerarse para el cálculo de emisiones, deberá ser idealmente, a partir de información local generada en estudios científicos respaldado en metodologías mundialmente reconocidas. De no contar

con esta información, se recomienda utilizar valores generados por entidades prestigiosas, como el panel intergubernamental para el cambio climático.

El cálculo de emisiones por kilómetro considera las siguientes variables, las cuales deben de obtenerse para el año previo al inicio de la operación del sistema BRT y su registro ante la ONU:

- Consumo energético específico del combustible en análisis para una categoría específica. Se debe obtener en la dimensionales (litros/kilómetro, kilovatio hora/kilómetro, kilogramo/kilómetro o metros cúbicos/kilómetro).
- Factor de emisión específico por tipo de combustible. Dimensionales (gramos de CO₂/litro).
- Total de vehículos por categoría.
- Número de vehículos por categoría, segregados por tipo de combustible.
- Tipos de combustible.
- Categorías de vehículos.

El primer punto listado anteriormente, es una variable sensible, para la cual la metodología plantea dos métodos de cálculo. La primera es llevar a cabo un estudio con un nivel de confianza mayor al 95 %, en la cual se desarrolla para cada categoría de vehículo y tipo de combustible, una muestra representativa que permite determinar el consumo promedio.

La segunda opción, es tomar como referencia valores basado en literatura o estudios nacionales o internaciones, los cuales estén basados en vehículos similares en ambientes comparables. Es viable, si existe información publicada, tomar los datos de la guía del PICC.

3.4.2. Cálculo de emisiones por pasajero por categoría de vehículo

Determinar las emisiones por pasajero por categoría de vehículo es un procedimiento siguiente, al establecimiento de impacto por kilómetro por tipo de vehículo. Esta variable considera la liberación de CO₂ por pasajero, por tipo de vehículo por viaje realizado.

Para el cálculo de pasajeros en vehículos particulares, taxis y motocicletas, se debe considerar valores previos al inicio del proyecto, sin embargo, es necesario tomar en cuenta la tasa de ocupación de vehículos y taxis, la cual puede variar en el tiempo y la metodología exige la revisión de este valor a lo largo de la operación del proyecto.

Las emisiones por pasajero para vehículos particulares, taxis y motocicletas, deben considerar las siguientes variables disponibles para el año previo a la implementación del proyecto o su registro antes la ONU:

- Emisiones por kilómetro por categoría de vehículo
- Tasa de ocupación de la categoría
- Distancia promedio de un viaje

Este último concepto en el tercer punto, se refiere a un viaje específico desde un punto de salida hasta el destino final, y no el viaje completo o redondo, considerando que parte y regresa el mismo punto.

El cálculo de emisiones por pasajero para transporte colectivo, deben considerar las siguientes variables disponibles para el año previo a la implementación del proyecto o su registro antes la ONU. La relación entre estas

permite determinar la cantidad de emisiones que libera un pasajero de transporte público por viaje realizado:

- Emisiones por kilómetro del sistema de transporte colectivo. Si se contara con autobuses de diferentes dimensiones, todas las categorías de vehículos deberían de incluirse.
- Distancia total recorrida por unidad en un año.
- Pasajeros transportados por unidad en un año.

3.4.3. Cálculo de emisiones de línea base y emisiones del proyecto

El cálculo de las emisiones de línea base, se determina en función de las emisiones por pasajero por viaje por categoría de vehículo, los cuales se han transportado en el sistema BRT. Para conocer las emisiones de cada categoría y establecer su impacto por viaje por pasajero, los incisos anteriores detallaron la forma de cálculo y las variables necesarias para obtener dicho valor.

Adicional a la información recopilada previamente al inicio del proyecto y sus respectivos cálculos, es complementario conocer la operación real de sistema y establecer qué medio de transporte hubieran usado los clientes del sistema BRT en el caso hipotético que este no existiera.

Esta premisa permite establecer, a partir de una encuesta específica, el cambio de modalidad de transporte que ha generado la implementación y operación del sistema BRT, estableciendo el porcentaje de usuarios que han

migrado de sus vehículos propios o taxis, por ejemplo, a transporte colectivo masivo BRT, o en su defecto, del sistema convencional nuevo sistema.

La encuesta se detalla dentro de las variables de monitoreo de este capítulo, sin embargo, para comprender el procedimiento de cálculo de las emisiones de línea, es fundamental conocer su existencia y su objetivo. Las emisiones de línea base se calculan en base de las siguientes variables:

- Emisiones por pasajero por categoría de vehículo.
- Cantidad de pasajeros transportados por el sistema BRT en un tiempo determinado.

El producto de ambas variables, debe calcularse para cada categoría de vehículo, y la sumatoria de los productos, da como resultados, las emisiones del escenario de línea, es decir, el impacto ambiental que existiría, si no operara el sistema BRT y los usuarios utilizaran los métodos convencionales.

Las emisiones del proyecto, se refiere al impacto ambiental que genera la operación del sistema BRT, la cual debe estimarse para poder a partir de este valor, establecer la diferencia que existe entre este dato y el de la línea base, pudiendo establecer el aporte real a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El impacto ambiental del sistema BRT, por lo tanto del proyecto, se compone de tres variables para determinar sus emisiones, el consumo de combustible, tanto del sistema troncal como el alimentador, la distancia recorrida por todos los tipos de buses y los pasajeros transportados²⁰.

²⁰ Metodología AM0031 ver. 5.0.0, 2012. p. 25.

Para determinar el consumo de combustible es indispensable contar con información totalmente trazable sobre el abastecimiento del mismo, detallando el despacho por unidad por día. Dichos valores deben ser sometidos a auditoría y contrastados con informes de terceros o reportes de compras, como por ejemplo, reporte de ventas de las gasolineras.

Es importante mencionar, dado su importancia del proyecto, deben auditarse no solo los respaldos físicos y digitales, sino contar con documentación que respalde la calibración de las bombas de despacho, control de compra-venta de combustible general del operador y cuadro de inventario existente.

La segunda variable sensible es la distancia recorrida por cada unidad de transporte. Esto ya que de esta forma, se establecen las emisiones por kilómetro del sistema BRT. Esta información debe registrarse por unidad y se debe contar con sistemas de control cruzados que permitan validar la información, como documentación física de la revisión de kilometraje diario o archivos digitales producto de sistemas de geo-posicionamiento satelital (GPS), así como odómetros en buen estado.

La tercera variables, es el número de pasajeros transportados por el sistema. Dicho valor tiene una relación directa con la eficiencia en la operación, ya que al generación de créditos de carbono se desarrolla bajo la premisa de transportar grandes cantidades de usuarios en tiempos breves.

Al igual que las dos variables previas, para el número de usuarios es fundamental contar con trazabilidad de información de respaldo, ya que se cuenta con un software que permita brindar los datos, cuyo sistema operativo blindado garantice la fidelidad de los valores, o en su defecto, los depósitos

bancarios correspondientes a los ingresos, los cuales provienen del ingreso de usuarios.

Es importante mencionar que para los casos de extensión o ampliación del sistema, se consideran únicamente las variables antes mencionadas, para los nuevos ramales o rutas troncales, es decir, el consumo de combustible de los buses e ingreso de pasajeros que se da en el servicio previo a la inscripción del proyecto para la generación de créditos de carbono, no se toma en cuenta como emisiones del proyecto o de línea base.

Ahora bien, si al momento de la ampliación, las nuevas troncales comparten estaciones con el sistema previo, se requiere contabilizar la cantidad de pasajeros que ingresan por las estaciones compartidas y asignar únicamente el 50 % de los usuarios al proyecto de créditos de carbono.

3.5. Variables de monitoreo en el período de acreditación

El período de acreditación, es aquel en el que el proyecto a partir del monitoreo de las variables establecidas, tiene la capacidad de generar créditos de carbono. Para las metodologías de gran escala, como lo es la AM0031, el lapso es establecido por versión 5.0.0 vigente, es de 10 años, renovable una vez, para un total máximo de 20 años. Sin embargo, para la versión 3.1.0, bajo la cual se registro el proyecto de la ciudad de Guatemala, este es de 7 años, renovable dos veces, para un total máximo de 21 años para la generación de bonos.

Durante el período de acreditación, es cuando se lleva a cabo el monitoreo de variable según lo establece la metodología y el manual de monitoreo que es aprobado al momento del registro del proyecto ante la ONU. Es importante

mencionar que un proyecto no genera créditos de carbono al momento de registro, sino hasta que a través del monitoreo demuestra que efectivamente se ha reducido la cantidad de emisiones que se ha proyectado.

El registro es un paso fundamental el proceso, pero el monitoreo es medular, ya que sin este, el proyecto nunca percibe el beneficio económico de la venta de créditos de carbono. Esta situación otorga una excelente oportunidad, para aumentar la cantidad de bonos a generar, por el buen monitoreo y propiciar escenarios adecuados para las variables sensibles.

Según lo estipulado en la metodología AM0031, las variables a monitorear son las siguientes.

- Variables del cálculo de emisiones de línea base. Esto requiere llevar a cabo estudios de validación de los valores estimados para la determinación de la línea, lo cual se puede resumir en la estimación de la cantidad de emisiones que se libera por el transporte de un pasajero por viaje de una categoría de vehículo específico.
- Variables del cálculo de las emisiones del proyecto. Estas corresponden al monitoreo del consumo de combustible de cada una de las unidades que componen el sistema BRT, así como la distancia recorrida que permita establecer por su cociente, las emisiones por kilómetro del sistema.
- Variables para la determinación de posibles fugas. Se debe determinar las tasas de ocupación de los vehículos particulares, así como taxis y sistema convencional colectivo, esto en los años 1 y 4 de registro. De

esta forma, se puede determinar la variación por la implementación del BRT en la región.

3.5.1. Encuesta de distribución modal de transporte

La encuesta para determinar la distribución modal de los usuarios del sistema BRT, es quizá la variable de monitoreo más sensible y representativa para el cálculo de reducción de emisiones, ya que es a partir de esta, que es factible determinar la diferencia de emisiones entre la línea base y el proyecto, planteando el escenario hipotético de la situación, si el sistema BRT no existiera.

Bajo esta premisa, el objetivo de la encuesta es determinar a partir de preguntas directas a los usuarios del sistema BRT, que medio de transporte utilizarían en el caso que las rutas troncales no existieran. Para esto, la metodología propone una parámetros que se deben cumplir, para que la encuesta sea representativa. Los elementos metodológicos de la encuesta son los siguientes:

- La encuesta debe de realizarse con error máximo de 5 % y un intervalo de confiabilidad de 95 %.
- El muestreo debe ser estadísticamente robusto y relevante, teniendo en cuenta que la distribución debe ser aleatoria y es representativa de las personas que usan el sistema BRT.
- La metodología de selección de las personas a encuestar, está basada en un muestreo aleatorio sistemático sobre el flujo de personas por estación, por día y por hora, para lo cual es necesario contar con el flujo

total de pasajeros por estación–día-hora. De esta forma, se asegura la representatividad de la misma.

- La encuesta debe realizarse a mayores de 12 años de edad.
- La encuesta es realizada cada dos meses a partir del registro del proyecto.
- La encuesta es realizada por una organización externa (firma, empresa) con conocimiento especializado en encuestas y técnicas de encuestas.
- El entrenamiento de encuestadores es llevado a cabo por la firma que realiza la encuesta. El entrenamiento está basado en técnicas estándar de cuestionario y aseguramiento de la calidad.
- La encuesta permite una separación clara de los modos de transporte que el pasajero habría utilizado en ausencia del proyecto.
- La encuesta incluye preguntas de control para asegurar una aproximación conservadora.
- Antes de iniciar la encuesta oficial, realizar una prueba del mismo cuestionario, con el fin de asegurarse que las preguntas de respuesta múltiple son entendidas correctamente por los pasajeros.

Dentro de la metodología, se establece que deberá realizarse, como mínimo 1 000 encuestas bimensuales. La distribución de la muestra deberá ser determinada por un experto en el desarrollo de este tipo de estudios, teniendo en cuenta las franjas horarias, los usuarios que ingresan al sistema y las zonas

geográficas en las que se encuentran ubicadas las estaciones y portales. El estudio se debe llevar a cabo durante siete (7) días consecutivos, cada mes, a lo largo de las estaciones del sistema.

En síntesis, la metodología AM0031 fue aprobada por el panel de metodologías del MDL de la ONU, el 27 de julio de 2006. Esta fue desarrollada para el diseño, construcción y operación de sistemas colectivos de transporte masivo a través de buses de tránsito rápido que circulan en carriles exclusivos. La misma detalla los elementos que definen la línea base para poder determinar la cantidad de reducción de emisiones de un proyecto, así como las variables sensibles para el monitoreo.

