



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**TESIS DE POSTGRADO**

**“APLICABILIDAD DE INTERNET DE LAS COSAS PARA EL  
DESCONGESTIONAMIENTO VIAL EN TEGUCIGALPA”**

**SUSTENTADO POR:**

**JAIME DANIEL PONCE CHÁVEZ**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE MÁSTER EN  
GESTIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**TEGUCIGALPA, M.D.C. HONDURAS, C.A.**

**OCTUBRE, 2017**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**MARLON BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO**

**JOSÉ ARNOLDO SERMEÑO LIMA**

**APLICABILIDAD DE INTERNET DE LAS COSAS PARA EL  
DESCONGESTIONAMIENTO VIAL EN TEGUCIGALPA.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN**

**GESTIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN.**

**ASESOR METODOLÓGICO**

**CARLOS ARIAS / JORGE MARADIAGA**

**ASESOR TEMÁTICO**

**JESÚS INSUASTI**



## **FACULTAD DE POSTGRADO**

# **“APLICABILIDAD DE INTERNET DE LAS COSAS PARA EL DESCONGESTIONAMIENTO VIAL EN TEGUCIGALPA.”**

**Autor:**  
**JAIME DANIEL PONCE CHÁVEZ**

### **Resumen**

Esta investigación tiene como propósito demostrar la forma en que internet de las cosas puede mejorar la movilidad del tráfico vehicular de Tegucigalpa. Se presenta una propuesta tecnológica que permita el descongestionamiento vial en la ciudad, la cual fue elaborada utilizando una metodología de investigación cualitativa, con un diseño descriptivo, basado en opinión de expertos y revisión de documentación. Como estrategia se recomienda un diseño basado en una prueba piloto donde se puedan ajustar los recursos tecnológico, propuestos y actuales, para la aplicabilidad de este tipo de inversiones y tecnologías que permitan aliviar la congestión vial que vive la población día a día, e iniciar la puesta en marcha de un Sistema Inteligente de Trafico en la ciudad.

**Palabras Clave:** Internet de las Cosas, Tráfico Vehicular, Sistemas Inteligentes de Trafico.



**GRADUATE SCHOOL**

**“APPLICABILITY OF INTERNET OF THINGS FOR ROAD  
CONGESTION IN TEGUCIGALPA”**

**Author:  
JAIME DANIEL PONCE CHAVEZ**

**Abstract**

This research aims to demonstrate how the Internet of Things can improve the mobility of vehicular traffic in Tegucigalpa. A technological proposal is presented that allows the road decongestion in the city, which was elaborated using a qualitative research methodology, with a descriptive design, based on expert opinion and review of documentation. As a strategy, it is recommended a design based on a pilot test where technologies resources, proposed and current, can be adjusted for the applicability of this type of investments and technologies that allow to alleviate the road congestion that the population lives day by day, and start the implementation of an Intelligent Traffic System in the city.

**Key Words:** Internet of Things, Vehicular Traffic, Intelligent Traffic System.

## **DEDICATORIA**

Quisiera dedicar este trabajo a mi madre, Claudia Chávez, pilar fundamental en todos mis proyectos, y ejemplo para alcanzar todas las metas que me he propuesto como persona y profesional. A Carolina Machado, la persona que amo y con quien iniciare una nueva etapa en mi vida, que desde el inicio me ha apoyado en este proyecto con su sacrificio, comprensión, alegría y aportes, sacando lo mejor de mí para poder llegar hasta aquí. Esto es para vos.

-Jaime Daniel Ponce Chávez

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios por haberme dado la oportunidad de vivir esta experiencia, ayudándome una vez más a reconocer que es El, el dueño de mi tiempo y mi vida, acompañando cada etapa y decisión tomada en esta investigación y lo largo de esta carrera.

Al doctor Jesús Insuasti, por su disponibilidad al momento de requerir su apoyo, por sus recomendaciones y experiencias que han sido gran valor a lo largo de esta investigación.

Al ingeniero Roberto Zablah, quien, sin ningún interés, y con mucha transparencia, abrió las puertas de la alcaldía del Distrito Central, para mostrar los trabajos realizados y los que están por venir.

A mis asesores metodológicos Carlos Arias y Jorge Maradiaga con quienes comparto el éxito de esta investigación y a todas las personas entrevistadas gracias por su tiempo.

A todos ellos, muchas gracias.

-Jaime Daniel Ponce Chávez

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1. ENTORNO MUNDIAL .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2. ENTORNO LOCAL.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. TEORÍAS DE SUSTENTO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1. CONCEPTUALIZACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1. IoT Y SUS APLICACIONES.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2. SISTEMA INTELIGENTE DE TRAFICO (ITS).....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3. RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN) EN SISTEMAS DE             INTELIGENTES DE TRÁFICO.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.4. RETOS TECNOLÓGICOS PARA APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS             EN LAS CIUDADES. ....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.5. RETOS PARA LA APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS EN             TEGUCIGALPA.....</b>	<b>22</b>

2.3.6. CASOS DE ÉXITO APLICANDO INTERNET DE LAS COSAS A LA MOVILIDAD VEHICULAR.....	24
---	----

### **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 28**

3.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	28
3.2. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN .....	29
3.2.1. ENFOQUE CUALITATIVO .....	29
3.3. TIPO DE ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
3.3.1. EXPLORATORIA Y DESCRIPTIVA .....	29
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.4.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN CUALITATIVA .....	29
3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
3.5.1. MATRIZ METODOLÓGICA.....	30
3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	31
3.6.1. MUESTRA POR EXPERTO .....	31
3.6.2. MUESTRA POR OBSERVACIÓN .....	31
3.7. INSTRUMENTOS APLICADOS.....	31
3.7.1. ENTREVISTAS A EXPERTOS .....	31
3.7.2. REVISIÓN DE DOCUMENTOS .....	32

### **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS..... 33**

4.1. CONGESTIONAMIENTO VIAL EN TEGUCIGALPA.....	33
4.2. DESCRIPCIÓN DEL TRAFICO EN TEGUCIGALPA.....	35
4.3. ANÁLISIS DEL TRAFICO EN TEGUCIGALPA.....	41
4.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL CONGESTIONAMIENTO VIAL EN TEGUCIGALPA.	42

4.5. TECNOLOGÍAS ACTUALMENTE UTILIZADAS EN EL DISTRITO CENTRAL APLICADAS A MOVILIDAD URBANA.....	47
4.6. TECNOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD VEHICULAR EN TEGUCIGALPA. ....	49
4.6.1. DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	52
4.6.2. DISEÑO DE LA PRUEBA PILOTO. ....	53
4.6.3. BENEFICIOS ESPERADOS.....	59
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>60</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	60
5.2. RECOMENDACIONES .....	61
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Emisión de CO2 y consumo de combustible en función de la velocidad promedio de viaje. ....	6
Grafico 2. Veloz tasa de adopción de la infraestructura digital. ....	14
Grafico 3. Perfil horario de la demanda por propósito de viaje. ....	34
Grafico 4. Comparación de viajes diarios entre 2012 y 2017. ....	41
Grafico 5. Comparación de viajes diarios entre 2012 y 2017. ....	41
Grafico 6. Comparación de inversión en los últimos tres años en obras. ....	45
Grafico 7. Crecimiento de inversión vial en los últimos años en el Distrito Central. ....	45
Grafico 8. Comparación de tiempo de viaje. ....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales zonas de congestión en Tegucigalpa y Comayagüela. ....	8
Figura 2. Comportamiento de redes VANETs integradas en una sola solución ITS. ....	12
Figura 3. Como trabaja IoT en la industria.....	15
Figura 4. Bases para la implementación de una Ciudad Inteligente.....	23
Figura 5. Sistema de Arquitectura de “Padua Ciudad Inteligente”. ....	25
Figura 6. Trafico usual bulevar FFAA, Metromall, temprano por la mañana. ....	38
Figura 7. Trafico usual bulevar FFAA, Metromall, al final de la tarde.....	39
Figura 8. Ejemplo del concepto de Onda Verde. ....	47
Figura 9. Ubicación de las obras finalizadas sobre el bulevar Juan Pablo II. ....	53
Figura 10. Zona propuesta para proyecto piloto. ....	54
Figura 11. Operación del proyecto piloto.....	55
Figura 12. EDT de los principales entregables. ....	58
Figura 13. Bosquejo de un ITS implementado. ....	71
Figura 14. SensorAdvantech libre de interfaces. ....	71
Figura 15. Enrutador WISE-3610 LoRa IoT. ....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo de referencia de la comunicación basada en IoT. ....	16
Tabla 2. Matriz Metodológica ....	30
Tabla 3. Viajes diarios 2012 en DC. ....	35
Tabla 4. Promedio de viajes diarios ....	40
Tabla 5. Resumen de proyectos ejecutados en 2014 - 2017 ....	43
Tabla 6. Detalle de proyectos en ejecución en 2017. ....	44
Tabla 7. Costo de inversión para el proyecto piloto.....	56
Tabla 8. Detalle de Recurso Humano Requerido.....	58

## ÍNDICE DE FORMULAS

Formula 1. Resistencia máxima de un bucle por inducción. ....	20
---	----

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo consiste en la explicación a detalle del planteamiento de la investigación, donde se establece el problema a tratar junto con las preguntas de investigación y los objetivos, con el fin de tener una perspectiva clara acerca de la investigación que se realizó.

## 1.1. INTRODUCCIÓN

La población urbana en las principales ciudades de América Latina ha aumentado con el paso de las décadas, Tegucigalpa y Comayagüela, ciudades que conforman el Distrito Central, no han estado aisladas de esa realidad. Esto ha provocado el aumento de las movilizaciones diarias, un poco más de 1,400,000 movilizaciones diarias, según datos de la alcaldía municipal del Distrito Central (AMDC). Esto ha provocado congestionamientos densos en los bulevares y avenidas de la capital de Honduras. La topología de la ciudad, vuelve cada vez más complicado, la ampliación de calles y la construcción de nuevos pasos a desnivel o túneles que alivien los congestionamientos diarios.

Alrededor del mundo ya se han empezado a tomar medidas necesarias involucrando las tecnologías de la información, mediante un concepto conocido como Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), basado en la industria 4.0, como la revolución en las industrias inteligentes y software como un servicio. Este concepto tecnológico tiene varias implementaciones y para esta investigación se presentó un diseño basado en IoT urbano, mediante un previo análisis de la situación actual del tráfico en Tegucigalpa, para así poder identificar las tecnologías ya implementadas alrededor del mundo, especialmente en América Latina, y elaborar así una propuesta tecnológica que permita entregar una solución real a la ciudad.

Mediante esta investigación se logró definir que la estrategia más recomendada para iniciar esta clase de proyectos es mediante la implementación de una prueba piloto, que permita probar el concepto en una zona de la capital. Para ello se presenta un diseño basado IoT, que integra conceptos como ser: software como un servicio, sensores, semáforos digitales, equipos de comunicación, cámaras de tráfico, entre otros ya implementados y tecnologías que deberían

ser integradas a estos para una correcta administración del tráfico en la capital. E iniciar así uno de los compromisos adquiridos por la alcaldía con el BID en 2012 por medio del Programa de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) como lo es un Sistema Inteligente de Trafico.

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Con el paso de los años la movilidad vial en Tegucigalpa se ha visto perjudicada debido al aumento del parque vehicular en la ciudad. Calles que antes no eran zonas de conflicto ahora son puntos de congestionamiento. Es por ello que la motivación a realizar esta investigación es la de comprender de qué forma tecnología puede mejorar dicha problemática. Tomando en cuenta las experiencias de expertos en otras localidades, mediante la aplicación de tecnologías, así como la experiencia del personal de la alcaldía de Tegucigalpa encargado de la Gerencia de Movilidad Vial del Distrito central.

### **1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Problemas de congestionamiento vial en Tegucigalpa.

¿De qué forma las tecnologías de la información, por medio de Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), pueden mejorar movilidad del tráfico en Tegucigalpa?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Entregar una investigación que presente los recursos y resultados que sustenten la viabilidad para iniciar una administración del tráfico vehicular, basado en Internet de las Cosas, IoT, para el mejoramiento del tráfico vehicular en Tegucigalpa.

### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la situación actual del tráfico vehicular en Tegucigalpa.
- Identificar las tecnologías involucradas en IoT que permiten una correcta administración del tráfico vehicular en las ciudades.
- Proponer una solución tecnológica basada en IoT como una opción para el descongestionamiento vial y administración del tráfico vehicular en Tegucigalpa.
- Definir el costo de inversión de tecnologías basadas en IoT para el mejoramiento del tráfico vehicular en Tegucigalpa.

### 1.4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizó con el propósito de presentar soluciones que sirvan para mejorar el agotamiento de vías alternas, el aumento de la flota vehicular y la implementación de nuevos proyectos de infraestructura en Tegucigalpa. Con el fin de entregar las bases para iniciar proyectos que permitan a las tecnologías de la información por medio de soluciones basadas en IoT, un mejoramiento en la movilización urbana en Tegucigalpa permitiendo un enrutamiento del tráfico basados en el comportamiento del mismo.

**Relevancia:** A través de la formulación de este estudio acerca de la implementación de tecnologías de la información, por medio de IoT como control de tráfico, se pretende demostrar la correcta implementación de esta tecnología permitirá un mejoramiento del flujo del tráfico en Tegucigalpa.

**Conveniencia:** La ejecución de una alternativa innovadora de control de tráfico vehicular de este tipo, permitirá un mejor flujo vehicular en la capital, ahorro de combustible y disminución de CO2.

**Viabilidad:** La iniciativa pretende demostrar la viabilidad tanto en términos económicos como de implementación, considerando que se han generado varios proyectos para el

mejoramiento vial en Tegucigalpa. En términos económicos el estudio puede llevarse a cabo ya que a pesar de que se tendrán gastos no será un riesgo para llevar a cabo este estudio.

**Aplicabilidad:** La correcta aplicabilidad de esta investigación permitirá un mejoramiento del tráfico en zonas actualmente congestionadas por la gran cantidad de vehículos que circulan en la capital.

El uso de las tecnologías de la información por medio de IoT, generaran los siguientes beneficios en Tegucigalpa:

- Ahorro en combustible y tiempo para los habitantes de esta ciudad.
- Reducción de la emisión de CO<sub>2</sub>.
- Datos reales que permitan la implementación de nuevos proyectos como una solución integral.
- Reducción del uso de recursos de tránsito y la alcaldía para el control del tráfico.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

El presente capítulo recopila el análisis que establecieron diversos autores sobre IoT, su aplicabilidad como un medio de mejora en el tráfico y la revisión de Plan de Movilización de Tegucigalpa, presentando así los factores que sustenten la metodología a realizar para esta investigación con el fin de tener visión clara acerca de la viabilidad del mismo en la ciudad de Tegucigalpa.

### **2.1. SITUACIÓN ACTUAL**

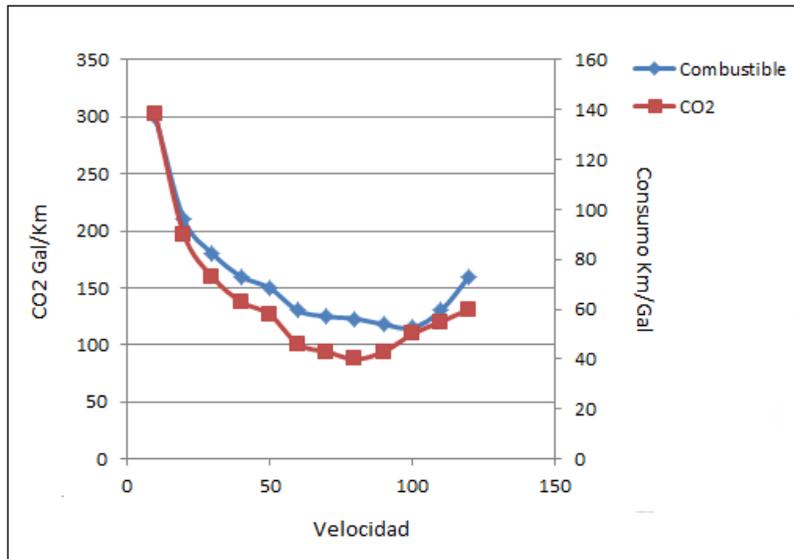
Actualmente en los países desarrollados y en vías de desarrollo, existe un incremento en los parques vehiculares de las principales ciudades, la falta planeación eficaz para la creación de nuevas vías, proyectos que permitan la movilización eficiente del flujo de tráfico en las ciudades y muy poco control del crecimiento parque vehicular, son algunas de las causas que han producido, pérdidas económicas y de tiempo, estrés y enfermedades múltiples asociados al día a día en las ciudades, (Portilla & Chamorro, 2015).