Bajo esta metodología se registró el sistema Transmetro para la generación de créditos de carbono, por lo que es relevante para este estudio conocer sus fundamentos y lineamiento y así maximizar la generación de certificados de reducción de emisión.

4. LINEAMIENTOS DE DISEÑO

4.1. Antecedentes de la ciudad de Guatemala

Según *Guatemala de ayer*, en 1776, se asienta en el valle de La Ermita la Nueva Ciudad de la Asunción, luego del terremoto de Santa Marta del 29 de julio de 1773, la cual afectó la infraestructura de la hasta entonces Capitanilla General del Virreinato de México, Ciudad de Santiago de Los Caballeros”.

Según Elubia de León en su libro *El transporte urbano en la Nueva Guatemala de la Asunción*, desde entonces, y como necesidad nata de las habitantes de las urbes, se contaba con un sistema de transporte, el cual no se consideraba como colectivo; es decir, se disponían únicamente para la clase oligarca que contaba con acceso a este beneficio, reduciendo la oportunidad para el resto de los habitantes de moverse en mulas, caballos u otros tipos de animales de carga.

Posteriormente los carruajes tirados por caballos, fueron puestos a disposición de la población a través de empresas de alquiler. Estos se denominaron “carruajes de punto”. Paralelo a este servicio, en el periodo de gobiernos liberales, se desarrolla un nuevo sistema de transporte, que por primera vez en Guatemala, tiene un fin colectivo, este fue el tranvía de tracción caballar. En 1906 se inaugura el primer ramal del nuevo sistema de transporte colectivo, el ferrocarril Decauville.

Los sistemas antes mencionados sufrieron de diferentes problemáticas, desde el servicio decadente y poco ágil, hasta el costo de los combustibles que

encarecía los servicios. Así pues, durante el gobierno del general Lázaro Chacón, el 16 de noviembre de 1927 por iniciativa propia inicia operaciones la Empresa Guatemalteca de Autobuses (EGA). De ahí en adelante, el sistema de transporte colectivo de la Ciudad inició una transformación hacia lo que hoy en día aún se conoce y utiliza.

4.2. Sistema de autobuses como método de transporte colectivo de la ciudad de Guatemala

Como se planteó en el inciso anterior, el concepto de transporte colectivo para la ciudad de Guatemala, tiene su origen en el alquiler de carruajes de punto y posteriormente el tranvía y ferrocarril; migrando hasta el sistema de autobuses que hasta la fecha se conoce. Esta sección se concentra en análisis de este último, comprendiendo la dinámica que ha existido desde sus inicios en la tercera década del siglo XX hasta la fecha.

Según Elubia de Leon en su libro *El transporte urbano en la Nueva Guatemala de la Asunción*, el sistema de autobuses como método de transporte colectivo, en su origen fue una solución oportuna, la cual fue seleccionada siguiendo modelos de ciudades cosmopolitas a nivel mundial. A lo largo su evolución se han creado problemáticas de diversos tipos por lo que ha sido necesario regular el mismo, crear reglamentos que busquen su óptimo desempeño, así como mitigar diversos impactos y anteponerse o en su defecto, reaccionar ante problemáticas específicas.

Según el *Informe de la comisión multisectorial del transporte colectivo urbano de pasajeros en el área metropolitana de la ciudad de Guatemala año 2000*, un punto de inflexión en el sistema, según el centro de Estudio Urbano, la problemática del transporte urbano en el área metropolitana de la ciudad

Guatemala, Centro de Estudios Urbanos y Regionales USAC, 1990, se generó en la administración del alcalde Manuel Colom Argueta, que durante 1972 elaboró a partir de una comisión conformada por diversas entidades nacionales e internacionales, un planteamiento para la remodelación de rutas. Adicionalmente es importante mencionar que en dicho período, también se intervinieron a cada uno de los propietarios individuales y consorcios de los dueños de las unidades de transporte, marcando de esta forma una clara participación de la Municipalidad para mejorar el servicio.

En 1974, derivado de las crecientes crisis relacionadas al transporte, se iniciaron los subsidios a la operación del sistema, provistos típicamente por el Gobierno Central y cuyos beneficiarios indirectos fue la población, pero los beneficiarios directos fueron los transportistas. Cabe mencionar que los subsidios han sido siempre ligados a promesas de mejoras en el servicio y estas relacionadas a un posible aumento del pasaje. Este círculo vicioso de solicitud de aumento del pasaje, protestas populares, amenazas de paro del transporte y nuevos subsidios ha sido constante y el servicio ha sido igual de deficiente históricamente.

Otro hecho histórico fueron las “jornadas populares de octubre de 1978”, las cuales quedaron marcadas como un hecho sangriento del país, el cual fue detonado por el aumento al pasaje del sistema de transporte, que representaba el 100 % de aumento de cinco a 10 centavos (Q 0,10). Estos eventos culminaron con el asesinato del dirigente estudiantil Oliverio Castañeda, el 20 de octubre del año mencionado. Este tipo de sucesos, aunque no en la escala de los episodios antes mencionados, continuaron generándose en la década de los 80 y 90.

Los aumentos al pasaje a lo largo de la historia han causado revueltas populares como la descrita en el párrafo anterior. El valor del pasaje ha aumentado desde ese entonces, hasta llegar al costo actual de Q 1,00 para buses Transmetro y Q 1,10 para en el sistema prepago, Transurbano-Transmetro.

En 1992, con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), se publicó el estudio de plan maestro, un análisis a partir del desarrollo de la matriz origen-destino que complementada una serie de estudios permiten, por primera vez, comprender el mecanismo de operación del transporte, no solo en la ciudad de Guatemala, sino en la zona identificada como Área Metropolitana de Guatemala (AMG), siendo esta la zona de influencia que es requerido analizar si se desea plantear soluciones integrales.

La AMG está comprendida por 10 municipios del departamento de Guatemala²¹, entre los que se incluye el municipio de Guatemala. Los otros 7 restantes no están clasificados como parte del AMG. A continuación se presentan los cuadros que listan los municipios.

Tabla II. **Municipios que forman parte de la AMG**

Municipios del departamento de Guatemala que componen el AMG	
Guatemala	Fraijanes
Santa Catarina Pinula	Amatitlán
San José Pinula	Villa Nueva
Chinautla	San Miguel Petapa
Mixco	Villa Canales

Fuente: elaboración propia.

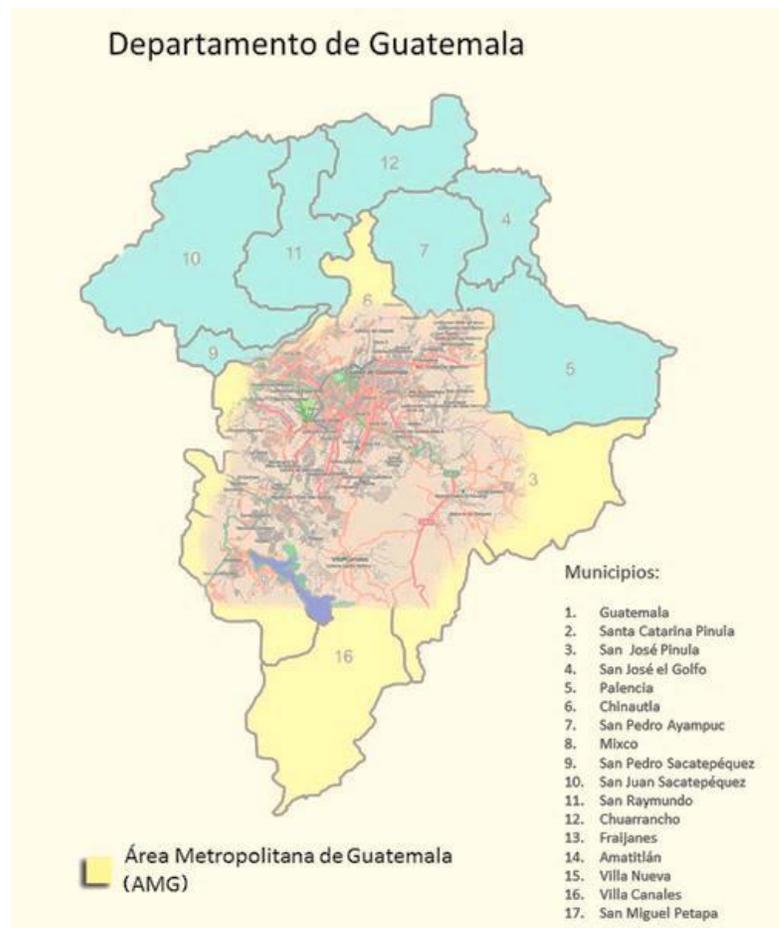
²¹ GRÜTTER Jürg; Susana RICUARTE. *Documento de diseño de proyecto “bus de tránsito rápido (BRT) de la ciudad de Guatemala” versión 1*, p. 5.

Tabla III. **Municipios que no forman parte de la AMG**

Municipios del departamento de Guatemala que no componen el AMG	
San Raymundo	Palencia
Chuarraño	San Pedro Ayampuc
San Juan Sacatepéquez	San José del Golfo
San Pedro Sacatepéquez	

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Área metropolitana de Guatemala AMG**



Fuente: Green Development, 2011.

Históricamente el gobierno central y municipalidad capitalina, siempre habían estado separados políticamente, pero otro período de la historia se inicia en 1996, ya que por primera vez en la era democrática del país, tanto el presidente de la República, como el alcalde de la ciudad de Guatemala pertenecen al mismo partido político, Partido de Avanzada Nacional (PAN), escenario propicio para complementar esfuerzos y solucionar problemas históricos de la capital del país.

En ese año, tras la búsqueda del aumento a la tarifa de pasaje de transporte público, se desencadenó una reacción violenta de estudiantes. A partir dicha acción, se convoca a una Comisión Multisectorial de Transporte, como en su momento se había hecho bajo la administración del Lic. Manuel Colom Argueta.

La comisión multisectorial identificó la necesidad de conocer dos variables fundamentales para poder plantear soluciones integrales y concretas coherentes, siendo estas el número de pasajeros que se transporta en el sistema y el costo de operación del mismo. Bajo este lineamiento, en 1998 se publicó el *Informe final de la comisión multisectorial del transporte colectivo urbano de pasajeros de la ciudad de Guatemala Año 2000*, elaborado por el ingeniero Julio César Contreras Marroquín.

Ese mismo año, 1998 se obtuvo un logro considerable, el transferir la función de ordenamiento territorial del gobierno central a la administración municipal a partir de las reformas a la Ley de tránsito. Adicionalmente se creó la policía municipal de tránsito y un año antes el consejo municipal aprobó la creación de la Empresa Metropolitana Reguladora de Transporte y Tránsito (Emetra). Dicha entidad lideró la reestructuración del sistema de transporte colectivo.

Bajo la administración del señor Oscar Berger, se ejecutaron una serie de acciones con el objetivo de optimizar el funcionamiento del transporte público.

Las mismas se impulsaron con el respaldo de la Ley de Fomento al Transporte de la Ciudad Capital y Áreas de Influencia Urbana, la cual fue aprobada el 27 de enero de 1996, siendo impulsada esta por la diputada Anabella de León. A continuación se listan algunas de las mejoras relevantes impulsadas obtenidas del *Dictamen técnico del sistema integrado de transporte Colectivo para la Ciudad de Guatemala* publicado por la Municipalidad de Guatemala.

- Adquisición de 800 nuevos buses (750 estándares y 50 articulados) que se dieron en concesión a los operadores privados del sistema.
- Remoción de buses antiguos paralelo a la actividad antes mencionada, requiriendo a los empresarios a retirar 744 unidades viejas de más de 20 años de antigüedad.
- Escalonamiento de horarios, según acuerdo con el sector público para correr el horario de ingreso de 8:00 AM a 9:00 AM a la AMG.
- Reestructuración de rutas, logrando la reducción en el número de empresas de 32 a 13, licitando en base a un concurso público 21 sectores exclusivos de prestación del servicio.
- Se llevaron a cabo las primeras pruebas del sistema de cobro automatizado. con la instalación de molinetes en el interior de las unidades de transporte, sin embargo, esta iniciativa finalmente fracasó.
- Se buscó promover el subsidio directo a partir de tarifas reales, esto según una fórmula de tarifa que proponía revisar periódicamente y teniendo como fundamento los costos de operación y cuyo beneficiario directo fueran los usuarios necesitados. Esta acción no se implementó.

- Se licitó un nuevo sistema de semaforización de más de 450 intersecciones y se instalaron señales restrictivas y de pavimento en los principales cruces de la ciudad, exclusivas para buses.
- Se realizó el primer intento para implementar una vía exclusiva para buses en el área del Trébol, pero por distintas razones intrínsecas al diseño y la operación el experimento no fue un éxito.

A pesar del reconocible esfuerzo de la administración del señor Oscar Berger, las acciones implementadas no fueron suficientes para lograr la operación exitosa y rentable del sistema de transporte, esto debido también a que no todas las acciones fueron implementadas o tuvieron el éxito esperado. Esto es visible tras una nueva convocatoria de la comisión multisectorial tras la crisis de la semana de pascua del 2000.

La convocatoria inicia el 16 de febrero de 2000, generada por los requerimientos de los empresarios del transporte para el aumento del pasaje; los logros de esta comisión fueron limitados por la situación política particular de la época. En esa ocasión, el alcalde Fritz Garcia-Gallont aprobó el incremento del 100 % del pasaje, lo cual no fue respaldado por la comisión. Esta declaración generó levantamiento y protestas populares que concluyeron nuevamente en la pérdida de vidas humanas.

Se pueden notar como las protestas por el servicio y costos del pasaje del transporte público han sido repetitivos a pesar de esfuerzos desarrollados y trabajar en ocasiones asesorados por las convocadas comisiones multidisciplinarias. Bajo las premisas planteadas, se puede concluir que el problema no ha sido solventado en su totalidad, y se ha generado un ciclo vicioso de subsidios y mal servicio, que no ha resultado la problemática, la cual se plantea detalladamente en el inciso siguiente.

4.3. Problemática del sistema de transporte colectivo

El sistema de transporte colectivo urbano de la ciudad de Guatemala, ha tenido a la largo de su creación una serie de problemas y dificultades para su operación, las cuales son previsibles para la población en general, quienes sufren de un servicio decadente; la municipalidad que constantemente emprende acciones para la regulación y ordenamiento del sistema; el gobierno central que lo subsidia sin generar soluciones de fondo y finalmente, los empresarios del sistema de transporte, quienes afrontan problemáticas económicas y de seguridad a los que son expuestos día a días los choferes y ayudantes de los autobuses.

Como menciona el "*Plan Guatemala 2020*" de la Municipalidad de Guatemala publicado en el 2002: "Ineficiencias, inseguridades y disparidades en el sistema de transporte del AMG causan altos índices de congestionamiento y accidentalidad, así como inequidades sociales que, finalmente, se traducen en una baja competitividad económica, una degradación del medio ambiente y un alto costo social para la región".

El "*Plan Guatemala 2020*" tiene concordancia con el informe de la comisión multisectorial convocada en el 2000, donde se plantean dos hipótesis sobre los problemas más importantes del sistema de transporte de la ciudad de Guatemala y sus áreas de influencia. La primera es la necesidad de contar con matrices actualizadas y datos históricos sobre información relevante como número de pasajeros y costo real por el transporte por pasajeros; y la segunda que complementa la anterior, la limitante económica, es decir, la capacidad de la población para poder cubrir los costos y aumento del pasaje debido a por ejemplo el precio del combustible fósil.

Tomando como fundamento las variables o componentes antes mencionados es importante mencionar factores adicionales que adhieren complicaciones al sistema de transporte colectivo que se describen una a una a continuación.

- El crecimiento del parque vehicular, como se menciona en el capítulo 3.1, muestra que el departamento de Guatemala, tomando como referencia datos oficiales de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT), aglomera el 46 % de los vehículos del total a un crecimiento en los últimos 8 años de 9 % anual, lo cual difiere con crecimiento del 1,2 % de la red vial de la ciudad en los últimos 25 años de historia según datos oficiales de la Municipalidad de Guatemala.
- La aglomeración vehicular de la ciudad de Guatemala mencionada en el párrafo anterior, tiene un impacto directo en el sistema de transporte colectivo; ya que el congestionamiento constante de las arterias repercute de igual forma en los autobuses que la circulan. Según el “*Estudio del Plan Maestro*” de JICA de 1992, a velocidad promedio de operación es de cuatro kilómetro por hora (4km/hr) y en actualización más reciente de estudios desarrollados por la Entidad Metropolitana Reguladora de Transporte y Tránsito (Emetra) en 2006, los autobuses tiene una velocidad promedio de 6 a 10 km 7hr.
- Según la Municipalidad de Guatemala en su documento *Estudio Origen-Destino*, la distribución de ocupación de las vías versus el porcentaje de movilidad de pasajeros en la ciudad de Guatemala, es lo que se conoce como “Inequidad modal”. Esto ya que el 23 % de los viajes de la AMG se desarrolla en automóvil particular ocupando el 76 % de espacio disponible de circulación. En el transporte colectivo se llevan a cabo el

68 % de los viajes requiriendo el 22 % de arterias. Esto puede explicarse ya que según experto, para transporta a una persona en vehículo particular se necesitan 100 m², en comparación de los 20 m² que requiere un autobús.

- Adicional a las aristas planteadas anteriormente, es importante listar una serie de particularidades de la AMG que suman a la problemática general del sistema de transporte colectivo:
 - Sistema de Recaudo Ineficiente y poco trazable.
 - Tarifas politizadas no relacionadas al costo real del servicio.
 - Inseguridad vial y ciudadana para los usuarios del transporte colectivo.
 - Flota de buses antigua, en mal estado, de baja capacidad e inaccesibilidad para personas discapacitadas.
 - Servicios y frecuencias irregulares.
 - Competencia por el pasaje entre unidades de transporte colectivo.
 - Infraestructura inadecuada para proveer un servicio diferenciado.
 - Altos niveles de contaminación de ruido y aire.

De esta forma se puede concluir como todos los factores mencionados redundan como bien expone el *Plan Guatemala 2020* de la Municipalidad de Guatemala, en una clara degradación al medio ambiente, factor de suma importancia poco mencionado o debatido, pero que sin duda es imperante su abordaje, estudio e investigación, específicamente en los que respecta en la generación de gases de efecto invernadero, ya que dicho impacto tiene repercusiones directas en el aporte al cambio climático y su reducción permite la generación de créditos o bonos de carbono.

4.4. Parámetros de diseño

Transmetro, principal componente del sistema BRT de la ciudad de Guatemala y sus áreas de influencia tiene como objetivo, establecer un mecanismo de tránsito masivo que incluya contemple dentro sus parámetro de diseño, según datos provistos por el Instituto Nacional de Estadística que este sea moderno, eficiente, seguro, rápido, conveniente, confortable y efectivo. Dicho sistema es una respuesta para una ciudad creciente con una población de alrededor de 3,1 millones de habitantes en el área metropolitana, donde se estima que transitan aproximadamente el 50 % de los vehículos registrados en la República, es decir, más de un millón de automotores, dentro de los cuales se incluyen 3 902 unidades de transporte colectivo tradicional²².

El Transmetro busca mejorar el servicio colectivo y minimizar las diferencias en calidad de servicios entre los diferentes modos de transporte, así como la reducción de las siguientes variables:

- Los tiempos de viajes dentro de la AMG.

²² GRÜTTER Jürg; RICUARTE Susana. Documento de diseño de proyecto “bus de tránsito rápido (BRT) de la ciudad de Guatemala” versión 1, pág. 5

- Niveles de contaminación.
- Costos de operación del sistema colectivos.
- Accidentes viales y sus consecuencias tales como pérdidas humanas y materiales.
- Destrucción y desgaste de la infraestructura urbana.

Bajo estos componentes, el sistema BRT de la ciudad de Guatemala busca promover el desarrollo sostenible de la ciudad basado en la equidad social, tecnología de transporte ambientalmente responsable y económicamente competitiva. Dichos objetivos, alineados al desarrollo sostenible, permitieron que la Municipalidad de Guatemala registrara el sistema de transporte ante la ONU para la generación de créditos de carbono.

El sistema BRT, según documentos validados por la Organización de Naciones Unidas (ONU), contribuye al desarrollo sostenible de manera significativa, reduciendo el impacto ambiental mejorado a través de menos gases de efecto invernadero y otras emisiones que contaminan el ambiente, específicamente materia en partículas, nitratos de oxígeno y dióxido de azufre. Esto se logra a través de un sistema eficiente de transporte y buses con tecnologías recientes.

El sistema contribuye de igual forma a la mejora social ya que se reduce la pérdida de tiempo en congestionamiento, disminución de enfermedades respiratorias causadas por la contaminación con materia en partículas, menos contaminación por ruido y minimiza la probabilidad de accidentes por pasajero transportado. Adicionalmente, reduce posible percances viales, ya que la

organización y administración del transporte público se mejora a través de centros de control con tecnología eficiente.

Asimismo, genera beneficios económicos principalmente a nivel macroeconómico. La ciudad de Guatemala puede mejorar su posición competitiva ofreciendo un sistema de transporte colectivo atractivo y moderno, reduciendo los costos económicos por congestión. De esta forma, los ciudadanos de la ciudad de Guatemala forman parte del selecto grupo usuarios de este tipo de sistemas a nivel mundial.

4.5. Variables para la selección de un sistema de transporte masivo

En los capítulos anteriores se han detallado las variables y características de un sistema BRT, así como las unidades que lo componen para el mecanismo de la ciudad de Guatemala, es necesario, justificar el porqué de la selección de este tipo de sistema. Según *Dictamen técnico del sistema integrado de transporte colectivo* para la ciudad de Guatemala, de la Municipalidad de Guatemala, en su momento específico, las comisiones multisectoriales convocadas han concluido y recomendado los sistemas tronco-alimentados, existe una serie de parámetros que es recomendable conocer, que justifican la recomendación y selección de la Municipalidad de Guatemala por la implementación de este sistema específico.

Previo a exponer las variables susceptibles para la selección de un sistema de transporte colectivo masivo terrestre, es importante conocer las opciones existentes, tomando como referencia parámetros mecanismo utilizados en diferentes urbes a nivel mundial, siendo estos:

- Tren Ligero (LRT): sistema de transporte compuesto por monorraíles o tranvías que transitan típicamente en carriles exclusivos a nivel de la superficie, aunque también pueden ser elevados. Estos tienen la capacidad de carga relativamente alta.
- Metro: sistema de transporte que opera bajo el nivel de la superficie. Su principal característica es su alta capacidad de carga de pasajero por hora por dirección de tramo.

Las variables primordiales para la selección de un sistema de transporte masivo de una ciudad es la demanda de pasajeros por hora y el costo de la inversión del proyecto. Estas deben ser analizadas a partir de información fundamentada y deben tropicalizarse en función de las particularidades de la localidad.

4.5.1. Demanda de pasajeros por hora por sentido

La primera variable fundamental para la selección de un sistema de transporte colectivo masivo terrestre, es la demanda de carga de pasajeros en un tramo específico en un sentido definido en un período de horario determinado. La siguiente figura muestra los valores representativos sugeridos por documentación técnica.

Tabla IV. **Demanda de pasajero para selección de sistemas de transporte masivo**

Características	BRT	Tren Ligero (LRT)	Metro
Pasajero por tramo, por hora, por sentido	15 000 a 35 000	10 000 a 25 000	Hasta 80 000
Velocidad promedio de operación (km/h)	15-25	15-25	30-40
Espacio requerido	2-4 carriles de vías de calles ya existentes	2-4 carriles de vías de calles ya existentes	Sistema independiente a calles existentes

Fuente: elaboración propia a partir de datos del EIA. *Bus system for the Future*.

Tomando como referencia la información provista en la figura anterior, el siguiente cuadro comparativo muestra la demanda de pasajeros de los diferentes sistemas de transporte masivos de ciudades alrededor del mundo. Se incluye dentro del mismo, los valores para los ejes a analizar en este estudio.

Tabla V. **Demanda de pasajeros por hora por sentido por tramos para sistemas de transporte masivo**

Nombre del Sistema	Demanda de pasajeros por hora por sentido
Metro Mumbai 1	81 000
Metro Sao Paulo	60 000
Metro Bangkok	50 000
LRT Kuala Lumpur	30 000
LRT Túnez	12 000
BRT Bogotá	33 000
BRT Quito	15 000
BRT Curitiba	15 000
BRT Guatemala Eje Corredor Central	1 750
BRT Guatemala, Eje Zona 6	5 850
BRT Guatemala, Eje Zona 18	10 400
BRT Guatemala, Eje Oeste (Roosevelt)	11 900

Fuente: elaboración propia, a partir de datos recopilados de Documentos de diseño de Proyectos de la Organización de Naciones Unidas.

4.5.2. Inversión para la construcción de un sistema

Según el GT7 en su curso de Entrenamiento de Transporte Masivo, el costo de inversión es la característica fundamental que diferencia a los tipos de sistemas de transporte masivo. Para sistemas LRT, siendo estos tranvía, monorriel o trenes ligeros terrestres, el costo por kilómetro es entre 12 y 38 millones de dólares de Estados Unidos de América (US\$). Para trenes ligeros aéreos, el costo aumenta entre 50 a 102 millones de US\$ por kilómetro. Para metros, el costo es entre 41 hasta 350 millones es de US\$ por kilómetro. El costo para sistemas BRT, el rango es entre 0,50 y 5 millones de US\$.