#### **2.1.1. ENTORNO MUNDIAL**

Alrededor del mundo el crecimiento poblacional se ha convertido en un reto para los países dando soluciones sostenibles a sus habitantes en diversas latitudes del planeta. Soluciones que, dependiendo el enfoque, la necesidad en la infraestructura y las condiciones son efectivas o no. Uno de estos retos es el aumento del parque vehicular en las ciudades, la que va ligada al crecimiento poblacional de las mismas, debido a diversos factores, algunos de ellos: La migración de las personas hacia áreas urbanas en busca de mejores oportunidades de vida, crecimiento natural de la población, entre otras. Según estudios revelan que en el 2030 el 60% de la población mundial vivirá en zonas urbanas. (Vlacheas, 2013). Estos son datos que pueden resultar alarmantes para grandes urbes y ciudades en vías de desarrollo.

Otro punto importante a considerar es el alto grado de contaminación que se produce por consecuencia de los embotellamientos. Según un estudio realizado y que se presenta en el Grafico 1, donde existe una relación entre la baja velocidad y la alta emisión de CO<sub>2</sub>.

Según el estudio realizado (Reza Jabbarpour, 2016) mantener una velocidad por debajo de los 40 km/h aumenta en un 30% promedio de producción de CO<sub>2</sub>, justamente la misma emisión que produce un vehículo que viaja a alta velocidad (velocidad mayor o igual a 100 km/h). Y las velocidades que se mantienen entre 45 y 85 km/h presentan una menor emisión de CO<sub>2</sub> y mejor rendimiento combustible.



**Gráfico 1. Emisión de CO<sub>2</sub> y consumo de combustible en función de la velocidad promedio de viaje.**

Fuente: (Reza Jabbarpour, 2016)

Han existido ya estudios realizados en diferentes ciudades del mundo que ya tomaron cartas en el asunto y por medio de la tecnología han implementado soluciones integrales que velan por la armonía y un buen estilo de la vida de sus habitantes. Estas existen bajo el concepto de “Ciudades Inteligentes”, el cual sería la punta de lanza de todas las implementaciones y diseños que trabajan por mejorar forma de vida en las ciudades.

Un caso muy interesante y de éxito fue Padua, Italia, donde estos cambios permitieron organizar aspectos viales de la ciudad y es considerada una municipalidad totalmente interconectada por una red datos que permite capturas y monitoreo del tráfico y su comportamiento en tiempo real, (Zanella & Vangelista, 2014). Según datos obtenidos del mismo

experimento de Padua, es ahora considerada una ciudad inteligente y está sirviendo como prototipo para otras ciudades.

Debido a las necesidades de la población ya sea por aspectos, sociales o culturales que se suman al crecimiento poblacional surgen soluciones como esta que buscan encontrar ese equilibrio y optimización de los recursos en las ciudades con un alto parque vehicular.

En América Latina ya existían soluciones de este tipo como ser Bogotá, donde se iniciaron proyectos como este, debido a los extremos problemas de saturación vial. (Ramirez & Sanchez, 2016).

### **2.1.2. ENTORNO LOCAL**

En Honduras el tema del congestionamiento vial, ya es un problema relevante en la vida cotidiana de los ciudadanos. Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), por medio de datos obtenidos del Instituto de la Propiedad (IP) el actual parque vehicular de Honduras asciende a alrededor de 1,416,678 automotores, entre vehículos y motocicletas. Solamente los departamentos de Cortes y Francisco Morazán suman el 58% del parque vehicular de Honduras y de este el 32% pertenece a Francisco Morazán. Solo en Tegucigalpa y Comayagüela existen unos 550,000 vehículo motorizados, (INE, 2016).

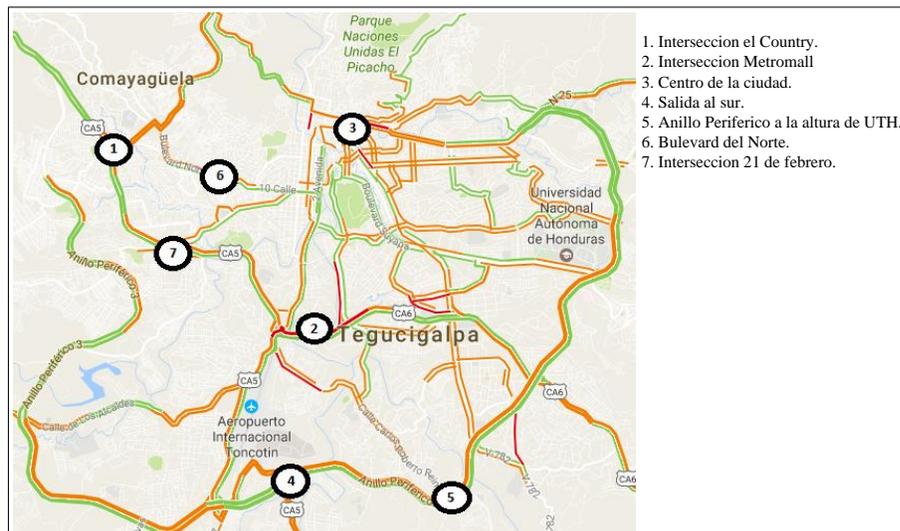
Existen diversas razones debidos a las cuales el parque vehicular de Tegucigalpa ha aumentado tanto en los últimos 20 años, el informe del BID indica lo siguiente:

- Mantenimiento de las causas sociales, económicas, de infraestructura y culturales que estimulan el uso del vehículo privado como modo de transporte, a pesar de que sólo 39% de la población posee vehículo particular.
- Incremento del taxi colectivo como modo de transporte, con una flota actual superior a las 2,500 unidades y aproximadamente 10% del reparto modal.
- Valoración negativa del transporte público, asociada a inseguridad (en promedio más de 55% de los usuarios han sido asaltados alguna vez en el período de un año); accidentes (en promedio se reportan alrededor de 1,7 accidentes al mes el DC); y mal trato de los conductores.

- Inexistencia de accesibilidad universal en el transporte público, aun cuando en 7% de las viviendas del D.C. habita una persona con movilidad reducida.
- Problemas ambientales asociados al uso de modos de transportes poco sostenibles, tales como el vehículo particular y taxis colectivos. De mantenerse la tendencia actual, para el año 2021 se esperaría un incremento de más de 200% de emisiones de CO2 (pasando de 7,750 ton/año a 24.25 ton/año). (BID, 2012).

La congestión vial es la restricción de la movilidad vehicular debido a la falta de capacidad vial, para permitir los viajes diarios, debido a la sobreoferta de servicios motorizados y/o aumento en los vehículos particulares en una ciudad, (BID, 2012). Thomson & Bull, 2002, afirman: “La congestión vial comienza en el momento en que el cambio en la demora de todos los vehículos ya presentes en el flujo es igual a la mitad del tiempo del viaje que tendría un vehículo adicional” (p, 109). Es decir que el tiempo que le tomara a un vehículo llegar a su destino se puede duplicar una vez ingrese al punto de congestión.

La situación seguirá incrementando ya que a pesar de que algunos puntos pueden ser erradicados existen otros que se irán incrementando, debido a condiciones sociales de del país, por lo que otras alternativas deben ser tomadas para iniciar cambios que mejoren las condiciones de la ciudad.



**Figura 1. Principales zonas de congestión en Tegucigalpa y Comayagüela.**

Fuente: (Mendoza, Transito identifica mas 120 zonas de pesado tráfico en la capital de Honduras, 2016)

La figura 1, muestra las 7 principales zonas de congestión vial en Tegucigalpa y Comayagüela. En promedio en estos focos de calor, se estima circulan entre 700 a 800 vehículos por hora (Mendoza, Transito identifica mas 120 zonas de pesado tráfico en la capital de Honduras, 2016).

Es por eso la importancia de revisar la red vial de Tegucigalpa, la cual está conformada mayormente por una configuración de calles en forma radial ósea, ejes que conectan el casco histórico de la ciudad. Estas calles principales representan un 8% de las vías en Tegucigalpa. (BID, 2012). Cabe indicar que un proyecto de ITS (Sistema de Trafico Inteligente por sus siglas en inglés) estuvo considerando en ese plan.

El Plan de Movilidad Urbana enfoca sus esfuerzos en la inclusión y prosperidad de las personas de la ciudad. Teniendo como objetivo, fijar estándares de infraestructura vial en la ciudad, mejoramiento del sistema de transporte y permitir una ciudad más segura para el no motorizado, basándose en las mejores prácticas y un profundo análisis de las condiciones de la ciudad, (BID, 2012).

Entre 2015 y 2017 se han llevado a cabo diversos proyectos de urbanización con el objetivo de mitigar en un 40% el congestionamiento vial en Tegucigalpa, indico Roberto Zablah para el diario El Heraldó en 2016: “Las obras viales que se necesitan son unas 25 y nosotros (la alcaldía) ya trabajamos en 12, entre puentes, pasos a desnivel y rotondas”. Estas obras de infraestructura son medios de mitigación que la alcaldía inicio en el 2015 y que están enfocadas a la agilización del tráfico.

Para el 2016 una movilización de 12.3 km, en hora pico, podía tardar alrededor de unos 90 minutos, lo que se traduce que, una movilización de este tipo se realizaría a una velocidad promedio de 8.2 km/h, en vehículo particular. No es de extrañar que el uso de motocicletas se haya incrementado en los últimos años. Actualmente existen alrededor de 150,000 motocicletas en el parque vehicular de Tegucigalpa y Comayagüela (28% del parque vehicular) circulando diariamente y sumado a esto la poca capacitación vial que existe crece el número de accidentes,

donde se involucra a motocicletas, (Mendoza, Transito identifica mas 120 zonas de pesado tráfico en la capital de Honduras, 2016).

Con respecto al transporte público el informe sobre movilidad urbana identificó que actualmente existen 103 rutas de transporte público, 83 urbanas y 20 interurbanas donde se denota una sobreoferta en las principales avenidas de Tegucigalpa con una flota de 1100 unidades entre buses y microbuses, 713 y 400 respectivamente. En cuanto al transporte privado, básicamente la movilidad en Tegucigalpa se espera aumente en un 25% con respecto al 2012, sin realizar ningún cambio algunos de los efectos serian:

- Mayor uso de microbuses.
- Descontrol de rutas de taxi colectivo.
- Falta de regulación del tráfico.

Esto traerá como consecuencias la intensificación del problema actual, traduciéndose en: insatisfacción de los sistemas de transporte, congestión vehicular y mayor focos de contaminación, (BID, 2012).

En el 2017 la alcaldía siguió impulsando proyectos de infraestructura vial, con el objetivo de agilizar la movilidad en el Distrito Central. El alcalde del Distrito Central, Nasry Asfura, indico para diario El Herald, en 2017: “Durante el 2017 se ejecutarán alrededor de 14 nuevos proyectos”, (Perez, 2017). Estos proyectos son orientados a la infraestructura vial de Tegucigalpa y Comayagüela.

## **2.2. TEORÍAS DE SUSTENTO**

El problema dado a conocer en esta investigación es sobre la creciente congestión vial en Tegucigalpa. Por lo tanto, el estudio de la investigación brindó como resultado el planteamiento para la implementación de un Sistema Inteligente de Tráfico por medio de IoT (Internet de las Cosas, por sus siglas en ingles) en Tegucigalpa.

Esta parte del documento presenta las teorías e investigaciones que el autor ha considerado sustentan y preparan el camino para la realización de la investigación.

### **2.2.1. CONCEPTUALIZACIÓN**

**IoT (Internet de las Cosas)**, Elementos de la vida cotidiana que se conectan entre sí mediante internet o una red y que permite su administración remota, ahora aplicados a la conexión de elementos o cosas para aumentar la eficiencia de los proyectos en la industria o vida cotidiana. (Insuasti, 2017).

**Arquitectura de Red**, sistema que permite la conectividad de dispositivos, de forma estructurada y jerárquica, para el intercambio de información en tiempo real. Estas pueden servir para la conexión de dispositivos u otras redes que deseen interconectarse permitiendo así el intercambio de información.

**Data Warehouse o Almacén de Datos**, es el conjunto de datos que varían en el tiempo, los cuales son recopilados por un fin común y ayuda a soportar la toma de decisiones, no son transitorios ni transaccionales y deben soportar grandes volúmenes de procesamiento de datos (Portilla & Chamorro, 2015).

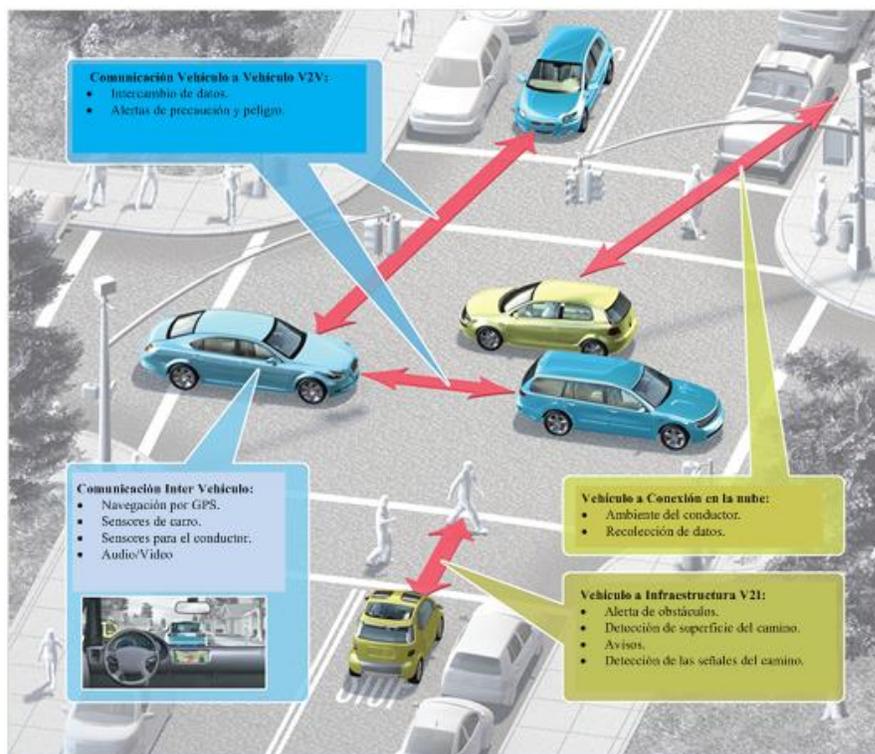
**Red de Área de Vehículos (VANETs por sus siglas en inglés)**, es una red que basa su comunicación en la disponibilidad del vehículo para transmitir información en el entorno que le rodea sobre la infraestructura tecnológica de una ciudad, permitiendo así la transmisión de datos, esta puede ser de vehículo a vehículo, vehículo a infraestructura o vehículo a la nube, en general todo el concepto se basa en un entorno en la nube. (Ibañez, Zeadally, & Contreras, 2015). La figura 2, muestra los diferentes tipos de redes VANETs y su comportamiento en su entorno.

**Computación en la Nube (Cloud Computing)**, este es un modelo acceso a la red omnipresente, en donde se ubican una serie de recursos computacionales compartidos como ser servidores, aplicaciones y servicios. Bajo este esquema existen diferentes modelos, características e implementaciones.

En esta investigación, se referirá a computación en la nube o simplemente “la nube” bajo los siguientes aspectos: Como modelo de implementación de nube privada, con características esenciales como un servicio medido y un modelo de servicios de infraestructura como servicio (IaaS, por sus siglas en ingles), este último puede variar según el caso del se indique con software como servicios (SaaS, por sus siglas en ingles), (Mell & Grance, 2011).

**Onda verde**, sistema diseñado para que respete los ciclos de los semáforos, así que el cambio de color no es brusco. Cuenta con tres puntos de posicionamiento, uno antes de los cruces y así consecutivamente hasta finalizar el ciclo y restablecer la frecuencia de estos, uno cerca del semáforo y otro lejos de él.

**Industria 4.0**, Es el verdadero origen de IoT, partiendo de los hitos históricos de la revolución industrial. Se origina en Alemania abarca 8 aspectos importantes que convierten a una fábrica convencional en una fábrica inteligente, entre estos elementos están big data, minería de datos, sistemas en tiempo real, GPS, IoT, entre otras. (Insuasti, 2017).



**Figura 2. Comportamiento de redes VANETs integradas en una sola solución ITS.**

Fuente: (Faezipour, 2012)

**Ciudad Inteligente**, Se definen como el cambio al que muchas ciudades están apuntado para solucionar sus problemas de sobre población o sobre crecimiento, de forma inteligente utilizando tecnologías, (Chourabi & Otros, 2012). Este concepto es profundizado, por Zanella, 2014, cuando afirmó: “Aunque todavía no existe una definición formal y ampliamente aceptada para Ciudades Inteligentes, el objetivo final de estas es mejorar el uso de recursos públicos, incrementando la calidad de los servicios ofrecidos a los ciudadanos y reduciendo al mismo tiempo los costes operativos de las administraciones públicas”. Estos conceptos se unen para entender el objetivo final de una ciudad inteligente.

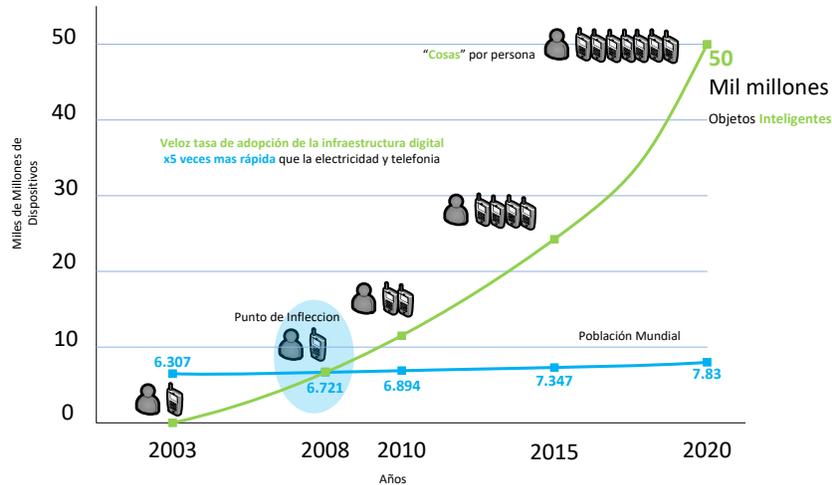
### **2.3. ESTADO DEL ARTE**

En esta sección se discute los aportes de diferentes autores, sus análisis e implementación en sistemas de control de tráfico e ITS, por medio de IoT como teoría de comunicación entre dispositivos y sus aportaciones al desarrollo de soluciones integrales para el descongestionamiento vial en las principales ciudades del mundo. Existen diferentes tipos de implementación las cuales, algunas por motivo de obsolescencia, han sido reemplazadas por nuevas teorías según la evolución natural de la tecnología. Esta investigación se enfocó en los artículos, revistas y ponderaciones que permitan, por medio de IoT, acceso a grandes volúmenes de información para la operación y control de tráfico.

#### **2.3.1. IoT Y SUS APLICACIONES**

El Protocolo de Internet, basa su concepto en interconectar redes a través de diversos protocolos también conocidos como TCP/IP, (IEEE, 1981). A veces llamado red de redes. Permitiendo la comunicación de Sistemas Autónomos, de modo por el cual se realiza el intercambio de información.

Poco a poco la cantidad de dispositivos conectados al mundo se ha ido incrementando, en las últimas décadas se observó cómo, la cantidad de dispositivos que se conectaban a una red o a Internet incrementaba con el paso de los años. En la conferencia anual de Cisco Live 2017, Barton, indico que para el 2020 existirán 7 dispositivos con acceso a Internet por cada persona ósea unos 50 mil millones de dispositivos, como lo muestra el grafico 2, la cantidad de dispositivos por persona se incrementara en cinco veces de 2003 al 2020.



**Grafico 2. Veloz tasa de adopción de la infraestructura digital.**

Fuente: (Barton, 2017).

Internet de las Cosas es un concepto introducido por Kevin Ashton en 1999. (Ashton, 2009) Afirio: “Hoy en día las computadoras y, por tanto, el Internet son casi enteramente dependientes sobre los seres humanos para obtener información. Internet de las Cosas, basa su concepto en administrar múltiples objetos por medio de Internet. Este puede ser incorporado en diferentes ambientes desde una forma sencilla hasta grandes sistemas homologados, en el que permitan la comunicación de una gran variedad de dispositivos”, (Katpally, 2015).

IoT se orienta cada vez más a servicios en la nube que permitan disminuir costos de mantenimiento y renovación de licencias. Por esta razón este concepto se verá más en nuestro entorno y nueva implementación irán surgiendo a lo largo del tiempo. Esta reciente tendencia en el que se enfatiza la facilidad de conectar varios dispositivos (cosas) en una red con el objetivo de obtener información que sea de utilidad para las personas.

IoT en un ambiente urbano, brinda soluciones para los habitantes de una comunidad o ciudad, (Katpally, 2015). Cisco presentó en febrero de 2017, en su conferencia anual Cisco Live 2017, una división en de tres capas para una implementación de IoT en la industria o transporte, figura 3, las cuales consisten en la capa física, donde se indican: aplicaciones, sensores, antenas o cualquier dispositivo que capture datos y sea conectado a la red de interés. La capa seguridad, donde se ven involucrados los protocolos de red y enrutamiento que permitan la conectividad y seguridad de los dispositivos. Y finalmente la capa cibernética o de información, donde se concentra toda la data que luego será transformada en información que sustente la toma de decisiones para la ejecución de nuevos proyectos o las modificaciones en el flujo del tráfico que sean requeridas (Katpally, 2015).



**Figura 3. Como trabaja IoT en la industria.**

Fuente: (Katpally, 2015)

Existen también otros modelos de referencia para entender las capas del modelo de IoT una de ellas que será de interés para este trabajo de investigación es la basada en modelo TCP/IP, donde se le compara mucho con dicho modelo, definiendo cuatro capas, la cuales son: Capa física, capa de Internet, capa de transporte y capa de aplicación como se muestra en la tabla 1. (Thakur, Naik, & Vatari, 2016).

**Tabla 1. Modelo de referencia de la comunicación basada en IoT.**

Protocolo	Capa
HTTP	Aplicación
TCP	Transporte
ARP	Internet
TM4C	Interfaz de Red

Fuente: (Thakur, Naik, & Vatari, 2016)

IoT es un ambiente donde diferentes dispositivos se interconectan, por medio de una interfaz inteligente, para lograr así una comunicación inteligente, esperando ofrecer una conectividad avanzada con variedad de protocolos, dominios y aplicaciones. Esto es posible usando diferentes tipos de sensores que se comunican entre sí comunicados con el mundo a través de internet estableciendo una comunicación “Cosa a Cosa”, basándonos en la comparación de la comunicación del internet tradicional que es una comunicación basada en humano a humano, este concepto ha ido cambiando en los últimos años, (Thakur, Naik, & Vatari, 2016).

Esta comunicación y procesamiento es logrado gracias a tecnologías inalámbricas como RFID, NFC, LTE, 3G y WiFi en donde estas permiten las conexiones a los nodos de los sensores. Todas estas tecnologías están basadas, en su mayoría, en protocolo IP. (Thakur, Naik, & Vatari, 2016). El protocolo IP (Protocolo de Internet, por sus siglas en inglés), es el encargado de brindar la comunicación entre dispositivos por medio del intercambio de bits (unidad informática) por medio del envío de paquetes (RFC 0791).

IoT se ha convertido en una tecnología emergente que ha permitido la creación de estándares ubicuos mediante la comunicación de medios guiados y no guiados, de objetos y personas, ideal para la creación de nuevos conceptos que permitan la comunicación para cualquier servicio. Internet de las cosas ha dado una enorme oportunidad para que se hable de una verdadera administración de tráfico, administración de infraestructura urbana, control industrial, hospitalario, entre otros. (Thakur, Naik, & Vatari, 2016).

Uno de los conceptos y aplicaciones que es de interés para esta investigación es el Sistema de Trafico Inteligente, (ITS por sus siglas en inglés) un concepto ya utilizado en distintos ambientes y que ha permitido el fortalecimiento del diseño de las llamadas ciudades inteligentes, (Chunli, 2012).

Los ITS se han integrado muy bien a estos diseños que IoT ofrece. Debido a la forma de su estructura, permite una poderosa recolección de datos que estos sistemas se encargan de transformar en información, la cual es de interés para las ciudades donde se está implementando, ya sea para regulaciones de tráfico, censos, nuevos proyectos, etc. (Chunli, 2012).

IoT le ofrece, a ITS, un buen canal de comunicación para la transmisión de datos proveyendo una plataforma heterogénea que aglomera varias tecnologías ajustándose a una comunicación en ambas vías a través de los dispositivos desplegados, por medio Internet, en tiempo real por medio de la infraestructura instalada. (Chunli, 2012). La unión final de diferentes dispositivos y una gestión por medios de comunicación es la mayor fortaleza de IoT permitiendo su implementación en las ciudades inteligentes.

Internet de las cosas se ha convertido en el tercer medio de comunicación, de las tecnologías de la información, después de Internet y las redes de comunicación móvil. Por ello no es de extrañarse sus aplicaciones en la industria de automotriz, agricultura, ganadería, urbanidad, educación y soluciones del hogar. Las redes de sensores inalámbricas han ayudado al internet de las cosas a propagar su popularidad debido a que por este medio se permite la conexión de objetos a objetos. Esta comunicación es lograda gracias a la comunicación de corta distancia entre los sensores logrando, entre muchas cosas, la interoperabilidad de internet y redes móviles, (Zhu & Wang, 2010).

### **2.3.2. SISTEMA INTELIGENTE DE TRAFICO (ITS)**

ITS, Sistema de Transporte Inteligente, por sus siglas en inglés, es un sistema semiautónomo que concentra diferentes tipos de tecnologías avanzadas para el manejo y control de tráfico por medio del uso, de sensores, red y procesamiento de datos, de forma inteligente, en las ciudades que presentan alto volumen de tráfico, (Chunli, 2012).

Este concepto, ITS, toma la estructura de IoT para desarrollar su concepto. Este incluye varias áreas del transporte: Sistemas de viaje y administración de tráfico, transporte público, casetas de peaje, sistemas de emergencia, entre otros. Este sistema utiliza nuevas aplicaciones que integran distintas tecnologías desde sensores hasta vehículos que se integran a los sensores.

ITS basa su tecnología en la recolección de datos mediante la transmisión simétrica de carga y descarga. ITS soporta su concepto en IoT, debido a la gran cantidad de dispositivos que se conglomeran para brindar una sola solución integral dirigida a la optimización del flujo de tráfico.

Desde el 2012 se han visto ya soluciones específicas de transportes basadas en IoT que brindan de forma exitosa soluciones en sus lugares de implementación con la utilización de redes de largo y corto alcance que brindan una red para interconexión de toda su infraestructura. Los sensores inalámbricos se convirtieron en una solución que permite fusionar toda clase tecnologías de comunicación inalámbricas de corto y largo alcance, así como la recolección de esa data mediante Cloud Computing (Computación en la nube) distingue autonomía y movilidad para la administración del flujo del tráfico vehicular en las ciudades (Chunli, 2012).

Integrar IoT en el estudio realizado por el BID, 2012 en Honduras, permitirá una mayor escalabilidad y durabilidad del proyecto, ya que, al trabajar soluciones como esta de forma independiente, no enfocaran sus resultados en soluciones integrales que permiten a los ITS brindar y monitorear de forma ágil, problemas de congestionamiento vial en las ciudades (BID, 2012).

Es por eso que la propuesta de sistemas de inteligentes de transporte, deben ir orientadas a IoT, mediante conceptos como ser Infraestructura como un Servicio (SaaS, por sus siglas en

inglés) y Red como un Servicio (NaaS, por sus siglas en inglés). Este modelo de recopilación de datos permite a los ITS tolerancia al retraso y mejoramiento del desempeño. Los sistemas inteligentes se conforman por WSN (Red de Sensor Inalámbrico, por sus siglas en inglés) las cuales se vuelven la columna vertebral de estas implementaciones y que unen todos los conceptos ya tratados en esta sección y anteriores, (Chaqfeh & Mohamed, 2016).

El principal objetivo de los sistemas de inteligente de transporte es brindar seguridad, eficiencia y control del tráfico mediante el manejo de la información que se obtenga de la recopilación de datos, así como la difusión de estos. Es por ello que la continua evolución de estos sistemas se vuelve imperativa para el correcto funcionamiento en los ambientes donde fue implementada, siempre velando por los cuatro fundamentos principales con los que se ha creado el concepto de sistemas inteligentes de tráfico: sostenibilidad, integración, seguridad y una buena respuesta, (Ibañez, Zeadally, & Contreras, 2015).

Los ITS se integran perfectamente con las redes VANET, en mejor forma en los conceptos Vehículo a Infraestructura (V2I) y Vehículo Conectado a la Nube (V2B), ambos complementarios uno del otro, brindan conceptos que permiten la comunicación del entorno en el que los vehículos se encuentran, capturando datos que posteriormente se convierten en información que por medio de los sistemas permite el control de los sistemas de administración del tráfico en los ITS por medio de redes de sensores inalámbricos (WSN). Los conceptos Vehículo a Vehículo (V2V) y V2I se definen ya en el estándar IEEE 802.11p, (Faezipour, 2012) .

### **2.3.3. RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN) EN SISTEMAS DE INTELIGENTES DE TRÁFICO.**

Red inalámbrica de sensores (WSN, por sus siglas en inglés) son redes que están formadas en su mayoría por dispositivos que permiten realizar mediciones y captura de datos, son pequeños y económicos dispositivos, los cuales se comunican entre sí permitiendo un posterior cotejo de los datos de las áreas o elementos preestablecidos a estudiar. Estas redes presentan una buena flexibilidad, autonomía y bajo costo, permitiendo así una fácil implementación, (Bellavista

& Cardone, 2013). La fórmula 1, muestra la forma de calcular la resistencia máxima de un bucle por inducción.

$$RL(max) = \frac{Vpower - 12V}{20mA} \times \frac{1mA}{0.001A}$$

**Formula 1. Resistencia máxima de un bucle por inducción.**

Fuente: B&B SmartWorx

Los requerimientos para que la comunicación entre sensores se realice basan su funcionamiento en las siguientes capas:

- Reenvió de datos, utilizando la infraestructura de IoT como puerta de enlace para que esta retransmita la información a otras de redes de forma correcta y transparente.
- Protocolos de conversión de corta distancia, que permitan la comunicación entre sensores y las redes de comunicación, como pueden ser 2G/3G/4G, DSL o cualquier otro medio que permita la conectividad hacia Internet, para el re-empacamiento de paquetes.
- Control y Administración, mediante la centralización de un servidor para que este pueda brindar acceso los nodos y así sea posible tener el control de los sensores (Zhu & Wang, 2010).

Manteniendo la perspectiva de poder recopilar información siempre se tendrá la necesidad de mantener y mejorar los recursos que apoyen en la recolección de datos, es por eso la integración de estas tecnologías a protocolos que permitan crecimiento y mantenimiento como lo es IPv6, ZigBee, entre otros. ZigBee presenta una comunicación simétrica de carga y descarga, la cual es una buena opción para una buena comunicación maquina a máquina e IPv6 presenta una opción para permitir gran cantidad de dispositivos, (Bellavista & Cardone, 2013).