Los datos antes mencionados se incluyen en el documento de diseño de proyecto del Sistema BRT de la ciudad de Guatemala, cuya fuente se origina en el curso de Entrenamiento de Transporte Masivo, desarrollado por la agencia de cooperación alemana GIZ en el 2004.

4.6. Justificación de selección de sistema

Tomando como referencia la ampliación de cada una de las variables fundamentales para la selección de un sistema de transporte masivo para una ciudad, se puede definir que el rango de demanda de pasajero por hora por sentido de los ejes del mecanismo de Guatemala, aplica tanto para sistemas de autobuses de tránsito rápido (BRT) como trenes ligeros o tranvías (LRT).

Considerando el costo de inversión de los dos sistemas aplicables, la opción de LRT elevados, el costo es el mayor, por lo que no se considera recomendable. Entre los sistemas BRT y los LRT a nivel de superficie, el costo del primero versus el segundo, en el mejor escenario puede ser hasta 24 veces más económico, y en el escenario a la alza, es ocho veces menor.

Tomando como referencia lo anteriormente expuesto, se puede concluir y justificar la selección de la Municipalidad de Guatemala, así como la recomendación de las comisiones multisectoriales de un sistema BRT por su costo más accesible y cubre la demanda de pasajero requerida.

4.7. Restricciones de la metodología

Según la cepal los sistemas BRT tienen su origen en la ciudad de Curitiba, Brasil en 1974. Dicha tecnología ha sido mejorada y tropicalizada a lo largo de los años en función de su migración alrededor del mundo. Hasta la fecha, este tipo de sistemas operan en los 5 continentes en múltiples ciudades y particularidades específicas, lo cual es posible por la flexibilidad del concepto y la apertura para innovarlo.

Como especifican las publicaciones oficiales sobre la tecnología de los sistemas BRT, como el publicado por la Agencia de Cooperación Alemana GTZ, hoy GIZ, o el “Estándar de BRT 2013” publicado en Río de Janeiro el 14 de febrero del presente año, existen 10 características principales para este sistema:

- Vía exclusiva segregada del resto del tránsito para circulación de los buses. Esto busca reducir los tiempos de los autobuses para brindar un servicio eficiente.
- Buses de alta capacidad. Siendo el objetivo primordial del sistema el ser de carácter masivo, se requiere contar con unidades capaces de transportar altos volúmenes de pasajeros a partir de autobuses de mayor capacidad, articulados, biarticulados o hasta tri-articulados de 110, 160, 220 y 280 pasajeros respectivamente.

- Concesión de un solo operador. Esto busca eliminar la competencia en una misma ruta y así, evitar el desorden vial y posibles accidentes por la competencia por el pasaje. Es importante mencionar que no se limita la circulación en calles alternas.
- Restricción de ingreso de buses extraurbano a la ciudad. Busca evitar la competencia, reducción de las rutas extraurbanas y el ordenamiento territorial y desgaste de infraestructura reduciendo el número de unidades en calles alternas.
- Estaciones de transferencia. Debido a la exclusividad de vía, es necesario contar con transferencia con capacidad considerable para los transbordos a buses alimentadores o extraurbanos.
- Mantenimiento constante. Es importante el mantenimiento de la infraestructura y autobuses para dar un servicio óptimo.
- Centro de control. Centralizar el control tiene como objetivo tener información real sobre el movimiento de pasajeros y buses para satisfacer la demanda; así como mitigar accidentes y reaccionar ante cualquier problema.
- Recaudo centralizado. El fin primordial es eliminar el contacto del piloto con el efectivo y permite llevar un control trazable de ingresos.
- Sistema prepago. Vuelve más eficiente el recaudo centralizado y elimina el manejo de efectivo que tiende a ser problemático.
- Paradas elevadas de acceso controlado. Contar con paradas con molinetes que permita el ingreso únicamente de usuarios genera un sistema cerrado permitiendo transbordo entre los pasajeros sin complicaciones o requerimientos de doble pago, así como un valor agregado a la seguridad.

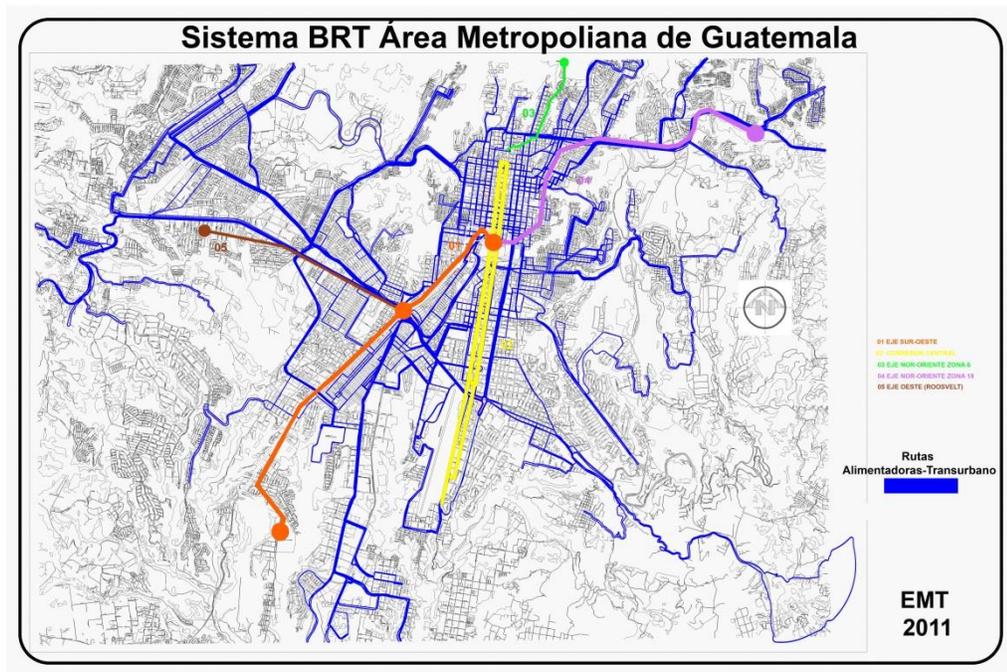
Adicional a los componentes antes mencionados, existen condiciones que son comunes en sistemas BRT que aportan elementos adicionales para asegurar el servicio que sea brindar. Las mismas se citan a continuación, tomadas del dictamen técnico del sistema de transporte colectivo para la ciudad de Guatemala publicado por la Municipalidad:

- Sistema de localización de unidades de transporte.
- Sistema de información para usuarios, capaces brindar datos del sistema integrado, es decir rutas troncales y alimentadoras.
- Recuperación de espacio público en áreas aledañas a las paradas.
- Pasos a desnivel complementarios, cuyos beneficios los perciben tanto los usuarios del sistema, como los automotores privados.

4.8. Sistema BRT de la ciudad de Guatemala

El sistema BRT de la ciudad de Guatemala está compuesto por dos componentes fundamentales, el primero son las rutas troncales de transporte masivo que opera bajo la marca comercial Transmetro; y las rutas alimentadoras concesionadas por la Municipalidad de Guatemala, las cuales operan bajo el nombre comercial Transurbano.

Figura 3. Mapa sistema BRT de la ciudad de Guatemala



Fuente: Empresa Municipal de Transporte.

Este surge como una respuesta institucional al problema del transporte colectivo urbano, tomando como referencia los dictámenes técnicos de las comisiones multisectoriales convocadas en los diferentes períodos de la historia, así como replicando modelos exitosos de diferentes países y urbes similares a las del Área Metropolitana de Guatemala (AMG).

El sistema BRT de la ciudad de Guatemala, dada sus características y buscando percibir ingresos adicionales por su aporte positivo al cambio climático, inició en mayo de 2009, los estudios para el establecimiento de línea base para la generación de créditos de carbono, proceso que ya dio su primer fruto al registrarse ante la ONU el 3 de julio de 2012.

El BRT de la ciudad de Guatemala y sus áreas de influencia buscando cumplir con los requisitos de la metodología para la generación de créditos de carbono y su óptima operación, se fundamenta en los componentes básicos de diseño y operación que requieren de este tipo de sistemas, los cuales se analizan uno a uno determinando el cumplimiento del mismo y su aplicabilidad en el numeral 5.1. De igual forma, en el presente capítulo se definirán los diferentes componentes del sistema, la tecnología utilizada y los beneficios tangibles e intangibles del proyecto.

El sistema es una inversión público-privada, en la cual el sector público, representado por la Municipalidad de Guatemala, es el responsable de la inversión para implementar la infraestructura necesaria del sistema troncal, es decir carriles segregados, estaciones elevadas controladas, terminales de transbordo, entre otras; así como la operación y control de los buses articulados.

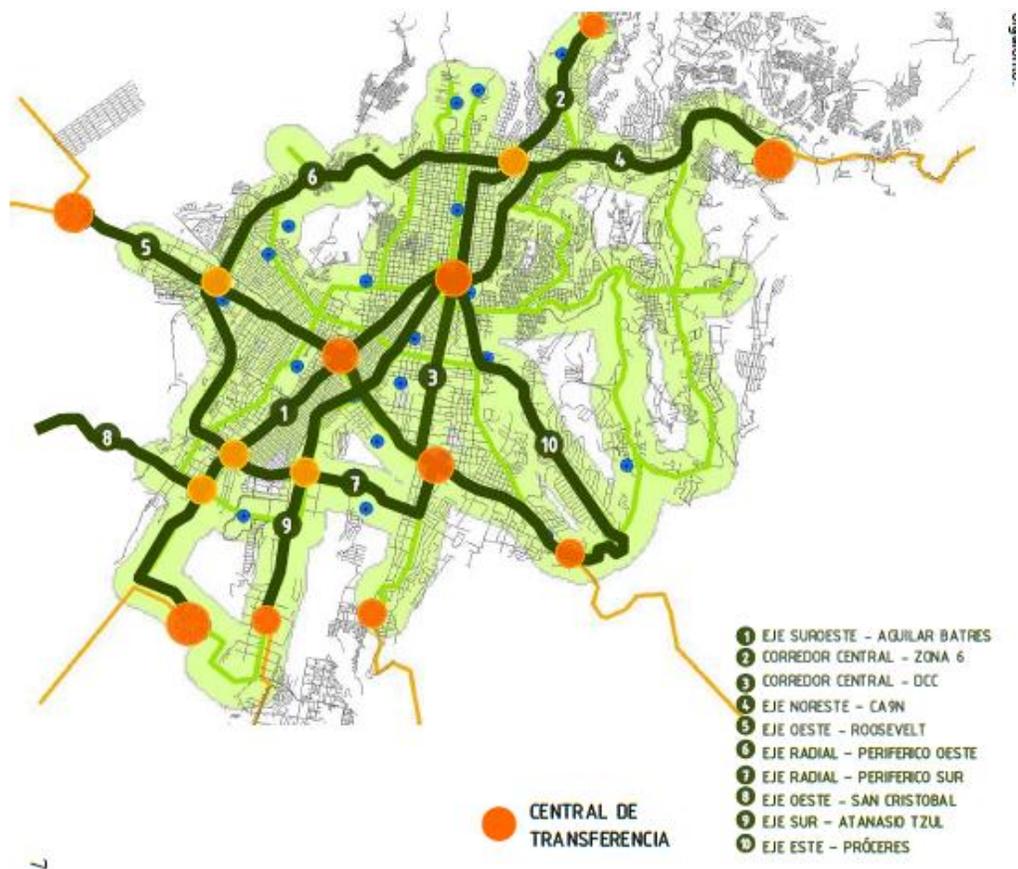
La inversión privada es responsable en su totalidad de la operación de las rutas alimentadoras y el sistema prepago del sistema integrado en su totalidad. Es importante mencionar que las estaciones fueron una inversión pública del Gobierno Central de Guatemala.

4.8.1. Transmetro

Basados en las proyecciones de demanda, análisis de usuarios y rutas afectadas, la Municipalidad de Guatemala a través del plan de desarrollo metropolitano, generó un plan a mediano plazo, en el cual el 2020 será la meta para la implementación de los futuros corredores BRT en la ciudad de Guatemala.

Transmetro es la marca comercial de los buses troncales que tiene la capacidad de transportar grandes cantidades de personas, dada las características de las unidades de operación, en tiempo eficiente ya que se movilizan en vías exclusivas terrestres, segregadas del tráfico mixto.

Figura 4. **Proyección Transmetro**



Fuente: Municipalidad de Guatemala. *Documento Técnico Soporte Eje nororiente*. p. 20.