#### **2.3.4. RETOS TECNOLÓGICOS PARA APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS EN LAS CIUDADES.**

Alrededor del mundo se ha convertido un verdadero reto la implementación de tecnologías con el objetivo de obtener un mejoramiento en las condiciones de vida de sus habitantes, la definición de estándares, su interoperabilidad, nuevos esquemas de seguridad, escalabilidad y problemas técnicos, son algunos concepto que han venido a discutirse en los últimos años sobre la utilización de tecnologías, con el objetivo del mejoramiento vial de las ciudades, (Ibañez, Zeadally, & Contreras, 2015).

Debido a las diferentes implementaciones que existen alrededor del mundo, existen diferentes retos, dependiendo del objetivo que se desea alcanzar, condiciones geográficas y demográficas, regulaciones legales y condiciones ambientales. A continuación, se revisará algunos de los retos con lo que se han enfrentado los interesados para desarrollar técnicas como ser LoRa, VANET y 6LoWPAN, para las aplicaciones en las ciudades:

**Vehículos Conectados a la Infraestructura**, el principal desafío radica en generar un nivel de conciencia que motive a los gobiernos locales y a las empresas fabricantes de automóviles, a invertir en tecnologías que orienten la comunicación y conexión de los vehículos con las infraestructura locales (V2I), implementadas mediante diferentes tecnologías heterogéneas y complementarias orientadas a facilitar la vida de los ciudadanos, (Ibañez, Zeadally, & Contreras, 2015).

A esto también es importante sumar los desarrollos correctos de algoritmos que permitan la correcta toma de decisiones en un ambiente autónomo e inteligente, calidad de servicios y mecanismos de seguridad para garantizar la correcta comunicación de los dispositivos, (Ibañez, Zeadally, & Contreras, 2015).

**Vehículos Conectados a Vehículos**, actualmente ya existen varios productos en el mercado, sin embargo, aún falta mucho para que esta tecnología mantenga una madurez como se espera. Existen grandes avances por medio de LTE pero el mayor reto se centra en las corporaciones fabricantes de vehículos que empiecen a homologar conceptos que permitan el

intercambio de datos entre vehículos V2V, es importante y vital que la industria automotriz fije estándares para lograr una verdadera comunicación V2V, (Faezipour, 2012).

**Vehículos Conectados a la Nube**, uno de los principales retos de la comunicación V2B, es el filtrado de comunicación y envío de información de grandes cantidades de vehículos puede causar saturación o latencia en los servicios por tal razón es importante conocer por parte de la autoridad competente lo que se desea procesar y que es lo que no se debe tomar en cuenta, para evitar la latencia en la respuesta de los datos que se procesan. Es importante no olvidar que se habla de mejoramiento del tráfico y la latencia podría causar afectación o retraso en la ejecución de un proyecto.

Otro aspecto a considerar es la seguridad, existen diferentes regulaciones que podrían entrar en controversia con los aspectos de privacidad. Es por eso la importancia de revisar los marcos legales donde se realizará el proyecto y considerar todos los aspectos tanto legales, como términos de privacidad y seguridad de la información donde se ejecutará el proyecto, garantizando solo la recolección de la datos que son de interés y revisar se cumpla con las condiciones necesarias para no generar controversia con los datos que se capturen, (Faezipour, 2012).

**Redes de Área Personal Bajo Poder Basadas en IPv6 (6LoWPAN)**, el mayor reto que presenta esta tecnología es la adopción de IPv6, por lo que deben de utilizarse mecanismos que permitan la traducción de IPv6 a IPv4, (Shelby & Bormann, 2009). A pesar que en algunos países han existido muchos progresos con la adopción de IPv6, Latino América ha tenido una adopción más lenta.

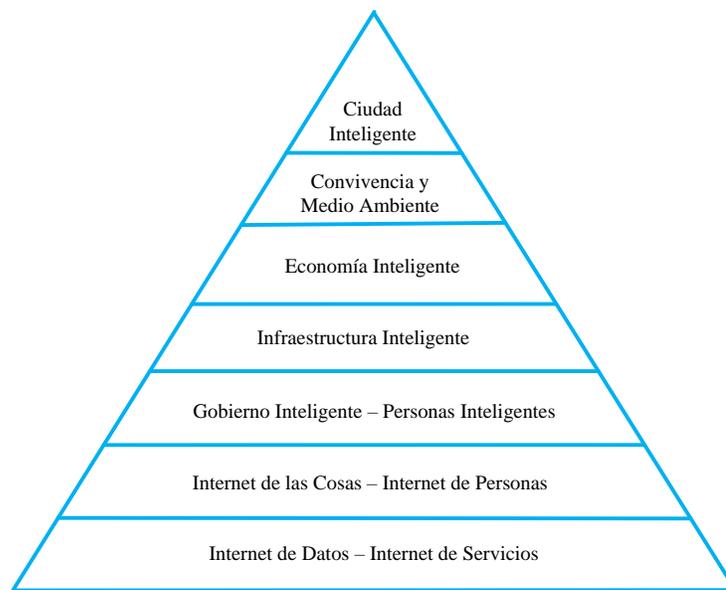
### **2.3.5. RETOS PARA LA APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS EN TEGUCIGALPA.**

Para iniciar una implementación de IoT en una ciudad, no solo de Honduras sino del mundo, es necesario iniciar un plan a mediano plazo que defina, al menos, tres dimensiones necesarias para el desarrollo tecnológico en una ciudad. Estas dimensiones son: Llevar acabo un despliegue tecnológico de forma masiva, que inicie en un piloto, tanto dispositivos tecnológicos

como digitales para iniciar una captura de datos. En primer lugar; la transformación de estos datos a información y por último contar una infraestructura de comunicación óptima, (Zorto & Carías, 2015).

Es importante indicar los retos y aspectos que una ciudad debe superar desde el aspecto socio-económico y cultural. Lombardi, 2012, se refiere a economía inteligente, ciudadanos inteligentes, gobierno inteligente, ambiente inteligente y convivencia inteligente como las dimensiones a considerar como retos para el diseño de una ciudad inteligente.

Considerando estos aspectos como puntos críticos para lograr una ciudad inteligente, a pesar que en él se indican aspectos a considerar para una ciudad inteligente no dejan de ser representativos para considerarlos como retos a tener en cuenta para la implementación de proyectos que basen sus esfuerzos en la implementación de tecnologías en la infraestructura de una ciudad en Honduras. La figura 4, muestra de forma gráfica como estos aspectos sustentan una ciudad inteligente o el desarrollo tecnológico de una ciudad, desde las dimensiones revisadas anteriormente.



**Figura 4. Bases para la implementación de una Ciudad Inteligente.**

Fuente: Elaboración propia.

A medida se escala en la pirámide, iniciando por el mejoramiento del diseño tecnológico se logran nuevos beneficios en las localidades. En la base de este diseño esta la tecnología de información y comunicación como base de una ciudad inteligente sobre ellas descansan el tipo de comunicación, que se presenta por medio del internet hacia las personas o las o cosas, en la tercera capa se agrupa del gobierno y las personas las cuales deben contar con una mentalidad en favor de las mayorías.

El actual estudio no pretende entregar u opinar las prioridades de la municipalidad, sino entregar una propuesta que pueda ser utilizada para la implementación y desarrollo de la cuarta capa, movilidad inteligente, que dará el inicio al mejoramiento de las ciudades, que ya serían las ultimas capas. Este estudio centrara sus enfoques en la infraestructura inteligente como pilar para una movilidad inteligente, (Lombardi, 2012).

Se puede definir entonces que Tegucigalpa se encuentra ubicada entre tercera y cuarta capa, ya que la ciudad del Distrito Central cuenta ya con una infraestructura de comunicación y las condiciones para desarrollar proyectos orientados a la implementación de tecnologías en la infraestructura de la ciudad.

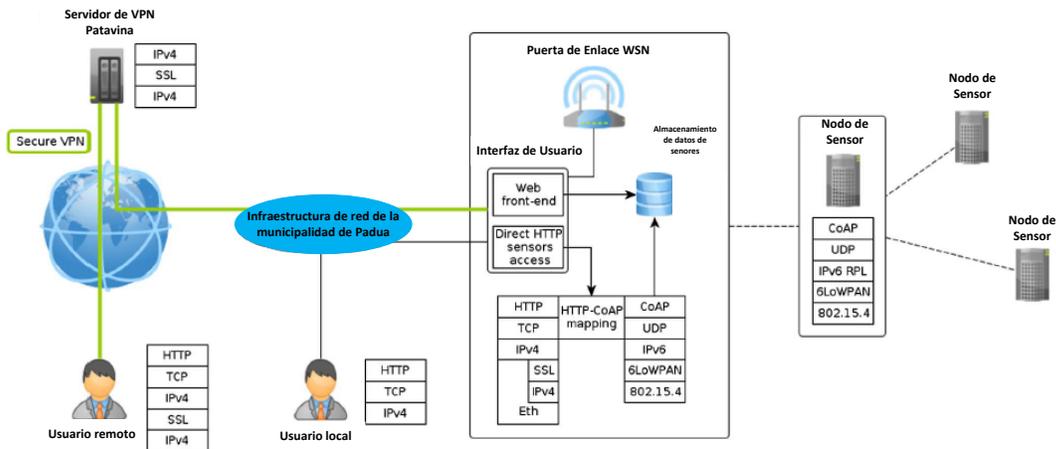
Abordar cada una de las dimensiones lograr la modernización de la ciudad y la forma de vida de los habitantes, aportando el mejoramiento de aspectos importantes como ser el medio ambiente y convivencia ciudadana, (Zorto & Carías, 2015).

### **2.3.6. CASOS DE ÉXITO APLICANDO INTERNET DE LAS COSAS A LA MOVILIDAD VEHICULAR.**

**Padua, Italia, Ciudad Inteligente.** En ella se logró interconectar, en su etapa experimental, con un poco más de 300 nodos inalámbricos en la Universidad de Padua, implementando a posterior un diseño de IoT urbano, después nombrado como “Ciudad Inteligente”. La unidad de diferentes entes permitió llevar a cabo la ejecución de este proyecto tecnológico de beneficio a los vecinos de Padua.

Una de sus primeras metas o retos a las que se enfrentaron con este proyecto fue la ya conocida “barrera tecnológica” y capacitar de la importancia y los beneficios que las tecnologías de la información, por medio de IoT, en este caso, podían brindar traer a la ciudad, en diferentes aplicaciones, mediante la instalación de sensores y cámaras de seguridad.

Para la captura de datos que permitirían la recopilación de CO, temperatura, administración de alumbrado público, transporte público, descongestión vial, entre otros. En la figura 7, se muestra un esquema del diseño que se propuso en Padua, estos nodos fueron conectados mediante la configuración de sensores que soportaban tecnologías como ser redes área personal inalámbricas de bajo poder basadas en IPv6 (6LoWPAN), por medio del estándar IEEE 802.15.4, (Zanella & Vangelista, 2014).



**Figura 5. Sistema de Arquitectura de “Padua Ciudad Inteligente”.**

Fuente: (Zanella & Vangelista, 2014)

Esta implementación empezó a romper los paradigmas que existían hacer de IoT y las ciudades inteligentes y ha dado pie a nuevos desarrollos.

**Sistema de señales de tráfico inteligentes multimodales**, un proyecto que se está llevando a cabo desde 2014 hasta el 2020 en los Estados Unidos el cual inició en Arizona, donde se presenta un sistema de señalización inteligente de prioridad de tráfico conectando los vehículos al ambiente por donde se conducen (V2I, Vehículo a Infraestructura). El proyecto fue nombrado sistema de señales de tráfico inteligentes multimodales (MMITSS) demostraron, en las

pruebas de laboratorio, la operación de un control multimodal que brinde prioridad a los vehículos de emergencia, esto fue logrado gracias a la integración de las distintas tecnologías de comunicación, sensores, GPS, 3G/LTE, Bluetooth y Savari OBE este último como sistema control, basado en LINUX, (Duncan & Larry, 2014).

**Proyecto Conduce (DRIVE-IN Project)**, este proyecto se llevó a cabo entre 2009 y 2012. Coordinado y dirigido por las universidades Aveiro, Porto y Carnegie Mellon, su principal objetivo era evaluar y validar como la comunicación Vehículo a Vehículo (V2V por sus siglas en inglés) podía mejorar la experiencia de los usuarios de taxis. Esto fue gracias a la comunicación de dispositivos mediante protocolos como 3G.

Su diseño se basa en un concepto donde se realiza el aprovechamiento colaborativo por medio de otros protocolos como VANET, enrutamiento inteligente, aplicaciones y servicios que este puede proporcionar, (Ibañez, Zeadally, & Contreras, 2015).

**Aparcamientos Inteligentes en Londres**, desde el año 2014, se inició en Londres un proyecto que consiste en la modernización del aparcamiento en la zona central de la ciudad. El consejo de Westminster en colaboración con una firma tecnológica inició la instalación de más de 3,000 sensores en las bahías de aparcamiento pagadas con la espera de reducir las emisiones de CO2 y disminución del tráfico.

Estos sensores detectan la disponibilidad de un parqueo y mediante una APP disponible para iOS y Android informan la disponibilidad del parqueo en tiempo real el proyecto a octubre de 2014 había desplegado 189 sensores en las principales avenidas y se esperaba finalizara en el 2017, (Crowley, 2014).

**Estudio de Fondo – Sistema Cooperativo de Transporte**, El estudio que se ha realizado desde 2013 trata de llevar a fondo, el comportamiento de las conexiones de alta prioridad, así como la creación de prototipos de prueba que permitan aplicaciones y despliegues sobre la infraestructura del ambiente donde se desarrolla. En otras palabras, un ambiente para elaborar pruebas orientadas a V2I, (Ibañez, Zeadally, & Contreras, 2015).

**Proyecto de Movilidad Instantánea**, proyecto que se lleva a cabo en el Reino Unido donde basa su concepto en un modelo de Infraestructura como un Servicios (IaaS por sus siglas en inglés), y busca espacios necesarios para la aplicación de tecnologías basadas en Internet que permitan una administración y recolección de datos basadas en computación en la nube, integrando a IoT como la columna vertebral del diseño y por medio de este permita que cada uno de los dispositivos se integren entre sí para una buena administración, (Ibañez, Zeadally, & Contreras, 2015).

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente capítulo tiene como objetivo describir la profundidad de la metodología a utilizar durante la ejecución de la investigación. De esa misma forma se detallarán los métodos de investigación para el planteamiento de la hipótesis que sustentará esta investigación.

### **3.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

El objetivo principal de este estudio es identificar la forma en que se debe dar una solución por medio de las tecnologías de información, como ser ITS, basadas en IoT, que permitan mejorar la movilidad vial en Tegucigalpa, proponiendo puntos estratégicos donde se puede iniciar a realizar la implementación, motivada a disminuir el tiempo de las movilizaciones, emisiones de CO<sub>2</sub> y disminución de la factura petrolera.

Se plantea el estudio del fenómeno que conforma el problema. Con la investigación se conocerá datos importantes como: las tecnologías aplicadas con IoT que permitan una agilización del tráfico vehicular en Tegucigalpa, costeo de las tecnologías propuestas durante la investigación en base la situación actual de la ciudad, plantear una propuesta de implementación basada en IoT para la agilización del tráfico en Tegucigalpa, basándose en la infraestructura de la ciudad.

El estudio de la investigación planteada es un enfoque cualitativo, del tipo exploratorio y descriptivo con un diseño basado en teorías fundamentadas (Hernandez Sampieri, 2014), ya que se revisará y recopilará información para obtener varios resultados y se enfocará en comprender los fenómenos que evitan la movilidad vial y como solucionar esta problemática en Tegucigalpa. La cual ha sido poco abordado en Honduras, para lo cual se revisará documentación de otras localidades adaptarlas al ambiente de interés, en este caso Tegucigalpa.