Como elemento medular del sistema BRT de la ciudad de Guatemala, Transmetro cuenta con estaciones elevadas de acceso restringido a través de

molinetes, los cuales se activan a través de un sistema electrónico prepago o el depósito de una moneda de valor de un quetzal.

Figura 5. **Estación Plaza Barrios, sistema BRT ciudad de Guatemala**



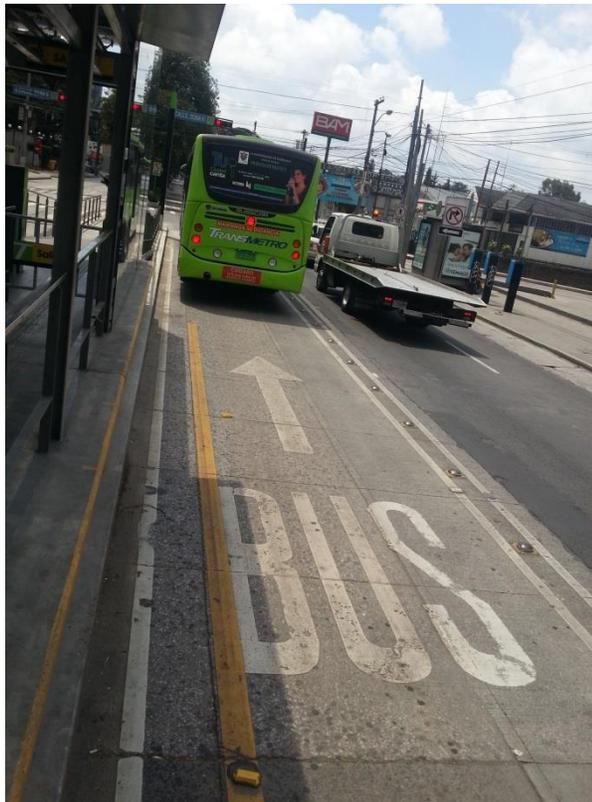
Fuente: Estación Plaza barrios.

Transmetro cuenta con un centro de control para sus operaciones, el cual se ubica en el palacio de la Municipalidad de Guatemala en el tercer nivel, desde donde se viabiliza la operación y supervisa la calidad de servicio. De igual forma, cuenta con playas de estacionamiento y mantenimiento para cada eje.

La tecnología usada para buses troncales son unidades de diésel Euro II y Euro III. Los utilizados en el eje sur occidental, son de 18 metros de largo con una capacidad de hasta 160 pasajeros, con plataforma nivelada de acceso, incluyendo espacios para personas minusválidas. Los utilizados en el Corredor

Central, con las mismas características de los anteriores, a diferencia de las dimensiones y su capacidad de 110 pasajeros.

Figura 6. **Buses del sistema BRT de la ciudad de Guatemala**



Fuente: Estación exposición.

4.8.2. Transurbano

Según el *Contrato de autorización de licencias de operación*, la marca comercial Transurbano, agrupa cuatro consorcios de empresarios los cuales fueron beneficiados del concurso público y asignados con la autorización de licencias para la operación del sistema de transporte público urbano de la ciudad de Guatemala y sus áreas de influencia.

A partir de reglamento para la operación y prestación de servicios en el sistema integrado de transporte público urbano de la ciudad de Guatemala y sus áreas de influencia, se estipula a Transurbano como el proveedor del servicio de alimentación, complementado así, el sistema BRT de la ciudad de Guatemala.

Figura 7. **Unidad de Transurbano**



Fuente: Central Norte.

Según las *Especificaciones técnicas del fabricante*, los buses alimentadores son unidades de diésel nuevas Euro II con capacidad para 80 pasajeros, producidas por el fabricante alemán Mercedes Benz y chasis Ómnibus, de 11,5 metros de largo.

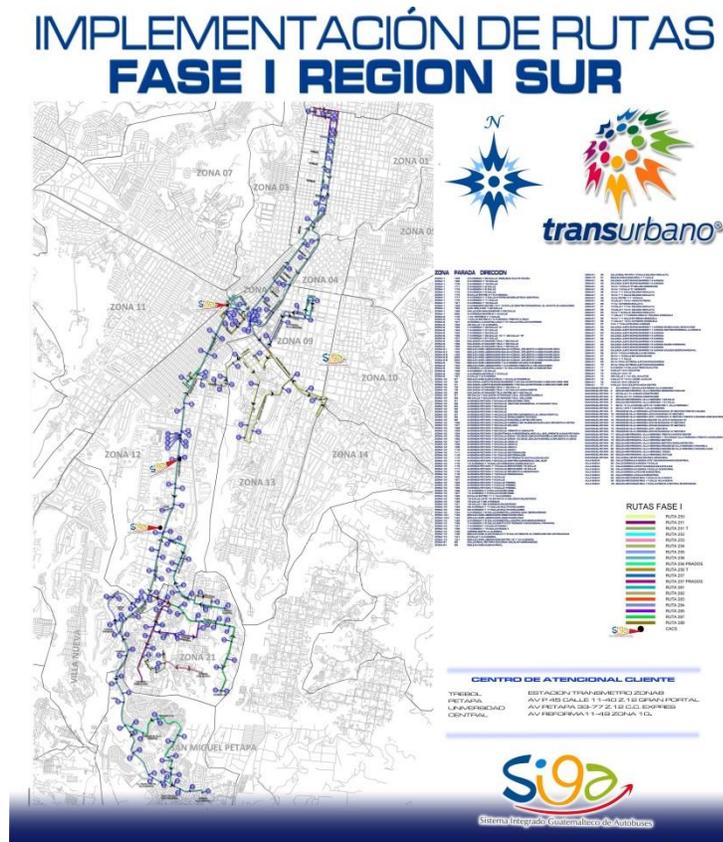
La planificación inicial, contemplaba la inclusión de 3 223 unidades de Transurbano, las cuales desplazarían los 3 902 buses convencionales del sistema público. Se diseñaron fases para el ingreso del sistema, sin embargo,

dada la complejidad del sector, a la fecha únicamente han ingreso y operan 445 unidades.

Cada unidad del sistema Transurbano, al igual que las estaciones de Transmetro, cuentan con tecnología para el control de ingreso pre-abordaje de los usuarios, evitando así, el contacto del piloto con efectivo y permitiendo tener un control de los ingresos.

Transurbano también cuenta con un centro de control el cual monitorea la prestación del servicio. Cada una de las unidades cuenta con herramienta de geoposicionamiento global, lo que permite tener un control en tiempo real de la ubicación de los vehículos.

Figura 8. Primera fase de integración de Transurbano



Fuente: Trabsurbano. Consulta: 15 de mayo de 2015.

En resumen, para definir los lineamientos de diseño de Transmetro y el componente alimentador del sistema integrado, es fundamental conocer la historia y la problemática que han generado los diferentes mecanismos que se han intentado. Este capítulo describe las diferentes variables para seleccionar un sistema de transporte colectivo para una ciudad, considerando de igual forma, si el mecanismo seleccionado cumple con las características y requerimiento de la metodología para la generación de créditos de carbono.

5. ANÁLISIS DISEÑO Y OPERACIÓN DEL EJE “CORREDOR CENTRAL”

El nombre eje “Corredor Central” tiene su origen en el recorrido de la ruta a través de las principales zonas comerciales de la ciudad de Guatemala, conectando extremos de la metrópolis a través de un par vial troncal con buses de alta capacidad que se movilizan en carriles segregados en la mayoría se su trayecto, con un recorrido de aproximadamente 17 kilómetros.

El eje “Corredor Central” es el primer eje que fue desarrollado en el área metropolitana como un proyecto de créditos de carbono, bajo el concepto de un sistema BRT de transporte masivo de pasajeros. El mismo fue registrado ante la Organización de la Naciones Unidas bajo la metodología AM0031 tras haber concluido exitosamente el proceso de validación.

El eje suroeste, el cual recorre 12,5 kilómetros de distancia desde del Centro Cívico de la ciudad, en la zona 1, hasta la central de transferencia ubicada en el municipio de Villa Nueva. Este tramo no se contempló según lo requerimiento de la metodología del mecanismo de desarrollo limpio, por lo cual no forma parte del proyecto de créditos de carbono.

El eje Suroeste, como describe el documento de diseño del sistema BRT de la ciudad de Guatemala registrado ante Naciones Unidas, se considera como un plan piloto, ya que no cumple con fundamentos específicos requeridos por el mecanismo de desarrollo limpio. Un ejemplo de esta ausencia de acatamiento, es que esta ruta se diseña sin un sistema prepago integrado con

buses alimentadores, que si bien existe alimentación, no se genera dentro de un sistema unificado integrado.

Adicionalmente, a diferencia del “Corredor Central”, el eje suroeste no se desarrolla bajo el reglamento de operación y prestación de servicios en el sistema integrado de transporte público urbano, el cual, no solo regula y modifica al sector, sino crea instancias que promueven el servicio más eficiente y una regulación mayor sobre los transportistas privados, agrupándolos en consorcios y asignándoles las rutas bajo la visión del sistema BRT.

5.1. Parámetros de diseño de eje “Corredor Central”

El eje “Corredor Central” tiene características específicas en su diseño, las cuales cumplen con los establecido, tanto por la regulación técnica de sistemas de transporte colectivo BRT, como los parámetros establecidos por la metodología AM0031 para la generación de créditos o bonos de carbono.

Las variables fundamentales que permiten definir un sistema de transporte colectivo BRT, es contar con autobuses de alta capacidad que circulan en carriles exclusivos, contando con sistema prepago y paradas fijas elevadas. Adicional a estas, se requiere una serie de especificaciones y cumplimientos complementarios.

A manera de resumen, el eje “Corredor Central”, sujeto de análisis en este trabajo de graduación, es el segundo eje que conforma el sistema Transmetro, el cual es operado por la Municipalidad de Guatemala. Este cuenta con 19 paradas de las cuales, dos son estaciones de interconexión entre los dos ejes existentes, es decir, son estaciones compartidas. El siguiente cuadro presenta las estaciones del eje.

Tabla VI. **Estaciones del eje “Corredor Central”**

Listado de Estaciones		
Calvario	4 Grados Sur	Exposición
Terminal	Industria	Tívoli
Montufar	Acueducto	Fuerza área
Plaza Argentina	Hangares	Los Arcos
Plaza España	IGSS Zona 9	Seis -26
Torre del Reformador	Plaza la República	Banco de Guatemala

Fuente: Municipalidad de Guatemala. *Unidad de movilidad urbana.*

Es importante mencionar que el eje “Corredor Central” y el suroeste comparten una estación de transbordo, siendo esta la Plaza Barrios. De igual forma el eje “Corredor Central” tiene relación directa y comparte una estación con el eje “Centro Histórico”, en la estación Tipografía.

Estas estaciones que se comparten con los diferentes ejes, ofrece la posibilidad a los usuarios de que transferirse de un eje a otro sin necesidad de abandonar el sistema. Esta misma cualidad la comparte la estación Calvario. Es por esto que las tres estaciones, Calvario, Plaza Barrios y Tipografía son denominadas estaciones de transferencia.

Este segundo eje, “Corredor Central”, habiéndose construido cinco años posterior al inicio de operaciones del primero, eje Suroeste, permitió a la Municipalidad de Guatemala, implementar una serie de mejoras, como el rediseño de las paradas, método de rebase, implementación de un par vial, entre otros. Estas innovaciones corresponden a un proceso de mejora continua de los sistemas, los cuales son dinámicos y requieren de una constante inversión y análisis para su óptimo desempeño. El detalle del análisis de variables se amplía en el siguiente capítulo.

Figura 9. Mapa del eje “Corredor Central”



Fuente: Municipalidad de Guatemala, *Unidad de movilidad urbana*.

5.1.1. Diseño general del eje

El eje “Corredor Central” es el segundo eje que se construye de Transmetro, siendo el primero el suroeste y el tercero el Centro Histórico. Sin embargo, este es el primer eje contemplado en el proyecto de créditos de carbono, por lo que es sujeto de análisis de este trabajo de graduación.

El eje “Corredor Central” inició el proceso de diseño en el 2007, dos años más tarde se emprendió la fase de construcción en abril de 2009, la cual concluyó con el inicio de operaciones en agosto del 2010. El recorrido del tramo es de 17 kilómetros, sus extremos se ubican al norte, en el Centro Cívico, y al sur en el final de la 15 avenida de la zona 13.

Según el estudio de factibilidad para la estructuración del Transmetro Nororiente, como criterio o directriz fundamental de diseño se buscó conservar las áreas de parques disponibles a lo largo del trayecto, como por ejemplo los ubicados en el Bulevar Liberación. Como muestra de esto, la unidad de medio ambiente de la Municipalidad de Guatemala desarrolló un inventario árboles afectados por la construcción, buscando evitar la tala de especies nativas y especímenes antiguos.