## **3.2. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. ENFOQUE CUALITATIVO**

La investigación se realiza en un entorno donde IoT ha sido poco explorado, debido a que es una tecnología emergente. El campo de estudio que se desea investigar es la aplicación de IoT a la movilidad del tráfico, para esto, la investigación actual se basará en teorías que ya existentes y que sean aplicables al ambiente de estudio en este caso Tegucigalpa.

## **3.3. TIPO DE ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.3.1. EXPLORATORIA Y DESCRIPTIVA**

La actual investigación tiene un enfoque exploratorio porque aborda un tema poco estudiado en el ambiente en el que se desarrolló como ser el mejoramiento vial por medio de tecnologías de la información en Tegucigalpa y descriptivo porque se encarga de entender y solucionar como se ocasionan los congestionamientos viales y las soluciones que se pueden presentar para este fenómeno (Hernandez Sampieri, 2014).

## **3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.4.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN CUALITATIVA**

Dentro del estudio que se realizará se aplicará el método de investigación cualitativa ya que la investigación se toma como marco de referencia, otros autores, considerando los métodos que se han aplicado en otros ambientes, y revisar las teorías más apropiadas para esta investigación (Hernandez Sampieri, 2014).

## **3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Al presentar un estudio de viabilidad, se debe plantear una investigación con un diseño basado en teorías fundamentadas, debido a que la investigación está sustentada por trabajos realizados en otros ambientes. Por lo que es requerido el uso de herramientas e instrumentos que

la investigación cualitativa presenta para poder obtener resultados con el fin de explicar la manera de solucionar el congestionamiento vial en la ciudad. De forma tal que se recolecten datos que permitan la afirmación o no afirmación de la hipótesis y den respuestas a las necesidades planteadas, para Tegucigalpa, en este estudio (Hernandez Sampieri, 2014).

En este caso la investigación produce una exploración general, aplicadas al contexto que es de interés como ser la aplicabilidad de IoT en Tegucigalpa, como herramienta tecnológica para el mejoramiento de movilidad vial en la ciudad. Con esto se logra un aspecto fundamentado, centralizando la investigación en enfoque meramente local. Realizando una investigación basada en teoría fundamentada permitiendo en base a esta desarrollar una propuesta de implementación para fin de esta investigación. Hernández Sampieri, 2014, proponen dos enfoques:

- Diseño emergente. Se enfoca que la teoría surja de datos, consta de una codificación abierta.
- Diseño secuencial. Busca categorizar ejes y centralizarlos en un fin común.

Ambos enfoques citan la importancia que el muestreo debe ser teórico, guiado por los datos que se encuentra recopilando.

### 3.5.1. MATRIZ METODOLÓGICA.

**Tabla 2. Matriz Metodológica**

Revisión	Recopilación	Teoría
Estudio detallado de la situación de la ciudad, documentación y tecnología que soporte la aplicabilidad de un Sistema Inteligente de Trafico basado en IoT.	Ejecución de las entrevistas en base a las teorías recopiladas.	Entrega de un análisis de la exploración realizada, así como conclusiones y recomendaciones para la implementación de sistema de tráfico inteligente, basado en IoT.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA**

Se define como población la ciudad de Tegucigalpa. El tipo de muestro a utilizar será basada en la opinión de expertos.

#### **3.6.1. MUESTRA POR EXPERTO**

Debido a que es un tema poco tratado en los ambientes actuales se recurrió a la valoración de expertos, que permitieron dar un mejor análisis del caso de estudio y así generar una hipótesis para ello se definieron tres expertos que soportaron la investigación que se presenta en este documento.

#### **3.6.2. MUESTRA POR OBSERVACIÓN**

Mediante a las entrevistas realizadas y en base a la revisión de la información ya existente se realizará un proceso para definir los detonantes del congestionamiento vial en las principales zonas de conflicto y de esta forma comprender el compartimento del fenómeno y brindar las soluciones más acertadas en base a la información recolectada durante las entrevistas, (Hernandez Sampieri, 2014).

### **3.7. INSTRUMENTOS APLICADOS**

#### **3.7.1. ENTREVISTAS A EXPERTOS**

Se realizará formulación de una serie de entrevistas para distintos expertos dentro como fuera del país sobre la implementación de IoT en diferentes ambientes y así aprender de las experiencias de estos, y valorar los datos para la formulación de un análisis con mayor congruencia.

### **3.7.2. REVISIÓN DE DOCUMENTOS**

Se realizó la revisión de documentación vinculada a IoT y movilidad vial, con el objetivo de explorar otros ambientes donde se ha realizado ya estos estudios y así definir enfoques, modelos y procesos para la implementación de IoT como tecnología para el mejoramiento vial en Tegucigalpa.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En esta etapa de la investigación se presentan los resultados y el análisis realizado para mostrar la información que sustente la aplicabilidad de IoT como mejoramiento en la congestión vial en Tegucigalpa. La cual, al inicio de esta investigación proponía la identificación de las tecnologías necesarias, el costeo requerido, el análisis de la situación actual y la propuesta final para la administración del tráfico en Tegucigalpa. Para lo cual se realizó una serie de entrevistas con expertos y los informes de PMUS del BID y Política de Movilidad Urbana de la CEPAL, para los temas requeridos, así como la observación del comportamiento del congestionamiento vial actual que Tegucigalpa.

Los comentarios de expertos en movilidad vial y las consideraciones y recomendaciones que dan para lograr una movilidad eficaz, así como los resultados que estos agregan para la investigación realizada. Como base para esta exploración y descripción de la situación actual en el Distrito Central, se tomó como referencia, las entrevistas con expertos y la revisión del Estudio de Apoyo al Plan de Movilidad Urbana Sostenible para el Distrito Central, elaborado por el BID en el 2012, en conjunto con otras organizaciones.

### **4.1. CONGESTIONAMIENTO VIAL EN TEGUCIGALPA.**

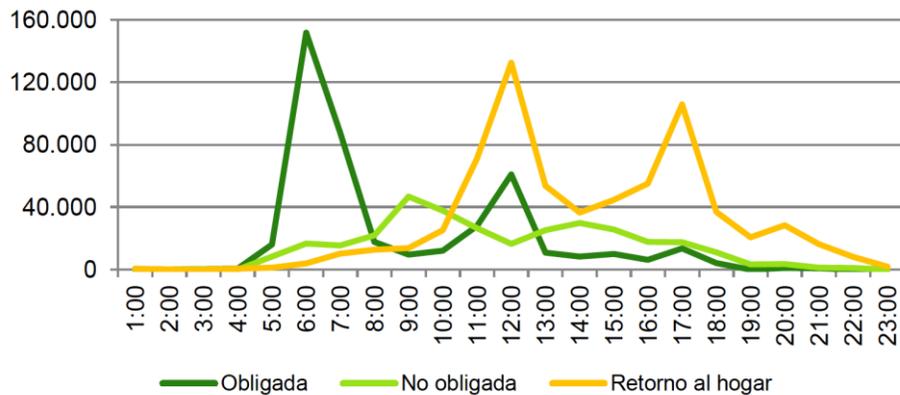
El informe del BID, en 2012, reveló que el crecimiento desmedido y desordenado de Tegucigalpa debido a la migración del campo a la ciudad y otros factores sociales, al igual que en otras latitudes, han generado una sobre población en esta ciudad que actualmente ronda en los 1.5 millones de habitantes, según datos del INE en 2016.

Como ya se indicó en capítulos anteriores el parque vehicular de Honduras asciende casi a 1,500,000 vehículos, de los cuales 550,000 vehículos casi el 40% pertenece a la ciudad del Distrito Central (Tegucigalpa y Comayagüela).

Estos datos se vuelven importantes al compararlos con la capacidad vial de Tegucigalpa. Según datos obtenidos existe una relación de 6 habitantes por vehículo en la ciudad de

Tegucigalpa. Un punto particular de congestión es el anillo periférico donde circulan alrededor de 60,000 vehículos diariamente, ósea unas 350, 000 personas que cada día se movilizan por diferentes factores. El grafico 3 muestra las horas pico, las cuales son consideradas en el siguiente horario:

- De lunes a viernes desde las 05:30 horas hasta las 07:30 horas.
- De lunes a viernes desde las 11:00 horas hasta las 13:00 horas
- De lunes a viernes desde las 16:00 horas hasta las 19:00 horas.
- Los viernes, en particular, los picos aumentan. (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017).



**Grafico 3. Perfil horario de la demanda por propósito de viaje.**

Fuente: (BID, 2012)

Estos datos coinciden con la información entregada por BID en 2012 y la misma mantiene casi los mismos picos de tráfico. Donde se indican los motivos de movilización en el Distrito Central, el cual fue elaborado por el BID en conjunto con organizaciones hondureñas. La información se recopiló mediante la aplicación de instrumentos donde se les consultaba a los usuarios los motivos diarios de su movilización y en que horarios se realizaban. Los resultados entregaron la cantidad de vehículos y las horas en que regularmente se realizan dichas movilizaciónes.

El congestionamiento vial se encuentra diseminado en toda el area metropolitana, como lo muestra el BID en 2012, en el PMUS. Este informe indica, el crecimiento porcentual de movilizaciones diarias en los diferentes rubros, de no hacer nada de aquí a 2020:

- Vehículo particular, 35% .
- Transporte publico, 49% .
- Taxi/Taxi Colectivo, 16% .

Este reparto modal del escenario tendencial está relacionado con la capacidad de las vías en 2012 en caso de no realizar ninguna medida de mitigación, (BID, 2012).

En el Distrito Central, se ha podido corroborar como se han empezado a crear nuevas zonas de congestionamiento vial justamente como los presenta el informe de proyecto elaborado en Santiago de Chile, podemos constatar, que el desarrollo económico de la ciudad ha traído consigo mayor congestionamiento vial, como lo muestra el BID en 2012, en el PMUS. Este informe indica, el crecimiento porcentual de movilizaciones diarias en los diferentes rubros, de no hacer nada de aquí a 2020 como lo muestra la tabla 3:

**Tabla 3. Viajes diarios 2012 en DC.**

Tipo de Movimiento	Viajes Día Medio	Porcentaje
Todos	1,446,960	100%
No Motorizados	497,104	34.40%
Motorizados	949,856	65.60%

Fuente: (BID, 2012).

#### **4.2. DESCRIPCIÓN DEL TRAFICO EN TEGUCIGALPA.**

Ya se indicó algunas de las razones que el PMUS y otros informes, definen las causales del tráfico en las grandes ciudades. En el caso del Distrito Central, tomamos por un lado su topología, migración e infraestructura vial. Si se inicia desde la infraestructura vial, actualmente el tamaño de las calles del Distrito Central ronda entre los 3.5 metros de ancho, por carril en

promedio, los principales bulevares indicados anteriormente, cuentan con esas dimensiones. Las obras de infraestructura vial que está realizando la alcaldía están enfocadas justamente en el desarrollo de la ciudad y en mejoramiento de sus calles, pero la estructura del Distrito Central impide en muchas formas la ampliación de calles. Esas obras de infraestructura vial han permitido un crecimiento vertical de las vías en el Distrito Central las cuales han venido a aliviar el tráfico en algunas zonas del país.

Es necesario aclarar que la aglomeración de seres humanos, como segundo punto, es un comportamiento normal en las ciudades en vías de desarrollo o desarrolladas, lo que justamente representan una consecuencia del desarrollo económico y social de las ciudades. Esto sumado a la falta de inversión en infraestructura vial que sufrió el Distrito Central, que al igual que en Latinoamérica, hubo un estancamiento económico sumando a otras condiciones sociales no permitió el crecimiento y mejoramiento de su infraestructura. La CEPAL muestra mediante un informe presentado que: “El exceso de demanda sobre los espacios comunes de movilidad urbana se manifiesta en la congestión de los tráficos causada por la saturación de las vías disponibles” (p.14).

Debido a lo anterior se volvió indispensable solicitar una entrevista al director de ordenamiento territorial de la alcaldía, ingeniero Roberto Zablah, para conocer la forma en que la alcaldía está tratando este fenómeno social, así como las medidas y planes que tienen para mitigar el congestionamiento vial en Tegucigalpa y Comayagüela. Para lo cual se logró reunir al equipo encargado de la administración de los proyectos de infraestructura y movilidad urbana de la alcaldía, para lo cual se plantearon una serie de preguntas.

Según la observación y las entrevistas realizadas, ante la pregunta, ¿Cuáles son las mayores zonas de conflicto actualmente? los encargados de la dirección de Ordenamiento Territorial del Distrito Central, definen como las vías más congestionadas de la capital a, las siguientes calles y avenidas:

- Bulevar FFAA a la altura Metromall y Bulevar Comunidad Económica Europea.
- Centro Histórico.

- Anillo Periférico a la altura del Centro Comercial Villas de Sol.
- Anillo Periférico UNITEC.
- La Bajada del Chile.
- Bulevar Suyapa, entre La Colonia #1 y Emisoras Unidas.
- Próceres, rotonda Simón Bolívar.
- Bulevar Kuwait.

Estos son algunos puntos donde actualmente se encuentra un alto grado de congestión vial, en algunos de ellos ya se encuentran trabajando, en otros hay proyectos a mediano plazo, pero en el caso particular, del centro histórico, en la entrevista realizada, no se cuenta con proyectos de mejoras en la infraestructura vial de sus vías (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017).

Además de lo anterior la Gerencia de Movilidad Vial empezó dicha identificación de observación en Tegucigalpa, en conjunto con la Dirección Nacional de Tránsito (DNT), determinaron alrededor de 120 zonas de congestión en la ciudad, producidas tanto por movimientos particulares como del transporte urbano, estos puntos van desde un tráfico liviano hasta pesado a diferentes horas del día y bajo distintas condiciones algunas durante toda la semana en diferentes horarios y otros bajo fenómenos y condiciones especiales, (Mendoza, Tránsito identifica más 120 zonas de pesado tráfico en la capital de Honduras, 2016).

Debido a esto se consultó acerca de mayores factores de tráfico en el Distrito Central, donde se encontraron cuatro factores importantes: ordenamiento territorial, transporte público, falta de educación vehicular y crecimiento urbano.

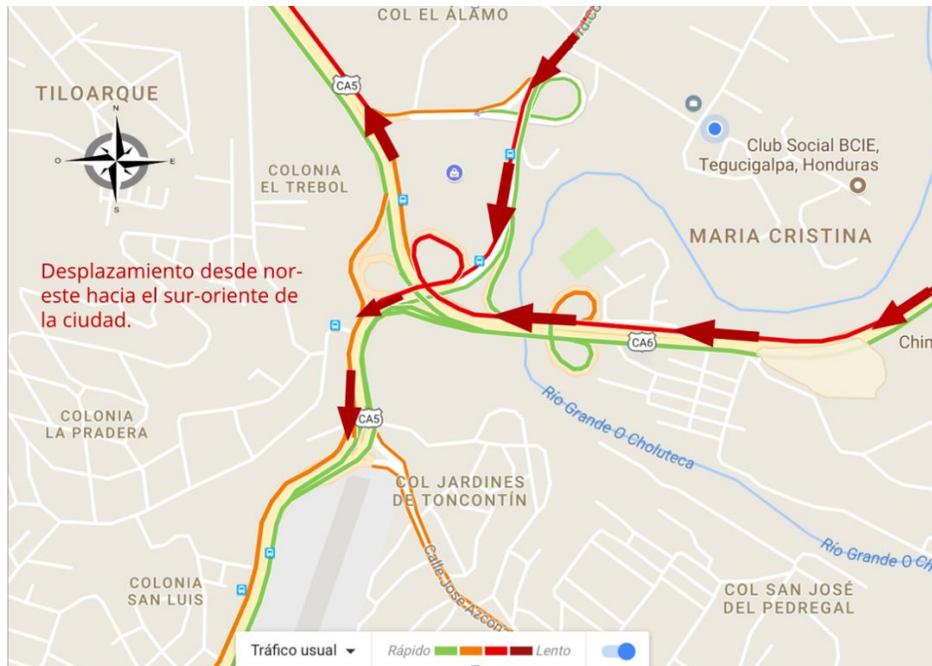
#### 4.2.1 ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

La falta de ordenamiento territorial o una planeación en la forma en que la ciudad ha crecido ha sido uno de los detonantes, por lo que al momento de una hora pico los ciudadanos se dirigen hacia una misma zona, aun tiempo, como lo muestran las figuras 6 y 7 en un ejemplo del congestionamiento por la movilización hacia un mismo punto.



**Figura 6. Tráfico usual bulevar FFAA, Metromall, temprano por la mañana.**

Fuente: Google Traffic.



**Figura 7. Tráfico usual bulevar FFAA, Metromall, al final de la tarde.**

Fuente: Google Traffic.

Este tráfico es debido al desplazamiento de las personas hacia la zona norte de la ciudad y debido al ordenamiento territorial actual, toda la zona sur de la capital toma las dos principales vías desde la zona sur hacia la zona norte, como son el bulevar FFAA y el anillo periférico. Es compartimiento es usual en toda la ciudad a las horas picos.

#### **4.2.2 TRANSPORTE PUBLICO**

Durante mucho tiempo ha existido cierto descontrol en el manejo de las unidades del transporte público. Lo que ha permitido la creación de rutas sin un estudio demográfico, ordenamiento territorial, movilidad y planificación urbana. La falta de control de estaciones, exceso de rutas por las mismas vías y falta de educación vial, son razones que generan atascamientos vehiculares. Actualmente en Tegucigalpa existen 4 medios de transporte público y estos pueden estar sobre las mismas rutas, los cuales son:

- Autobuses.
- Taxis.
- Taxis colectivos.
- Microbuses.
- Existe un quinto medio no oficial, el mototaxi, en colonias.

#### **4.2.3 FALTA DE EDUCACIÓN VEHICULAR.**

(Flores, 2017) afirma: “La falta de disponibilidad de oficiales para la educación vial, por la atención a otras emergencias, impide se cree un plan de educación vial, en escuelas colegios y la creación de una academia donde se eduque a los ciudadanos previo a la obtención de una licencia de conducir, y no una charla de una hora”. La policía nacional moviliza alrededor de 20,000 elementos cada mes para la atención de asistencia vial y emergencias, impidiendo así una correcta concientización vial y educación al momento de entregar licencias de conducir.

#### **4.2.4 CRECIMIENTO URBANO.**

La capital ha tenido un crecimiento exponencial en las últimas décadas, motivado por la migración del campo a la ciudad, esto debido a factores, sociales y económicos. Por tal razón se consultó sobre cuál es la cantidad de viajes diarios en la ciudad, para comparar los datos con los entregados en 2012 por el BID. Los resultados se presentan en la tabla 4.

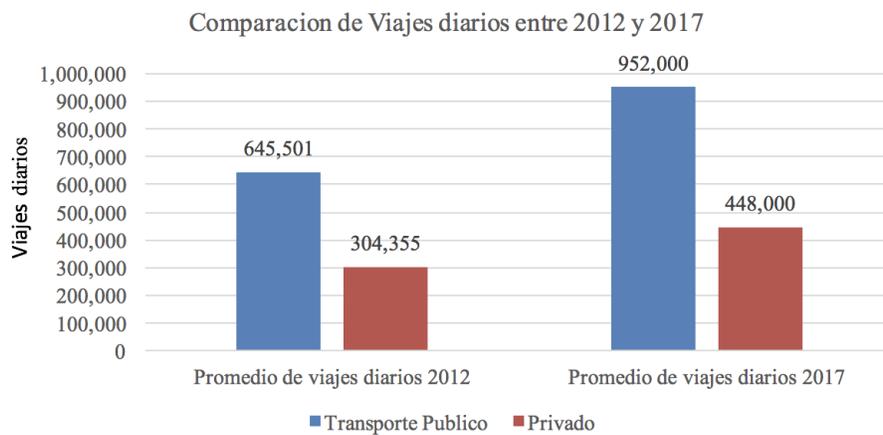
**Tabla 4. Promedio de viajes diarios**

Descripción	Promedio de viajes diarios 2012	Promedio de viajes diarios 2017
Transporte Publico	645,501	952,000
Privado	304,355	448,000
Total	949,856	1,400,000

Fuente: (BID, 2012) y (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017)

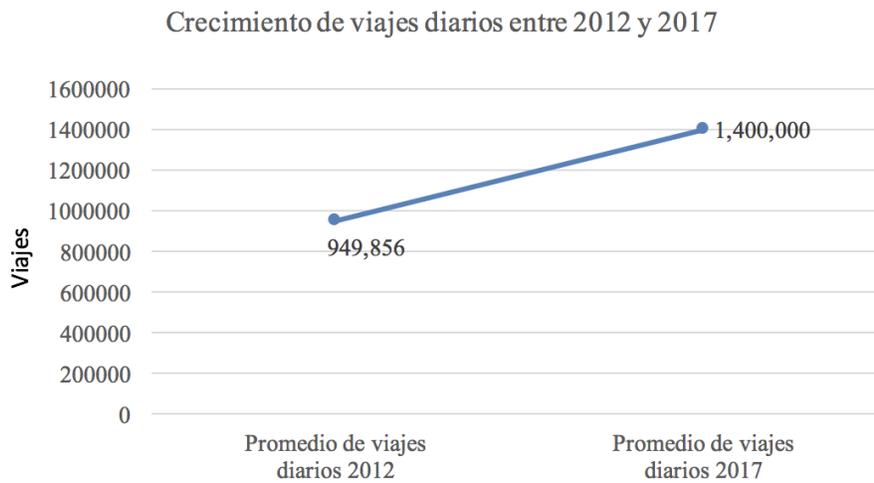
### 4.3. ANÁLISIS DEL TRAFICO EN TEGUCIGALPA.

Una vez definidos los datos relevantes para iniciar un análisis comparativo de lo presentado por el BID en el 2012 y los datos actuales de la alcaldía. Estos datos ser comparados gráficamente muestran por si solo un crecimiento en los viajes diarios tal como se esperaba en los últimos 5 años. Estos datos se presentan en el grafico 4. Y muestran el crecimiento entre los dos años estudiados 2012 y 2017.



**Grafico 4. Comparación de viajes diarios entre 2012 y 2017.**

Fuente: (BID, 2012)



**Grafico 5. Comparación de viajes diarios entre 2012 y 2017.**

Fuente: (BID, 2012)

El grafico 5, muestra un crecimiento del 32% en los últimos 5 años esto sobre pasa la tendencia presentada por el (BID, 2012) donde se afirma:

“Manteniendo las tendencias actuales de la movilidad en el Distrito Central y aplicando los modelos de producción/atracción desarrollado por el grupo consultor para los viajes motorizados al año 2020 (horizonte final del PMUS) se obtiene un incremento de 25% respecto a la situación actual.” (p. 24).

En 5 años se ha sobre pasado la tendencia que el PMUS esperaba, para el 2020, en un 7%. Tendencia que seguirá al alza por los factores de crecimiento en ciudades ya indicados anteriormente. Debido a estos datos la alcaldía ha acelerado los trabajos de infraestructura en los últimos años, según información obtenida desde el año 2015 se había alcanzado el umbral presentado por el BID.

Es necesario aclarar que los factores que han permitido el crecimiento de las movilizaciones diarias, están vinculadas al crecimiento poblacional. La muestra tomada por el PMUS, para definir la tendencia de crecimiento, según el personal de la alcaldía es correcta, son factores externos y el crecimiento poblacional que ha ocasionado el alza de viajes diarios.

#### **4.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL CONGESTIONAMIENTO VIAL EN TEGUCIGALPA.**

Dado a lo anterior la alcaldía ha agilizado los trabajos de ejecución de proyectos debido al incremento repentino del tráfico en la ciudad y desde hace ya seis años se han iniciado trabajos de modernización vial; con la construcción de puentes áreas, pasos a desnivel, construcción de rotondas, nueva señalización, cambio de vías y hasta la compra de equipo tecnológico para la captura de información y la priorización de bus para los semáforos que se instalaran para darle prioridad a los buses articulados, en las vías del llamado TRANS-450, que iniciara a funcionar en el 2018, (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017).

Por tal razón fue necesario consultar sobre estos trabajos, los fondos invertidos y los fondos para futuros proyectos. Al consultar, al personal de la Dirección de Ordenamiento

Territorial de la Alcaldía sobre: ¿Qué proyectos para mejoramiento vial se habían ejecutado hasta la fecha y cuál era el presupuesto ejecutado? Se obtuvieron los siguientes datos de las tablas 5 y 6.

**Tabla 5. Resumen de proyectos ejecutados en 2014 - 2017**

No.	Nombre de Proyectos	Monto de Inversión
1	Construcción de paso a desnivel Bulevar Kuwait - Centro Cívico Gubernamental.	L. 55,000,000.00
2	Paso a Desnivel Intersección Bulevar Centro América- Bulevar Santa Cristina (Miraflores).	L. 42,000,000.00
3	Construcción de Túnel Bulevar Juan Pablo II - Bulevar Centroamérica.	L. 65,000,000.00
4	Construcción de Puente a desnivel La Granja.	L. 50,000,000.00
5	Construcción de Paso a desnivel Intersección Bulevar Suyapa - Colonia El Trapiche.	L. 147,000,000.00
6	Construcción de Vía Rápida Bulevar Kuwait - Calle La Salud, Bulevar Kuwait - Bulevar José Cecilio del Valle.	L. 240,000,000.00
7	Paso a Desnivel Avenida Berlín - Bulevar Juan Bosco.	L. 40,000,000.00
8	Construcción de Paso a Desnivel Villas del Sol.	L. 20,000,000.00
Total		L. 659,000,000.00

Fuente: (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017).

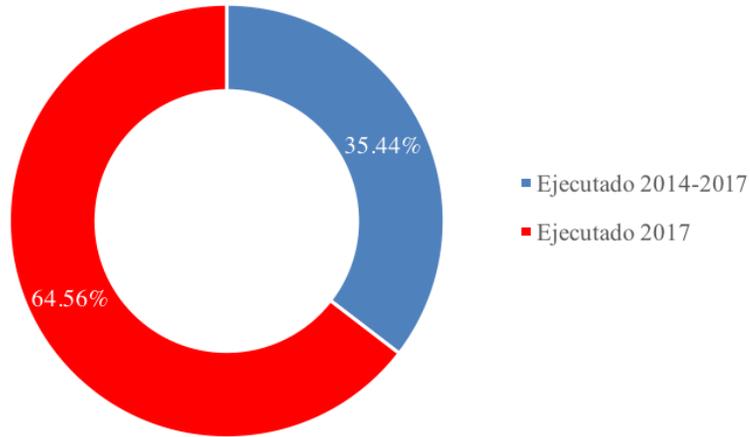
Desde hace tres años se ha venido ejecutando una serie de proyectos de mejoramiento vial en diversas zonas, del Distrito Central, las que se indican en la tabla 5, ya fueron ejecutados en el periodo indicado (2014-2017). Actualmente se encuentran en ejecución una importante cantidad de obras con el objetivo de seguir mejoran la movilidad vehicular en el Distrito Central intentando cumplir con las recomendaciones del PMUS. Estas obras se presentan en la tabla 6, (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017), con el fin de presentar la inversión de la municipalidad en los próximos años, para agilizar el tráfico vehicular de la ciudad.

**Tabla 6. Detalle de proyectos en ejecución en 2017.**

No.	Nombre de Proyectos	Monto de Inversión
1	Construcción Solución Vial Primera Entrada Colonia Kennedy y Obras Conexas.	L 42,000,000.00
2	Construcción de Solución Vial Jacaleapa– Kennedy – UNITEC.	L 118,000,000.00
3	Construcción de la solución vial corredor intersección Bulevar Suyapa – calle principal Colonia Loma Linda y calles de Las Colinas.	L 50,000,000.00
4	Construcción de Vía Rápida Anillo Periférico - Colonia La Vega -Bulevar Kuwait y obras complementarias	L 197,000,000.00
5	Construcción paso a desnivel Colonia La Vega - Bulevar Kuwait y obras complementarias.	L 71,000,000.00
6	Construcción intercambio a Desnivel Anillo periférico - Vía Rápida Bulevar Kuwait - La Vega.	L 119,000,000.00
7	Construcción de paso a desnivel acceso a Colonia América - Bulevar Comunidad Económica Europea.	L 67,000,000.00
8	Túnel intersección bulevar Centroamérica - Bulevar Republica de Francia (La Colinas) - paseo Tres Caminos.	L 78,500,000.00
9	Construcción de conexión y ampliación a dos carriles (doble sentido) Vía Rápida Aeropuerto y obras complementarias”.	L 54,000,000.00
10	Paso a Desnivel Bulevar Kuwait - Bulevar Santa Cristina(Miraflores)	L 35,000,000.00
11	Construcción del túnel intersección colonia 21 de Octubre - Colonia San Miguel y Ampliación del Puente Rio Chiquito.	L 108,000,000.00
12	Solución Vial, Instalaciones Sanitarias, pluviales y eléctricas del Bulevar Los Próceres.	L 70,000,000.00
13	Construcción de Avenida Gutenberg.	L 55,000,000.00
14	Construcción de paso a desnivel: incorporación Puente Estocolmo - La Isla y calle paralela al puente 4 puntos cardinales (estadio).	L 30,000,000.00
15	Ampliación de carriles y rotonda de la salida a la ciudad de Danlí.	L 51,000,000.00
16	Ampliación de 4 carriles desde la rotonda de la Hacienda - Bulevar José Simón Azcona, Villa Olímpica.	L 55,000,000.00
<b>Total</b>		<b>L 1,200,500,000.00</b>

Fuente: (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017).

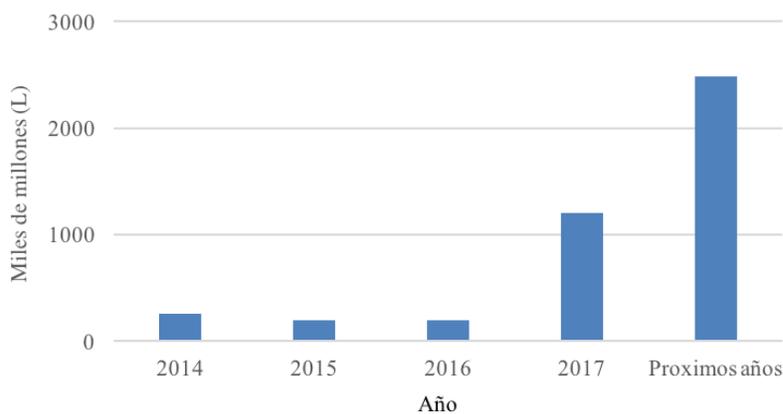
Estos proyectos cuentan ya con licitaciones adjudicadas y están en proceso de ejecución, su finalización se espera entre diciembre 2017 y enero 2018. Con esto el gráfico 6, muestra una comparativa de la inversión en los últimos tres años.



**Grafico 6. Comparación de inversión en los últimos tres años en obras.**

Fuente: Elaboración propia.

Con esta información se puede identificar que los proyectos ejecutados y en ejecución de la alcaldía tienen un costo promedio L 75,000,000.00, lo que convertido en dólares serían un poco más de \$ 3,000,000.00, por proyecto, esto se vuelve importante para esta investigación para la estimación de costos. El grafico 4 marca una diferencia en temas de inversión entre un periodo y otro. Para los próximos periodos, esta inversión, no se detiene y actualmente la municipalidad del Distrito Central tiene más proyectos, para el mejoramiento vial, a corto y mediano plazo, los que representan un crecimiento considerable en la inversión como se muestra en el grafico 7.