En cuanto a las secciones de las nuevas vías o las modificaciones de las mismas, se siguieron los usos tradicionales, esto en el sentido de adoptar anchos de calzadas de circulación similares a los existentes, aún en el caso de que los anchos de vías existentes se ubicaran por debajo de lo recomendado en las normas de ingeniería vial que rigen la materia.

Una variable fundamental del diseño es la selección de rutas para la movilización de las unidades. Esta tarea, al igual que el diseño en general, estuvo a cargo de la unidad de movilidad urbana de la Municipalidad de Guatemala. Estudio de factibilidad para la estructuración del Transmetro nororiente, según el informe final, para el eje “Corredor Central” se definió que se utilizaría un par vial, replicando casos de éxito de otras ciudades similares a Guatemala, en las que este mecanismo ha funcionado. Un par vial significa que el Transmetro circula en un sentido en una calle específica, y transita en el sentido opuesto en una arteria diferente.

Uno de los beneficios más relevantes de un par vial, es que permite que el espacio físico que requiere la circulación las unidades sea menor, y por lo tanto, el impacto en el tránsito se reduce. De esta forma, también genera flujo de peatones en la zona y se promueve el comercio, ya que los usuarios deben desplazarse para abordar el sistema en uno u otro sentido.

Como se mencionaba en los párrafos previos, la selección de ruta es quizá la variable predominante en el diseño, ya que a partir de esta, se definen o deben de adaptarse una serie de factores. A continuación se describe la ruta seleccionada para el eje “Corredor Central”:

- La ruta troncal recorre sobre la sexta avenida, en dirección de norte a sur, desde la 18 calle de la zona 1, pasando por las zonas 4 y 9 de la ciudad, hasta la 15 calle de la zona 9.
- La unión entre la zona 9 y zona 13 se da a través de paso a desnivel subterráneo “Manuel Estrada Cabrera”, en el cual se evita la intersección con el Bulevar Liberación.
- El eje continua por la avenida Hincapié de la zona 13 hasta la 12 calle de la misma zona.
- En la intersección de la avenida Hincapié y la 12 calle de la zona 13, vira hacia la izquierda para recorrer dicha calle hasta la 15 avenida de la misma zona.
- En el empalme entre la 12 calle y 15 avenida de la zona 13, gira a la izquierda y transita dicha avenida hasta la 18 calle, donde se ubica el extremo de la ruta.
- En el extremo, donde se ubica una rotonda, recorriendo la 15 avenida hasta la intersección con el bulevar Liberación.

- Para evitar la intersección con el boulevard Liberación, toma el paso a desnivel subterráneo llamado “Jorge Ubico”, el cual une la zona 13 con la 15 calle de la zona 9.
- De la 15 avenida de la zona 9, recorre las zonas 4, 9 y 1 por la 7 avenida, hasta el Centro Histórico, es decir, la 20 calle de la zona 1.
- En el Centro Cívico, recorre la 20 calle de la zona 1 desde la 7 avenida hasta la 11 avenida de la misma zona.
- En la esquina de la 20 calle y 9 avenida de la zona 1, gira a la izquierda dicha avenida hasta la 18 calle de la zona misma zona.
- En la intersección entre la 11 avenida y 18 calle de la zona 1, gira hacia la izquierda transitando dicha calle hasta la 6 avenida de la misma zona, donde concluye el recorrido.

5.1.2. Nuevas obras y mejoramiento a la infraestructura

La construcción de obras civiles y el mejoramiento de la infraestructura para la implementación de un sistema BRT son fundamentales, pues es a partir de estas que es factible su óptimo desempeño y permiten alcanzar el objetivo primordial de trasladar a grandes cantidades de pasajeros en tiempos breves, comparados contra sistemas tradicionales.

El diseño de las obras, es parte intrínseca del diseño del eje, ya que como se mencionó desde el principio de este capítulo, estas complementan, fortalecen y viabilizan la operación. La primera obra civil a considerar en este

análisis, es el mejoramiento de la caminamientos y rodaduras, así como su segregación del tránsito mixto.

El mejoramiento de caminamientos, aceras y bordillos, son obras que deben de diseñarse adecuadamente buscando la comodidad y bienestar del usuario, sobre todo en sistemas de pares viales, ya que motivan de forma directa el desplazamiento peatonal. Para el eje “Corredor Central”, la Municipalidad de Guatemala, durante la fase de construcción llevó a cabo el mejoramiento de las aceras, ampliando estas y jardinizándolas, tanto en las vías donde transita el Transmetro, como las calles que intersectan las avenidas donde transita el sistema en ambos sentidos.

Figura 10. **Carril segregado eje “Corredor Central”**



Fuente: Estación 4 grados sur.

El mejoramiento de la rodadura también tiene una relevancia importante en un sistema BRT, ya que la calidad de calle donde transitan las unidades se vincula de forma directa con variables como, desgaste de llantas, velocidad de tránsito, entre otras, todas igualmente reguladas en la metodología para la generación de créditos de carbono. En este sentido, la Municipalidad de Guatemala invirtió como primer rubro en un carril de concreto, ya que este material es duradero, presenta menor resistencia para los neumáticos y su mantenimiento es mínimo comparado con otros materiales como asfalto.

La segregación para el tránsito exclusivo de las unidades de alta capacidad, es fundamental para el cumplimiento de un importante objetivo de un sistema BRT, tiempos eficientes a partir de la reducción de congestionamientos intrínseco del tráfico mixto en la urbe guatemalteca. Para el eje “Corredor Central”, existen dos tipos elementos para la segregación. El primero, compuesto por medias esferas de metal pintadas de color amarillo se ubica en los primeros 5 metros de cada cuadra, así como los últimos 5 metros finales. Dichos elementos, si bien generan una segregación, permiten a los vehículos que giran en las intersecciones tomar el carril siguiente al carril exclusivo.

El segundo elemento de segregación lo componen barras de concreto, estas se ubican entre las medias esferas metálicas. Estos elementos generan una segregación total del tránsito, evitando totalmente la inclusión de cualquier tipo de vehículo al carril exclusivo. Estos elementos están pintados de color verde.

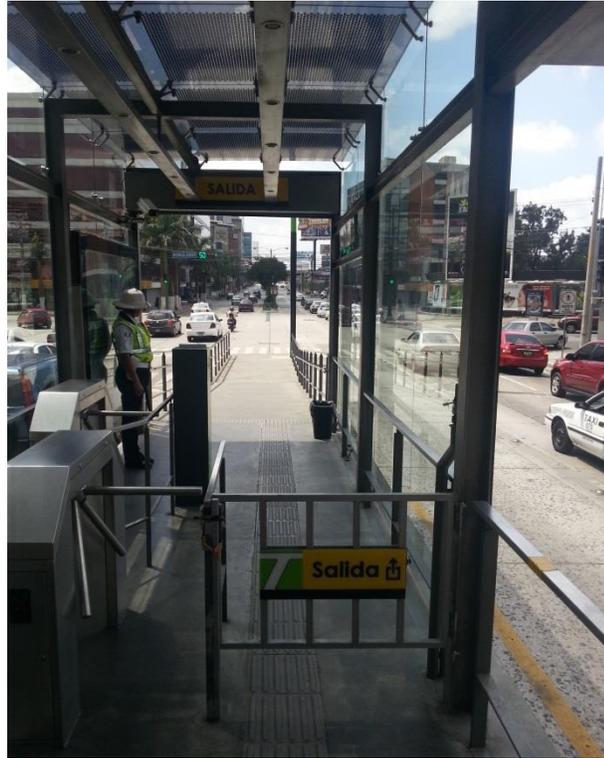
Una de las principales obras de diseño de un sistema BRT, son las estaciones para los usuarios, ya que como se ha comentado en capítulos anteriores, deben cumplir con ciertos criterios para que el sistema sea óptimo y

alcance sus objetivos de operación, al igual que alcanzar los supuestos de la metodología AM0031 para la generación de créditos o bonos de carbono.

Las estaciones deben ser elevadas para evitar pérdida de tiempo en el abordaje o descenso, ya que esta forma, la estación y el piso del autobús se ubican el mismo nivel, evitando de igual forma, posibles accidentes. En el “Corredor Central” se diseñaron estructura de hormigón, estilo plataforma de 90 centímetros de alto. A los costados de la estación, se ubican área para publicidad y vidrio para la protección del viento a los usuarios. El techo es de lámina sobre estructura metálica.

El acceso a las estaciones es por medio de rampas, para facilitar la movilidad y seguridad de personas con capacidades diferentes. Para el ingreso de estaciones se cuenta con dos molinetes, el primero para los usuarios que utilizan monedas y el segundo para el sistema prepago SIGA. La salida de las estaciones es la misma que se utiliza para el ingreso.

Figura 11. Estación eje “Corredor Central”



Fuente: Estación Exposición.

Para el eje “Corredor Central” se llevaron a cabo dos pasos a desnivel, ambos con el objetivo de intersectar el bulevar Liberación. El primero conecta la 6 avenida de la zona 9 con la avenida Hincapié de la zona 13 llamado “Manuel Estrada Cabrera” y el segundo, de la 15 avenida de la zona 13 con la séptima avenida de la zona 9, este nombrado “Jorge Ubico” inaugurado el 18 de julio de 2013.

Ambos pasos a desnivel son de tránsito mixto, es decir que en el mismo transitan vehículos y autobuses del sistema colectivo masivo, su desarrollo era fundamental para la óptima operación de Transmetro, así como su impacto en

la locomoción positiva es innegable. El primer paso a desnivel, de la sexta avenida, es de 3 carriles y el segundo de dos.

5.2. Sistema de operación

La operación del eje “Corredor Central” inicio en octubre de 2010. El mismo se compone de 19 estaciones, de las cuales dos, El Calvario y Plaza Barrios, interconectan este eje con el Suroeste, de forma que se genera el intercambio entre las diferentes rutas, lo cual facilita al usuario para su movilización para otros destinos o rutas finales. En estas estaciones, a partir del diseño estratégico, permiten que los usuarios trasbordar de una ruta a otra sin pagar pasaje nuevamente, promoviendo de esa forma, el sistema integrado, tanto con la alimentación, como entre troncales.

El eje “Corredor Central” cuenta con 30 unidades para el transporte colectivo de usuarios marca Scania modelo 2008, con capacidad para 110 pasajeros cada uno. Para el mantenimiento de estos, se subcontrata una empresa especializada, lo cual asegura el servicio preventivo que ayuda a que las unidades tengan una buena combustión y eficiencia para movilizar a los usuarios.

Para asegurar que cada una de las unidades reciba el mantenimiento adecuado en el momento indicado, se cuenta con dos variables que se registran y monitorean, el kilometraje y fecha del último mantenimiento. Para ambos factores se lleva un control estricto, el primero es controlado día a día para validar la distancia recorrida por cada unidad. La segunda, se archiva y valida en la bitácora de cada unidad, para conocer con certeza tanto la fecha de las intervenciones, así como el tipo de mantenimiento dado.

Dentro de la operación del eje “Corredor Central”, se cuenta con una playa de estacionamiento para las unidades, donde se le da mantenimiento a los autobuses, y día a día se lleva un control de calidad, tanto del estado físico, como su rendimiento de combustible y kilometraje. La playa de estacionamiento se ubica en la zona 4 de la ciudad de Guatemala.

Como parte primordial de la operación, se cuenta con información y rotulación sobre las estaciones y la ruta en general del Transmetro, así como en el interior de los autobuses. Esto permite que los usuarios conozcan su ubicación y hacia dónde se dirige el autobús. De igual forma, cuentan con acomodadores en cada una de las estaciones, los cuales son parte del personal de la Empresa Municipal de Transporte (EMT). En cada ingreso se ubica un agente de seguridad para velar por la integridad física de los pasajeros.

Figura 12. **Rotulación en estación El Calvario, eje Corredor Central**



Fuente: Estación El Calvario.

Es importante mencionar, que el eje “Corredor Central”, al igual que el eje suroeste, cuentan con un centro de control integrado, desde donde se vela por la operación óptima del servicio. De igual forma, es ahí donde se coordina la asignación de buses para los horarios de menor demanda de pasajeros, conocidos bajo la terminología “hora valle”, como en la “hora pico”, término utilizado para definir que la afluencia se encuentra en su punto máximo. Con esto se busca evitar las aglomeraciones excesivas, o en su defecto, evitar la circulación de unidades innecesarias.

Este centro de control cuenta con alta tecnología que permite a los operadores, conocer la situación en cada una de las estaciones en tiempo real a través de un sistema de circuito cerrado. El centro de control opera de forma paralela el sistema, estando conectado con los pilotos y los responsables de las playas de estacionamiento.

Figura 13. Centro de Control Transmetro



Fuente: Green Development.