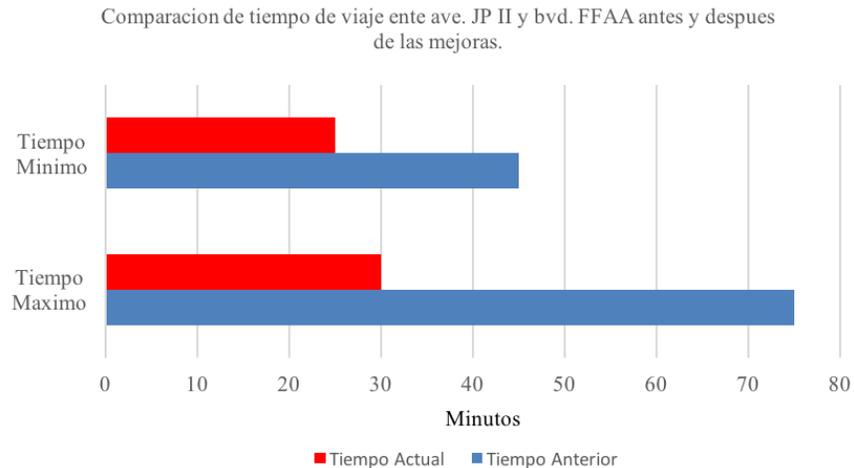


**Grafico 7. Crecimiento de inversión vial en los últimos años en el Distrito Central.**

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos todos estos fondos han sido gracias al pago de los impuestos, ósea ingresos propios y anualmente se está programando nuevos proyectos de infraestructura vial y otros.

Se consultó sobre ¿Qué resultados se han obtenido con los actuales proyectos de mejoramiento vial que se han ejecutado? No se tuvo una respuesta detallada de puntos específicos, pero tomando como centro la avenida Juan Pablo II hacia distintos puntos como ser: bulevar Centroamérica, Comunidad Económica Europea y Morazán, se indicó que paso de 1 hora 15 minutos, 45 minutos a 30, 25 minutos desde la avenida Juan Pablo II como lo muestra el grafico 8.



**Grafico 8. Comparación de tiempo de viaje.**

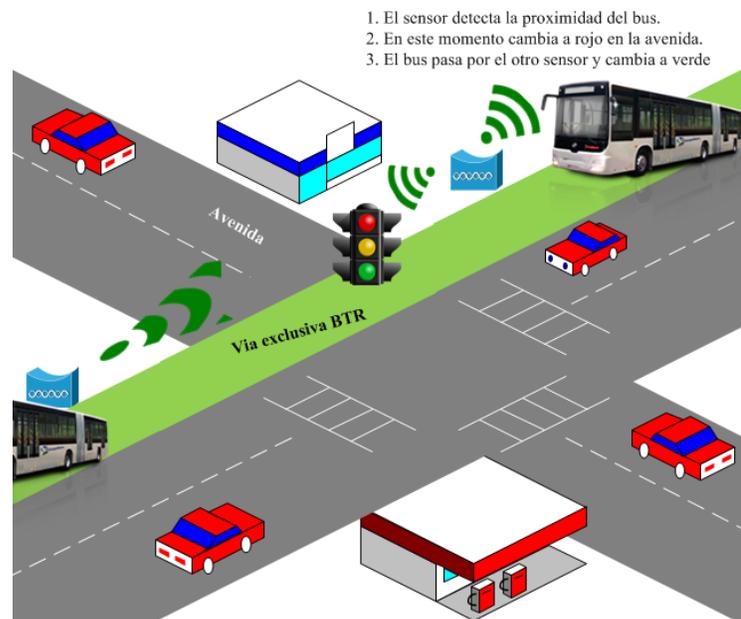
Fuente: Elaboración propia.

El grafico 8 hace una comparación del tiempo máximo y mínimo de viaje, entre antes y después de las obras realizadas en la avenida Juan Pablo II, tomando a esta última, como centro y punto de salida hacia los distintos destinos. Esta obra en particular representa una reducción del tiempo máximo del 60% y en un tiempo mínimo de un 55% en el viaje realizado desde la avenida Juan Pablo II a los puntos ya indicados. El personal de movilidad urbana, cree que estos tiempos se mejoraran cuando las distintas obras o proyectos que se muestran en la tabla 5 finalicen.

#### 4.5. TECNOLOGÍAS ACTUALMENTE UTILIZADAS EN EL DISTRITO CENTRAL APLICADAS A MOVILIDAD URBANA.

Ante estos trabajos se consultó si existían otro tipo de proyectos para aquellas zonas donde no es posible realizar trabajos de mejora en las vías, por aspectos topológicos o culturales, a esto (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017) afirman: “Existen proyectos de reorganización vial, como ser: cambios de vías, orden de aparcamiento en la vía pública y la semaforización”. Entre estos proyectos de semaforización, concretamente, se tiene el proyecto de priorización de vías del TRANS-450, llamada: Prioridad bus. Esta tecnología trabaja vía proximidad y, priorizaran, el paso del bus articulado en los puntos donde existan intersecciones con otras avenidas o bulevares. Al momento de consultar sobre el nombre de la tecnología no se tuvo una definición concreta sobre esta.

Según la investigación desarrollada, y la información detallada, en el estado del arte, este tipo de tecnologías es conocida como Onda Verde, la cual se presenta en la figura 8.



**Figura 8. Ejemplo del concepto de Onda Verde.**

Fuente: Elaboración propia.

Este concepto puede ser implementando por GPS, LoRa, Infrarrojo, LTE, 3G, según sea el caso. Exceptuando modelos que involucran las señales móviles (3G y LTE), los demás, no son monitoreados si no es incluido un tercer elemento. El concepto que pretende utilizar la alcaldía, está basado en priorización del bus articulado y no valora el tráfico de la avenida. En el ejemplo que se presenta en la figura 8, el bus tendrá prioridad sobre cualquier otro tráfico en la intersección. Este diseño se basa en que el semáforo espera la señal del bus articulado para hacer el anuncio a los motoristas de la avenida que se aproxima el autobús y por tanto el semáforo detendrá el tráfico de la avenida. Una vez el semáforo detecte el paso del autobús volverá colocarse en verde, hasta que vuelve a pasar nuevamente. Esta tecnología iniciara a implementarse junto al proyecto del TRANS-450, en el 2018.

En esta investigación también se tuvo acceso a información, gracias al personal de la alcaldía, que ya se tienen avances significativos para iniciar un proyecto que permita el uso de las instalaciones del 911, institución gubernamental, por parte de la alcaldía. Esta institución cuenta con un amplio sistema de monitorio y emergencia en la ciudad. Por medio de esta alianza la alcaldía pretende contar con personal en el 911 que este encargado exclusivamente del monitoreo del tráfico en el Distrito Central.

Según explica (Moreno & Colindres, Ordenamiento Territorial del Distrito Central., 2017), la alcaldía pretende iniciar así, un Centro de Control de Semáforos y volverse más adaptativos que preventivos. También indica que iniciaran la implementación de sensores junto a un software para detectar tiempos de origen y llegada, monitoreo de fenómenos, accidentes, etc. que pueden alertar de cualquier anomalía en el tráfico. Los datos que sean captados por estos sensores permitirán obtener información en tiempo real de lo que esté ocurriendo en los distintos bulevares, calles y avenidas de la ciudad. Al revisar el diseño a implementarse por parte de la alcaldía se consultó más sobre este tema.

Esta tecnología, basada en V2I, permite, por medio de vayas inteligentes y señales de tráfico, indicar a los ciudadanos el estado del tráfico al momento que se encuentren conduciendo sus vehículos. Al indicarles que, si esta tecnología no era parecida a una aplicación de monitoreo de tráfico vehicular, indicaron que sí, solo que más preciso. Alertando a personas por medio de

paneles inteligentes, señales de tráfico y redes sociales del estado del tráfico en tiempo de real. Permitiendo así un monitoreo del tráfico en la ciudad.

#### **4.6. TECNOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD VEHICULAR EN TEGUCIGALPA.**

Durante la investigación se han indicado los casos de éxito alrededor del mundo y en Latinoamérica respecto a soluciones urbanas basadas en IoT. En esta parte del capítulo, se propondrá la forma de iniciar un proyecto de esta índole, ¿que considerar? ¿como considerarlo? y ¿que actores son necesarios para llevar a cabo una solución urbana basada en IoT?

El Distrito Central actualmente cuenta con algunas soluciones tecnológicas aplicadas a la movilidad urbana, soluciones que aún no serán implementadas y que se limitan a al monitoreo. Actualmente la implementación de semáforos programados localmente, como medio para mejorar el tráfico de alguna zona que presente, altos índices de accidentes y alto tráfico de vehicular, ha sido la forma tecnológica comúnmente usada en el país.

Para aspectos de captación de información, como lo vimos en el inciso anterior, existe un proyecto para la implementación de sensores, pero durante la investigación, no se obtuvo el nombre de este proyecto, ni la marca de los sensores o nombre del software, los cuales no se consideran en esta etapa de la investigación por falta de información, por lo que se decidió proponer, en cambio, una solución que se integrara futuras implementaciones, así como la aplicación de los semáforos con prioridad para el TRAN-450.

Vale indicar que en la capital se cuenta con semaforización digital, por lo que estas pueden ser integradas a soluciones que impliquen una manipulación remota. También la alcaldía cuenta con algunas cámaras de llamadas: Traffic Cam (por su nombre en inglés, cámaras de tráfico), que sirven para el conteo de vehículos y no son como las cámaras de video vigilancia que actualmente utiliza en el 911. (Moreno, Tecnologia en Tegucigalpa, 2017). Los puntos donde se encuentran trabajando estas cámaras de tráfico son:

- Bulevar Juan Pablo II, frente al Hotel Marriot.

- Barrio La Reforma.
- Colonia Jacaleapa.
- Desvió al Country.
- Entre otras que no se encuentran funcionando.

Estas son monitoreadas desde el Centro de Control de Tráfico del departamento de Movilidad Urbana, en la colonia 21 de Octubre, de la alcaldía, el cual será trasladado a las oficinas del 911. Adicionalmente también existirán vayas inteligentes que servirán para el reporte del estado de tráfico en las avenidas y calles de la ciudad. Todos estos escenarios presentados por la alcaldía son puntos en los que se encuentra trabajando, pero para esta investigación se desconoce el estatus de estas implementaciones (Moreno, Tecnología en Tegucigalpa, 2017).

Es por ello que se ha solicitado el apoyo a una empresa experta en este tipo de equipamiento, líder a nivel mundial y especialmente en Latinoamérica, en implementaciones en IoT, y que ya cuenta con presencia en el país. La cual ha brindado apoyo a esta investigación mediante entrevistas con su Director de Implementación: Alveiro Goyeneche, PMP y especialista en diseño en soluciones basadas en IoT. (Goyeneche, 2017) Afirma:

“Entender el proceso, al momento de hablar de soluciones de IoT, es muy importante. Por ello se deben definir muy bien dos aspectos, cruciales para el logro de los objetivos: una de ellas es el diseño y el segundo el costo benefició, debido a que una empresa desarrolladora puede tener equipos de diferentes gamas de productos y es posible que varíen los precios, ya que no es lo mismo soluciones que se implementan en una planta industrial petrolera que otro tipo de inversiones. Algo que si es importante dejarlo indicado es que todo puede ser monitoreado, y luego, todo puede ser analizado”

Estos aspectos son los que se consideran deben estar bien identificados para entregar un proyecto sustentado en información real y soluciones que se conviertan en verdaderas inversiones para las partes interesadas.

También es importante contar con un equipo interdisciplinario ya que son soluciones integrales donde se involucran diferentes ámbitos del área tecnológica que deben ser abordados

por especialistas. (Insuasti, 2017) Afirma: “Contar con especialistas de diferentes áreas, expertos, que se puedan integrar en solo fin es importante debido a las características de implementaciones basadas en IoT”. Y continua: “Es también importante contar con un correcto orden vial. Esto parte previo a cualquier avance tecnológico, definir correctamente rutas de transporte, así como vías en base a las necesidades actuales de las metrópolis”. Esto debido a que según indico, la investigación que el realizo, si fue implementada en la Ciudad del Pasto, a pesar de esto no se obtuvieron los resultados esperados en la ciudad y aún se encuentran fuertes atascamientos.

(Insuasti, 2017) Afirma: “El principal objetivo de la investigación realizada, pretendía demostrar que un sistema de monitoreo vehicular funciona, lo cual se logró demostrar”. La razón principal por la que este prototipo ya en la práctica no diera los resultados esperados, radica en su mayoría en la falta de medidas urbanas que apoyen la ejecución de proyectos tecnológicos. Para el doctor Insuasti, el tratamiento del trafico debe ser permanente ya que el transporte es un ser vivo, y afirma: “El transporte es un ser vivo tiene ese comportamiento, como lo tiene un ser vivo, puesto que son seres vivos los que se mueven sobre él, en ese orden de ideas es importante generar iniciativas que permitan solucionar los problemas de atascamiento vehicular”.

Es por ello que, siguiendo la opinión de los expertos, se considera una propuesta basada en un proyecto piloto, que sirva para gestionar, monitorear y agilizar el tráfico en una zona de la capital la cual fue seleccionada en base a:

- Flujo de tráfico.
- Proyectos viales ya ejecutados.
- Una zona donde no presenten futuros proyectos viales.
- Según las normas de urbanismos que cuente con las distancias requeridas.

Esta última debería contar con al menos con una sincronización en cuadrícula de al menos unas cuatro cuerdas, con el objetivo de crear una onda verde que permita el flujo constante de vehículos en la zona (Velásquez, 2016).

A continuación, se presentan las siguientes etapas, con las consideraciones técnicas, para iniciar este proyecto piloto como, parte de la aplicabilidad de tecnologías basadas en IoT para el

mejoramiento del tráfico. Esta propuesta se basa en los siguientes aspectos: Determinación de requerimientos y diseño.

#### **4.6.1. DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS.**

Para elaboración de la propuesta de un diseño para un proyecto piloto, es requerido la definición de recursos, tanto técnicos como financieros para así lograr una propuesta basada en las necesidades de la ciudad.

Es por ello que se definen los siguientes elementos a considerar para la ejecución de una propuesta de este tipo:

- Se debe cumplir con la ley contratación del estado según el cuarto título sobre procedimientos de contratación.
- Una propuesta económica del costo previo a la implementación.
- Definición del talento humano y encargado en las distintas áreas.
- Definición de electrónica de bajo consumo energético, para una mayor durabilidad.
- Implementación y control de la ejecución del proyecto.
- Gestión de electrónica de forma remota, con acceso a una nube bajo el concepto PaaS (Plataforma como un Servicio, por sus siglas en ingles).
- Análisis de información mediante el concepto software especializado mediante el concepto SaaS.
- Es importante considerar el cambio de semáforos y cámaras de tráfico en caso que requiere.

#### 4.6.2. DISEÑO DE LA PRUEBA PILOTO.

En esta etapa se considera los aspectos técnicos que deben ser tomados en cuenta para el despliegue de la prueba piloto, así como económicos, fundamentados en el estado del arte revisado en el capítulo tres y en el juicio de expertos en esta investigación. Esta prueba piloto se considera, como punto de inicio, para la integración de un Sistema de Control de Tráfico Inteligente, ITS. Esto debido a que según la opinión de los expertos todo debe iniciar por un proyecto piloto o prototipo que sirva de modelo para futuras zonas donde al final todas ellas se integren en el sistema ya mencionado.