Otro punto a resaltar sobre la operación del eje “Corredor Central” es para efectos de la generación de créditos de carbono primordial, siendo esta la integración con el sistema alimentador, Transurbano. La alimentación es fundamental en un sistema tronco-alimentado, ya que este servicio, permite a los usuarios, utilizar ambos sistemas y de esta forma trasladarse desde zonas residenciales o barrios, donde el sistema masivo no accede.

A lo largo del recorrido de la ruta, se puede observar esta acción natural, dada la cercanía de las estaciones de ambos servicios. De igual forma, se cuenta con casetas de información compartida donde los usuarios pueden recargar sus tarjetas prepago.

Figura 14. **Interacción entre Transmetro y Transurbano**



Fuente: Estación Terminal.

5.3. Sistema de recaudación

El sistema de recaudo del eje “Corredor Central” está compuesto por un sistema en efectivo y un sistema prepago a través de tarjetas recargables, ambos operan en cada uno de las estaciones y cuentan con ingresos independientes en función de la forma de pago.

El sistema prepago se ubican en la entrada de cada una de las estaciones, este opera para las unidades del servicio de alimentación y el troncal, ambos bajo la marca comercial SIGA.

La recolección de los ingresos en efectivo, son recogidos por una empresa de seguridad en cada una de las estaciones, para luego cuantificarlos y trasladarlos a partir de depósitos bancarios a las arcas municipales.

La operación del sistema prepago tiene como fundamento que se evite el contacto de personal operador con el dinero, tanto pilotos como acomodadores, limitándolos de esta forma sus labores a operacionales y no a la contabilidad o administración de ingresos. El sistema se ubica en la entrada de cada una de las estaciones para el sistema troncal, y para los alimentadores, en el ingreso de las unidades. En ambos casos es conocido bajo la marca comercial SIGA.

El ingreso por medio de efectivo se permite a través de molinetes que se accionan al momento que el usuario ingresa una moneda con valor de un quetzal, permitiendo de este modo su ingreso al sistema.

De igual forma opera el sistema con tarjeta magnética prepago, la cual opera como se mencionó, opera bajo la marca comercial SIGA. Los usuarios deben recargar su tarjeta previa al uso, como principio de una operación

prepago. Las estaciones de recarga se ubican en la cercanía de las estaciones del sistema, donde se puede recargar las tarjetas.

El mecanismo de uso es acercar la tarjeta a un sensor magnético, el cual a partir de un software especializado, reconoce la tarjeta y al momento de contacto, realiza una transacción electrónica, en la cual se descuenta lo equivalente a un al costo de un pasaje, es decir un quetzal. Al reconocer el lector y realizar la transferencia, se libera el moliente que permite el ingreso al sistema.

La recolección de los ingresos en efectivo se realiza por medio de una empresa de seguridad, la cual recolecta las monedas en cada una de las estaciones, para luego de cuantificarlas, son trasladadas al respectivo banco para ser depositadas.

El ingreso del sistema prepago SIGA, por sus siglas del Sistema Integrado Guatemalteco de Autobuses, es utilizado como método de recaudo para el transporte colectivo integrado de la ciudad de Guatemala. Este es operado por los consorcios que operan Transurbano. Para este proceso, el traslado de fondos se lleva a cabo a través de transferencias electrónicas al final del día tras la cuantificación de los ingresos a través de un software especializado.

5.4. Análisis de los parámetros de diseño

Los parámetros de diseño de los sistemas BRT a nivel mundial, así como el sistema de la ciudad de Guatemala, Transmetro, son similares y deben de analizarse bajo el mismo punto de vistas basado en las características fundamentales de un sistema de este tipo y los especificado por la metodología AM0031, pues es esta a partir de la cual se generan los créditos de carbono.

Dos factores primordiales que son pilares para el diseño de sistemas BRT y la metodología AM0031, son la eficiencia en la operación del sistema y la calidad del servicio para el usuario, pues finalmente este proyecto para poder generar créditos de carbono debe demostrar tanto su reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, como su aporte al desarrollo sostenible de la ciudad de Guatemala.

De esta forma la operación eficiente tiene una relación directa con el uso adecuado de los recursos, lo cual va ligado a un control estricto de los mismos, entre los cuales se puede mencionar el consumo de diésel de las unidades, la asignación adecuada de unidades en función de la demanda de pasajeros en las horas pico y valle, el mantenimiento adecuado de los autobuses y rodadura, entre otras.

De igual forma la segunda variable, la calidad del servicio, redundando en la primera variable, la eficiencia del sistema, ya que si los usuarios cuentan con las herramientas fundamentales que les permitan desenvolverse adecuadamente dentro del sistema, esto repercute en la eficiencia del mismo. Algunos ejemplos de esto es rotulación correcta, adecuado y efectivo sistema de recaudo, accesibilidad y seguridad del sistema, entre otros.

Partiendo de estos dos objetivos fundamentales, el siguiente inciso amplía cada una de las variables involucradas que permite alcanzar los fines del sistema, solo como un óptimo servicio de transporte público, sino para la generación de créditos de carbono bajo la metodología AM0031.

5.4.1. Aplicabilidad de los parámetros de diseño según cumplimiento de la metodología AM0031

En el presente inciso, analiza las variables que componen el eje “Corredor Central” de Transmetro, que permiten que el mismo brinde un buena calidad para los usuarios, así como sea eficiente en el consumo de combustible fósil para el transporte de pasajeros, esto comparado con el transporte tradicional de los “buses rojos” u otros medios modales como vehículos particulares y taxis.

La selección de la ruta es una variable importante en el diseño de un sistema BRT. Como se describió en incisos anteriores, el eje “Corredor Central” conecta puntos extremos de la ciudad de Guatemala a través de un par vial. Este tramo recorre diferentes zonas, la zona 1, 4, 9 y 13 y dos principales arterias, la séptima y sexta avenida de la zona 1, 4 y 9. En la primera transita de sur a norte, y en la segunda en el sentido contrario.

Contar con un par vial en dos avenidas de alto flujo ayuda a no reducir el espacio físico de rodadura asignado a tránsito mixto, ya que únicamente se utiliza un carril exclusivo para los autobuses de las rutas troncales. Bajo este análisis, es importante mencionar que únicamente se utilizó espacio vial existente en la sexta avenida, la cual contaba con 6 carriles. En la séptima avenida se amplió el espacio de rodadura para no reducir el mismo, ya que esta calle contaba inicialmente con 4 carriles, los cuales se mantuvieron.

Una importante variable al analizar el diseño de la ruta, es su capacidad de interacción con el sistema alimentador, así como alimentación natural por puntos de alta afluencia. Bajo esta perspectiva, el eje “Corredor Central” cumple con ambos supuestos, pues los autobuses de alta capacidad transitan, como se mencionó, en arterias principales donde se ubican en sus colindancias,

importantes centros de negocios y servicios como el hospital del servicio de seguridad social, bancos y edificios públicos como ministerios. Adicional a estos, en las cuadras aledañas se localizan zonas de comercio, hoteles y centros comerciales.

Complementario a la actividad comercial, la ruta donde circula el eje “Corredor Central” intersecta con arterias o puntos de alto flujo vehicular y circulación de peatones, como Bulevar Liberación o “La Terminal”, la cual indirectamente le permite a usuarios de otros puntos de la ciudad acceder al sistema troncal por medio de alimentadores.

En síntesis, este capítulo analiza cada uno de los componentes de diseño del eje “Corredor Central” de Transmetro, tomando como referencia lo estipulado por la metodología para la generación de créditos de carbono la funcionalidad. La operación y mecanismo de recaudación también son analizados, ya que son elementos fundamentales para asegurar el éxito del servicio.

Cada una de las variables fueron analizadas en función de los requerimientos de la metodología bajo la cual fue registrado el proyecto, siendo el eje “Corredor Central” el primero con la capacidad de generación de créditos de carbono. Esto ya que es hasta la construcción de este eje que se cumplen con supuestos fundamentales como el diseño de un sistema integral tronco-alimentado.

En este capítulo se valoran los parámetros de diseño esenciales del eje “Corredor Central”, como la selección de la ruta, diseño de obra complementarias y mejoras a la infraestructura. De igual forma se considera el sistema de recaudo, rotulación y control centralizado.

6. ANÁLISIS DE RESULTADO Y BENEFICIOS ESPERADOS

Analizar el diseño y operación del eje “Corredor Central” en función de la regulación vigente para la generación de créditos de carbono, es fundamental, pues a partir del correspondiente análisis se puede maximizar el beneficio económico de la generación de créditos de carbono.

Bajo este parámetro se debe establecer el nivel de cumplimiento de cada variable, siendo la responsable del monitoreo la Municipalidad de Guatemala, considerando los supuestos establecidos por la metodología AM0031 bajo la cual fue registrada, y las diferentes herramientas establecidas por Naciones Unidas. De igual forma, se pretende identificar posibles puntos de mejora.

En este sentido, se analizará a continuación cada una de las variables sensibles para la generación de créditos de carbono, considerando su nivel de aseguramiento y respaldo con el que se cuenta, especificando su vínculo con la capacidad de reducción de emisiones, concluyendo con una prospección de créditos bajo diferentes escenarios.

6.1. Consumo de combustible

El registro de consumo de combustible fósil del sistema, diésel, es una variable sensible de monitoreo, ya que a partir de este se define las emisiones brutas del proyecto. Adicionalmente es relevante ya que representa uno de los rubros más altos de la operación del sistema.

Transmetro abastece sus unidades de combustible del eje “Corredor Central” en la playa 2, como se le conoce a la ubicación donde se encuentra el parqueo y oficinas administrativas de este eje. Dentro de las instalaciones se cuenta con una bomba de despacho manual con una capacidad de almacenamiento de 5 000 galones.

Dicha bomba es utilizada para el abastecimiento, donde día a día se registra la cantidad de galones que son suministrados a cada una de las unidades. Para esta actividad existe un responsable, quien despacha a todas las unidades en horarios definidos. El monto de galones despachado es anotado en un cuaderno, lo cual representa el soporte físico primario. Esta información es digitalizada posteriormente para contar con archivos digitales, a partir de los cuales se desarrollan los análisis respectivos.

Cada día se totaliza la cantidad de diésel despachado a las unidades y se valida la información, comparando con una medición real del combustible restante en los tanque de almacenamiento. De esta forma se limita los posibles errores.

Como información complementaria que permite el análisis cruzado, se cuenta con los respaldos físicos y digitales de la compra de combustible. Esta información detalla la cantidad de galones comprados, cada ocasión que se abastece los tanque de almacenamiento que alimentan la bomba manual. Con esta información es posible verificar que el consumo diario reportado y la existencia física, cuadra con la cantidad comprada.

La oportunidad de contar con documentos físicos y digitales de diferentes fuentes, que al ser analizados de forma cruzada, validan de forma directa la

veracidad de los datos es fundamental para el proceso de verificación de créditos de carbono.

Como se puede analizar, se cuenta con un respaldo sólido del consumo de diésel, el mismo es trazable y se cuenta con la información primaria, digitalizada y una opción de control cruzado con las compras. Esto permite establecer que la variable de operación se encuentra documentada.

Adicional al respaldo del consumo del combustible, es primordial contar con acciones que aseguren el uso eficiente del recurso y un constante control para verificar que se cumplen con los rendimientos deseados. Bajo este punto, el centro control juega un papel primordial, regulando la cantidad de unidades en función de la demanda, así como los tiempos de circulación.

De igual forma, se cuenta una revisión diaria de rendimiento de las unidades, considerando su eficiencia en rendimientos de galones por kilómetro. Paralelo a dicha revisión, se lleva a cabo el mantenimiento de las unidades asegurando que se encuentren en óptimas condiciones y así el uso del recurso sea eficiente.

Otra variable importante a monitorear, es la calibración de neumático y estado de los mismos, ya que esto repercute directamente en el consumo. El eje “Corredor Central” cuenta con un monitoreo diario de esta variable, asegurando que cumplan con las especificaciones del fabricante.

Una variable que importante analizar, es la oportunidad que existe para utilizar fuentes de combustible alternativo, de forma total o parcial. Estas fuentes, tomando como referencia que actualmente se utiliza como fuente de energía combustible diésel, el mismo podría sustituirse por biodiésel.

El biodiésel es una fuente de energía parcialmente renovable, ya que es mezcla de combustible fósil, diésel, y un fuente renovable, biocombustible, estos pueden ser biodiésel (metil-éster producido a partir de aceite vegetal o animal, de calidad diésel), el biodimetiléter (dimetiléter producido a partir de la biomasa), *fischer tropsh* (producido a partir de la biomasa), bioaceite prensado en frío (aceite producido a partir del aceite de semilla solamente por procesamiento mecánico) y todos los demás biocombustibles líquidos²³.

El contenido de carbono del biodiésel por defecto es de 19,3 kgCO₂/GJ, el cual es inferior al del diésel, el cual es de 20,2 kg CO₂/GJ²⁴. Esta diferencia del 4,5 % es directamente proporcional a las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que esta reducción podría traducirse en el aumento de un porcentaje equivalente para la generación de créditos de carbono.

Esta opción se presenta como una opción viable, ya que la generación de biodiésel en Guatemala, si bien posee aristas a resolver en el ámbito político, es una posibilidad tecnológica, ya que la industria azucarera de Guatemala tiene la capacidad de generar este insumo, así como se sucede en otros países latinoamericanos, como Brasil.

Existen otro tipo de fuentes que también podrían ser analizadas como opciones viables para la generación de biodiesel, como fuente de energía para la operación de Transmetro.

²³ Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. p. 1.17.

²⁴ Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. p. 1.22.

6.2. Kilómetros recorridos

El kilometraje que recorren los autobuses, es relevante para la generación de créditos de carbono, ya que es a partir de esta variable que se puede tener una relación de eficiencia en el consumo. Bajo ese parámetro, contar con un registro de esta variable es fundamental.

En el eje “Corredor Central” se cuenta con un registro diario de kilometraje a partir de la revisión del odómetro. En una hoja de reporte se anota el odómetro de salida y el de ingreso, permitiendo no solo determinar el recorrido diario, sino los movimientos internos.

Es importante mencionar, que a nivel mundial, la mayoría de sistemas cuentan con sistema de geo-posicionamiento satelital, como una herramienta que permite conocer el punto exacto en el que se encuentra cada unidad, definir velocidades de movimiento y kilometraje recorrido. Aunque Transmetro no cuenta con este sistema, el respaldo que existe para esta variable es sólido y trazable.

Para esta variable es relevante la existencia de un centro de control para optimizar los kilómetros recorridos por cada unidad. Esta optimización se cimienta en poder estimar la cantidad de buses que deben prestar el servicio a partir de la demanda de usuarios.

Esta operación es fundamental sobre todo, para las horas valle, donde la demanda es inferior a la capacidad del sistema, por lo cual, no es necesario que el 100 % de los buses esté en circulación. La estimación de los buses contempla dos variables: la cantidad de usuarios y el tiempo de espera. Estas variables deben de velar por la eficiencia del sistema y de igual forma, por la

satisfacción del cliente, ya que a pesar de una baja afluencia, no se debe sacrificar a los mismos, a través de largos períodos de espera.

Otra variable a tomar en cuenta, dentro de la planificación de la cantidad de autobuses que deben circular en función de la demanda de pasajeros, es la rotación de buses, utilizando los horarios valle para mantenimiento preventivo, supervisión general de condiciones del bus, entre otras.

6.3. Pasajeros transportados

El reporte de pasajeros responde a la necesidad, de poder definir el impacto que genera transportar a cada uno de los usuarios, en un viaje. Como se expuso en el capítulo 3, los créditos de carbono se generan a partir de la diferencia de emisiones que generan las diferentes categorías de vehículos comparado con el Transmetro, analizando emisiones por viaje por pasajero.

Para el registro de pasajeros Transmetro cuenta información trazable, ya que estos se determinan en función de la cantidad de ingresos por estación. Para el método de pago en efectivo (monedas), una empresa de seguridad recoge de cada estación los ingresos, determina la cantidad monetaria ingresada por estación y hace los respectivos depósitos bancarios.

De esta forma se cuenta con el informe de la empresa de seguridad, quien totaliza los ingresos por estación y los depósitos bancarios. Para dicho procedimiento se han desarrollado protocolos, lo cual hacen de estos, valores trazables y confiables, ya que son comparables en sí mismo.

Es importante recalcar que existen usuarios deshonestos, los cuales al momento de ingresar por el molinete, depositan monedas de veinticinco

centavos, un cuarto del valor real del pasaje, lo que se ve reflejado al totalizar los ingresos.

Con el sistema prepago, se totaliza el ingreso de pasajeros a través de un software. Este tipo de sistemas son utilizados a nivel mundial, son confiables y recomendables, ya permiten la trazabilidad de ingresos.

Con lo anterior expuesto, el análisis realizado permite concluir que se cuenta con un registro detallado y trazable de pasajeros. Sin embargo, durante el desarrollo del estudio se verificó que existen usuarios de los cuales no se lleva control, siendo estos los colaboradores municipales y personas de la tercera edad. Si bien, estos no son representativos antes el número de usuarios totales, sería recomendable tener el registro.

En la variable de pasajeros, es importante tomar en cuenta los cambios de medio modal que se derivan de la implementación del eje de Transmetro “Corredor Central”. Por cambio modal, se entiende cuando un pasajero que tradicionalmente hubiera usado un medio de transporte privado o taxi, lo sustituye por uso de transporte público.

Este aumento de pasajeros por cambio de uso modal de transporte, tiene un impacto en la cantidad de usuarios del sistema, sin embargo, para efectos de la generación de créditos de carbono, se evalúa de forma diferente, ya que se considera las emisiones que se dejan de emitir por el sistema de transporte que tradicionalmente se utilizaría, comparado a las emitidas por el Transmetro.

Este análisis genera que la capacidad de generación de créditos de carbono aumente considerablemente, ya que los transportes privados, como el

automóvil y el uso de taxis, son los que más emisiones emiten por kilómetro por pasajero transportado.

Esto también se vincula al sistema de alimentación, Transurbano, que es un componente importante de análisis, ya que en función que este sistema se complemente, la oportunidad de crecimiento en número de pasajeros es considerablemente mayor.

6.4. Otras variables de diseño

Las variables fundamentales de diseño condicionantes para la generación de créditos de carbono, son aquellas que la metodología especifica o que el documento de diseño del proyecto registrado ante la ONU especifica.

Dentro de estas variables, las primordiales son contar con estaciones elevadas fijas, carriles segregados del tránsito mixto, señalización que promueva el uso integral del sistema con sus alimentadores y promoción de transición modal a transporte colectivo. De los variables, tres variables adicionales tiene relación con los puntos 6.1, 6.2 y 6.3, por lo que no se ampliarán en este numeral.

El cumplimiento de secciones estaciones elevadas es un parámetro de diseño que se cumple a lo largo del eje Corredor Central, ya que cada una de sus 19 estaciones fue construida bajo esta premisa, de igual forma cumplen con la restricción del ingreso a partir del molinete y están ubicadas entre 400 a 600 metros.

La segregación del carril del tránsito mixto para la circulación de los autobuses del sistema, no se cumple en la totalidad del eje. Se estima esto

únicamente ocurre en el 80 % del recorrido, a lo largo de la sexta y séptima avenida. En estos puntos, se cuenta con bordillos de concreto y medias circunferencias metálicas que impiden el ingreso de vehículos particulares o comerciales.

A lo largo del recorrido en la zona 13, no se cuenta con segregación física, más que visual a través de señalización. Esto es un claro incumplimiento al diseño de sistemas BRT, por lo tanto incumple con lo estipulado por la norma. De igual forme ocurre en tramos del extremo norte, frente al Banco de Guatemala, en el recorrido hacia la estación Plaza Barrios.

Figura 15. **Eje “Corredor Central” sin carril segregado**



Fuente: Estación Hangares.

La señalización sobre las rutas alimentadoras es otra clara debilidad de diseño del eje “Corredor Central”, ya que si bien se genera alimentación de Transurbano en puntos específicos que se consideraron en el diseño, no se

cuenta con información que permita ubicarlas o identificarlas. Dicha debilidad, debe de mejorar, ya que no solo beneficia a los usuarios, sino genera mayor relación entre los componentes del sistema, lo cual repercute directamente en la generación de créditos de carbono.

6.5. Generación de créditos de carbono

La generación de créditos de carbono, fin último del desarrollo de los estudios complementarios y registro ante la ONU depende, como se ha ampliado a lo largo del documento, de las diferentes variables que se consideran dentro de la metodología.

Bajo esa misma perspectiva, la metodología define la capacidad de generación de créditos de carbono del proyecto, ya que establece las fórmulas para estimar las reducciones de emisiones. De esta forma, según lo establecido en el documento de diseño del proyecto, se estima una capacidad máxima de generación de más de 500 000 créditos anuales.

Este valor está estimado en función del ingreso de todos los ejes que se tienen planificados, para el eje central, la estimación de aproximadamente 20 000 créditos de carbono. Esta cifra se puede ver modificada, en función que se consideren las variables que se analizaron en este capítulo y se consideren las observaciones realizadas.

CONCLUSIONES

1. El cambio climático es una problemática universal la cual se ha visto potencializada por la actividad humana como el transporte, generando condiciones de clima extremo, desde aumento en la intensidad del ciclo hidrológico, hasta situación diversas como nevadas o tornados.
2. El Protocolo de Kioto es una documento vinculante, que compromete a los países industrializados a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, y al resto de naciones, los motiva a buscar el desarrollo sostenible, para lo cual incluye el mecanismo de desarrollo limpio como una opción para genera créditos de carbono, los cuales pueden ser vendidos para generar beneficio económico de proyectos ambientalmente responsable.
3. El transporte colectivo de la ciudad de Guatemala a lo largo de la historia, ha presentado una serie de problemáticas, siendo los principales causante la calidad del servicio y el costo.
4. El eje “Corredor Central” de Transmetro fue diseñado como un par vial, que une puntos extremos de norte a sur en la zona económicamente activa del país. La misma cuenta con obras civiles como 19 estaciones, opera a través de 30 buses con capacidad de 110 pasajeros, una playa de estacionamiento y el centro de control de Transmetro.
5. Los parámetros de diseño y operación de Transmetro del eje “Corredor Central”, fueron analizados a partir de su relación y capacidad de

generar créditos de carbono, tomando como referencia las variables que son susceptibles para ese fin, considerando las fortalezas y debilidades.

6. Las variables analizadas del diseño y operación del eje “Corredor Central” cumplen en su gran mayoría con los lineamientos para la generación de créditos de carbono, a excepción de criterios de diseño, ya que la Municipalidad ha variado elementos fundamentales de sistemas BRT, los cual pone en riesgo la generación de créditos de carbono.

RECOMENDACIONES

1. Tomando como referencia la relevancia del cambio climático, es importante llevar a cabo o contar con información relacionada al tema y capacitar en general sobre esta variable.
2. Conocer los requerimientos de la metodología y estar al tanto de las modificaciones que contienen, ya que sus supuestos serán obligatorios para el momento de la ampliación del tiempo de registro.
3. El sistema BRT de la ciudad de Guatemala es un mecanismo compuesto por rutas troncales donde circulan en carriles segregados autobuses de alta capacidad, los cuales se identifican con el nombre Transmetro y lo complementan buses alimentadores llamados Transurbano.
4. La Municipalidad de Guatemala debe capacitar a todo el personal relacionado con el proyecto, sobre los parámetros de diseño del mismo, para que las variables fundamentales no sean menospreciadas o se pierdan registros fundamentales y de esta forma maximizar la generación de créditos de carbono.

BIBLIOGRAFÍA

1. Banco de Guatemala. Guatemala en cifras. Guatemala: Banco de Guatemala, 2011.
2. Banco Mundial. *Indicadores*. [en línea] <www.bancomundial.org>. [Consulta: 20 de enero 2013].
3. Grütter Consulting. *Transporte a juego con el financiamiento para el clima*. [en línea] <www.transport-ghg.com>. [Consulta: 28 de julio 2013].
4. GTZ. *Curso de entrenamiento de transporte masivo*. Alemania: GTF, 2004,
5. JICA. *Estudio de Plan Maestro para el sistema de transporte urbano en 5 del área metropolitana de Guatemala*. Tokio: Jica, 1992.
6. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala. Perfil de la Caracterización del Parque Vehicular de la Ciudad de Guatemala. Guatemala: MARN, 2010.
7. Municipalidad de Guatemala, *Estudio de factibilidad para la estructuración del Transmetro Nororiente, Informe Final*, 2009, Guatemala: Municipalidad, 2009.
8. _____. *Plan Guatemala 2020*. Guatemala: Municipalidad, 2000.

9. *Protocolo de Kioto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Kioto, 1997.
10. Scania, *Especificaciones técnicas*, 2008.
11. UNFCCC Convenio sobre el cambio climático. *AM0031: autobús de tránsito rápido proyecta -Versión 5.0.0*. [en línea] <www.unfccc.int>. [Consulta: 11 de julio 2013].
12. Unidad de Movilidad Urbana, Municipalidad de Guatemala. *Documento Técnico Soporte de Eje Corredor de Eje Nororiental*. Guatemala: Municipalidad de Guatemala, 2010.
13. Universidad Rafael Landívar; Instituto de Agricultura y Recursos Naturales y Ambiente. *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: Vulnerabilidad Local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: VRL; IARNA, 2012.