**Zona del proyecto piloto:** Se decide implementar esta prueba piloto en el bulevar Juan Pablo II debido a que esta zona cuenta ya con dos obras ejecutadas y finalizadas como lo son:

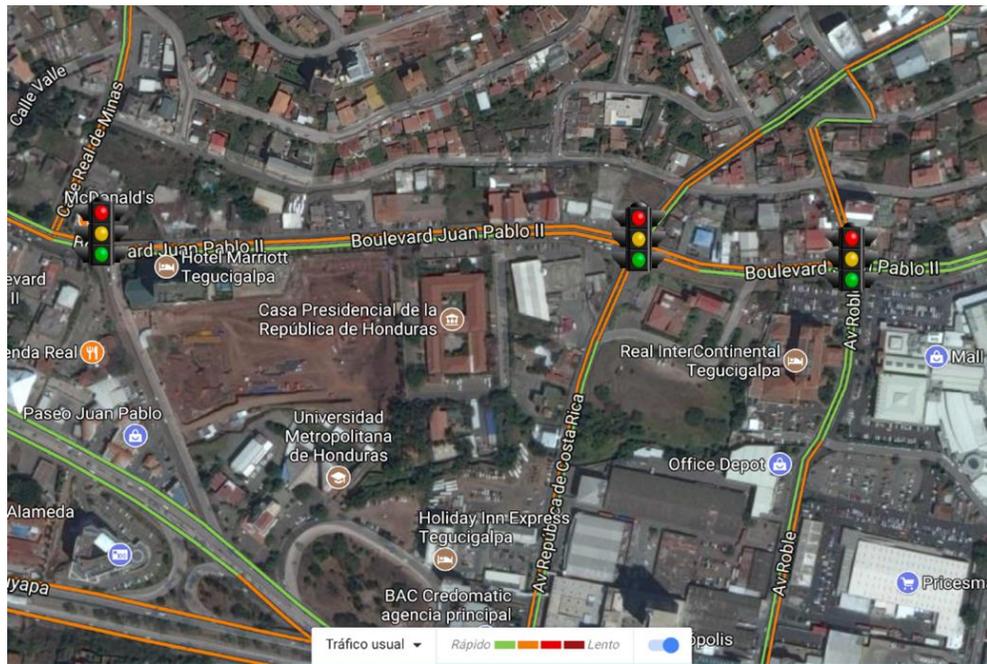
- Túnel Bulevar Juan Pablo II - Bulevar Centroamérica.
- Paso a Dnivel Avenida Berlín - Bulevar Juan Bosco.



**Figura 9. Ubicación de las obras finalizadas sobre el bulevar Juan Pablo II.**

Fuente: Google Maps.

En la figura 10, se muestra gráficamente estas dos obras. Con una distancia de poco más de 1.5 Km, ambas obras se encuentran sobre el bulevar Juan Pablo II y en los planes de construcción de la municipalidad no se cuenta con más cambios en la infraestructura vial, hasta el momento de desarrollo de esta investigación, por lo que se convierte en el punto idóneo por el flujo de tráfico que según datos de la alcaldía ronda entre los 15 y 20 mil automotores diarios.



**Figura 10. Zona propuesta para proyecto piloto.**

Fuente: Google Traffic.

Sobre este bulevar ya existen tres semáforos digitales, figura 10, con la capacidad de ser controlados de forma remota y una cámara de tráfico que pueden ser integrados al diseño que se propone.

**Elementos técnicos:** El diseño contaría con sensores de tráfico con bucles de inducción, que se instalan en la calle, semáforo, cámaras de tráfico, conmutadores, enrutadores para el envío de información, red LTE, software de monitoreo para este diseño WebAcces y software de automatización de inteligencia para este caso iFactory 4.0.



**Figura 11. Operación del proyecto piloto.**

Fuente: B & B SmartWorx.

Estos elementos se integran en la figura 11 como parte del diseño propuesto donde los datos puedan ser captados por estos sensores que detectan la proximidad de los vehículos, su velocidad y tiempo de espera en base a la fórmula y estos datos son transportados por conexiones a un conmutador, quien centraliza las conexión hacia un enrutador para el encaminamiento por una red celular es transportada por la red celular hacia la plataforma de gestión en la nube y el software analítico, desde ahí se realiza el análisis y transformación de los datos, se genera un reporte sobre la medida a tomar y en caso de necesaria cambia la vía de los tres semáforos para provocar, la mencionada onda verde.

Es importante aclarar que los parámetros de decisión son configurables en el software analítico y estos deben de estar claro al momento del despliegue y deben revisados periódicamente para revisar el estatus del tráfico. El mismo software tiene la capacidad de predecir la actividad del tráfico y los cambios en este con relación a datos anteriores.

**Costos de Inversión:** En la tabla 7, se muestra el detalle de los equipos, insumos y servicios profesionales, recomendados para una correcta, implementación del proyecto. Estos números fueron extraídos del análisis de distintos proveedores, líderes en el mercado, basándose en precios de referencia, en base al estado del arte y las consideraciones de los expertos entrevistados, son las más indicadas para este desarrollo.

**Tabla 7. Costo de inversión para el proyecto piloto.**

Ítem	Equipo	Especificaciones	Cantidad	Precio estimado unitario	Precio estimado
1	Enrutador.	LTE, EVDO, CDMA, UMTS, GSM 100Mbps descarga, 50 Mbps carga. 10/100 Ethernet, 802.11b/g/n, Modbus. WiFi option. VPN: IPsec, OpenVPN, PPTP, L2TP, EasyVPN, GRE. DHCP, NAT/PAT/NAT-T, VRRP, DynDNS, VLAN, SMS, NTP. Seguridad: HTTPS, SSH, Funciones Rompe fuegos.	3	\$900.00	\$2,700.00
2	Convertidor de medios.	NEMA TS2; IEEE 802.3af. Temperatura extendida. Opciones de alimentación AC/DC. No administrado Plug-n-Play 10/100/1000Mbps PNP, auto-negociación, auto-cross.	6	\$300.00	\$1,800.00
3	Wireless IoT LoRa Private Network Gateway	Qualcomm Atheros Quad-Núcleo ARM Cortex-A7 SoC. Incorporación de banda dual simultánea Wi-Fi MU-MIMO (2x2). Conectividad LPWAN LoRa Private (WISE-Link). WAN x1 / LAN x1 Gigabit Ethernet. Integración de redes Modbus TCP y Modbus RTU. Encriptación de tráfico VPN IPsec / L2TP. Diseño de hardware de modulación. OpenWRT BSP incrustado. Interfaz de usuario de la interfaz web.	3	\$450.00	\$1,350.00
4	Conmutador.	PoE+, energía por ethernet. SNMP v1, v2, v3. Acceso: SSH, HTTPS/SSL. VLAN, IGMP Snooping.	3	\$800.00	\$2,400.00
5	Sensor de inducción	Conectividad LoRa. Baterías de litio.	30	\$120.00	\$3,600.00

(Continuación Tabla 7.)

Ítem	Equipo	Especificaciones	Cantidad	Precio estimado unitario	Precio estimado
6	Plataforma de Control	Basada en nube (PaaS). GPS. Integración con gestores de mapas vía Internet. Análisis de datos.	1	\$2,500.00	\$2,500.00
7	Contrato de Servicios móviles	Red LTE	18	\$200.00	\$3,600.00
8	Gabinetes	Refrigeración	3	\$1,500.00	\$4,500.00
9	Servicios profesionales	Trabajos de obra de civil. Diseño. Implementación. Estudios topológicos.	1	\$8,000.00	\$28,000.00
Total					\$50,450.00

Fuente: Elaboración propia.

Adicional esto se debe concluir un contrato de mantenimiento, el cual debería ser renovado anualmente para un correcto funcionamiento de los equipos instalados, así como un proceso de inducción de las nuevas tecnologías instaladas.

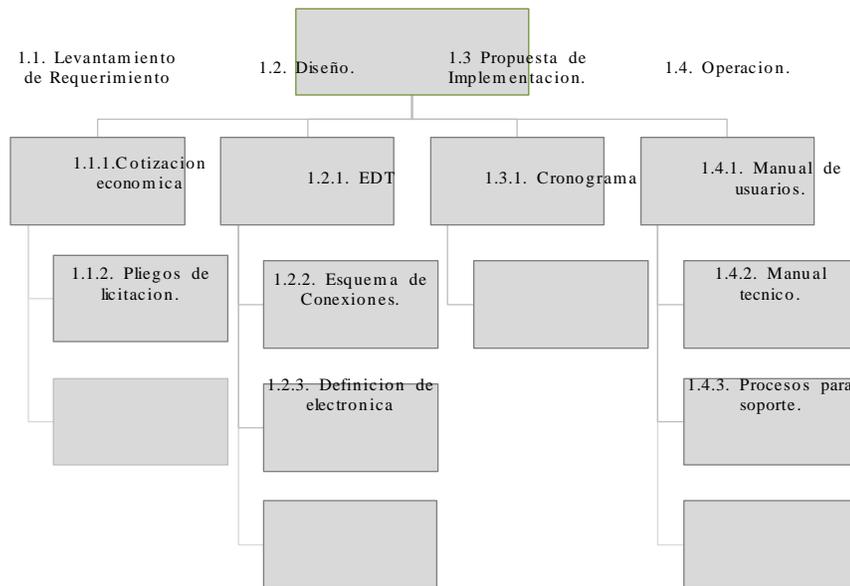
**Recurso Humano:** Es recomendable sean seleccionados por la empresa adjudicada con el proyecto debido a que de esta forma solo es requerido realizar la estimación del tiempo de cada especialista a lo largo del proyecto como lo muestra la tabla 7, así se asegurara el correcto cumplimiento de los tiempos del proyecto. Estos datos fueron obtenidos gracias a las recomendaciones indicadas en base a los expertos entrevistados. Es necesaria la supervisión permanente por parte de un supervisor interno o externo ajeno a la empresa adjudicada que dé seguimiento constante a las tareas, realizadas durante el despliegue del tecnológico.

**Tabla 8. Detalle de Recurso Humano Requerido.**

Recurso requerido.	Porcentaje de utilización durante el proyecto.
Especialistas en Software.	65%
Especialistas en mecatrónica.	60%
Especialistas en IoT.	40%
Administrador de Proyectos.	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Ejecución del Trabajo:** La figura 12 muestra los principales entregables de esta propuesta tecnológica en esta no se considera la implementación por el factor tiempo, pero si se plantea el diseño para una propuesta a la alcaldía.



**Figura 12. EDT de los principales entregables.**

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.6.3. BENEFICIOS ESPERADOS.**

Siguiendo el esquema anterior y en base a la evolución de las tecnologías Una vez implementado el diseño actual, se espera:

- Verdadera priorización de las vías congestionadas aledañas al bulevar Juan Pablo II, considerando también la próxima puesta en marcha del Centro Cívico Gubernamental.
- Una mejor administración del tráfico, permitiendo así una reducción del tiempo desde el bulevar Juan Pablo II hacia el bulevar Morazán del tiempo máximo actual de 30 minutos a 20 minutos.
- Según la Asociación Norteamericana de Transporte Publico (APTA, por sus siglas en ingles), la inversión en obras orientadas el mejoramiento de transporte, corresponde una retribución a la ciudadanía de tres veces más el valor invertido, (BID, 2012).
- Los costos de implementación representan menos del 10% del costo total de ambas obras ya finalizadas en la zona y mejorarían la movilidad en la zona.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES.

1. La situación, de tráfico en Tegucigalpa y Comayagüela, al momento del desarrollo de esta investigación, es crítica, tanto así que el PMUS, documento liberado por el BID en 2012, no pudo estimar el crecimiento vehicular que tendría la capital a esta fecha. El crecimiento económico y poblacional de la capital ha motivado el aumento de las movilizaciones diarias reflejando un desfase de un 7% con respecto a las proyecciones del PMUS para el 2020. Las obras han ayuda a la mitigación del tráfico, pero también han presentado un incremento durante el desarrollo de las mismas.
2. A lo largo de esta investigación se corroboró el estado del arte demostrando que existen en el mundo diversos tipos de tecnologías basadas en IoT, que han dado soluciones a problemas viales alrededor del mundo utilizando redes sensoriales y redes como: LoRa, SIGFOX, WiFi, RFID, Bluetooth, 3G, LTE, entre otras. Así como existieron trabajos que han tenido un gran éxito, han existido otros que han fracasado por la falta de diseños que sustenten la aplicabilidad de estas tecnologías.
3. Se demostró, que este tipo de inversiones puede representar menos del 10% del costo promedio de inversión de una obra de infraestructura vial. Estos datos fueron obtenidos gracias a la información de diferentes proveedores mediante el análisis del estado actual de la zona, factores topológicos y demográficos. Y así se definieron los costos en los que debería de incurrir la municipalidad en caso que esta propuesta fuera del interés de la comuna capitalina.
4. Por medio de esta investigación se pudo demostrar la necesidad de la implementación de un Sistema Inteligente de Tráfico, ITS, tal como lo indica el PMUS. Actualmente la alcaldía del Distrito Central se encuentra realizando algunos avances como ser: la puesta en marcha, en 2018, del TRANS-450, semáforos con prioridad para las vías donde circule el TRANS-450 y la compra de sensores y un software para el monitoreo del tráfico. Sobre la compra del software y los sensores, la alcaldía no entregó información sobre su diseño y forma de implementación por lo que no fue considerada en esta investigación.

5. Considerando los escenarios revisados y la situación actual de Tegucigalpa es viable la implementación de IoT, iniciando con una prueba piloto que muestre los ajustes que se deben realizar para aplicarse a un futuro sistema de tráfico inteligente, es necesario.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

1. El ITS, debe ser ejecutado por etapas, en proyectos pequeños y zonas específicas donde las obras de infraestructura vial ya no serán implementadas, acompañadas de estudios de campo, revisión de la capacidad instalada y diseños de la zona.
2. Actualmente el 911, cuenta ya con muchos avances tecnológicos en sus instalaciones, permitiendo ahí la instalación del Centro Control de Tráfico, así como toda la plataforma analítica que se requiere instalar para un diseño de este tipo. El software de medición y los sensores que la alcaldía ya adquirió, deben ser integrados a la solución aquí propuesta.
3. Es necesario que se cuenta con una empresa experta en el campo, para el estudio, diseño, implementación y mantenimiento de la propuesta piloto el cual es importante para asegurar el funcionamiento permanente de la solución, es por ello que se debe considerar también un plan de mantenimiento por parte del proveedor.
4. Se recomienda la supervisión permanente un consultor interno o externo de la municipalidad, ajeno a la empresa adjudicada que responda y de seguimiento a los trabajos realizados y vele por que se cumplan las normas y buenas practicas indicadas en este documento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Vlacheas, P. (2013). Enabling Smart Cities through a Cognitive Management Framework for the Internet of Things. *IEEE Communications Magazine*, 102.
- INE. (2016). *El Parque Vehicular en Honduras 2011-2015*. Tegucigalpa.
- Reza Jabbarpour, M. (2016). Intelligent Guardrails: An IoT Application for Vehicle Traffic Congestion Reduction in Smart City. *2016 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom)* (pp. 7-13). Tehran: IEEE.
- Ramirez, L., & Sanchez, J. (2016). *Elements to model Vehicular Traffic in Latin America*. Bogota: Faculty of Engineering, Universidad Militar Nueva Granada.
- BID. (2012). *Estudio de Apoyo al Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) para el Distrito Central de Tegucigalpa y Comayagüela*. BID, Francisco Morazan, Tegucigalpa.
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. *RFID Journal*, 1.
- Chunli, L. (2012, Mayo). Intelligent Transportation based on the Internet of Thing. (IEEE, Ed.) *IEEE Xplore*, 360-362.
- IEEE. (1981, Septiembre). *IETF Tools*. Retrieved from <https://tools.ietf.org/html/rfc791>
- Thomson, I., & Bull, A. (2002, Abril). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista CEPAL*(76), 109-121.
- Barton, R. (2017). IPv6 for the World of IoT. *BRKIP6-2002*, (pp. 1-76). Berlin.
- Katpally, S. (2015). Cisco IoT Technologies Portfolio: An Overview. *PSOIoT-2002*.
- Bellavista, P., & Cardone, G. (2013, Octubre). Convergence of MANET and WSN in. *IEEE Sensor Journal*, 13(10), 3558-3567.
- Portilla, J., & Chamorro, V. (2015, junio-diciembre). Vehicle monitoring system: una solución prototipada aplicada en la ciudad de Pasto. *Revista Vínculos - Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas - Facultad Tecnológica.*, 12(2), 183-190.

- Zanella, A., & Vangelista, L. (2014, febrero). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal, Vol. 1, No. 1, 1(1)*, 22-30.
- Thakur, T., Naik, A., & Vatari, S. (2016). Real Time Traffic Management using Internet of Things. *International Conference on Communication and Signal Processing* (pp. 1950-1952). Mumbai: IEEE.
- Chaqfeh, M., & Mohamed, N. (2016). *Vehicular Cloud Data Collection for Intelligent Transportation Systems*. Philadelphia: IEEE.
- Ibañez, J. A., Zeadally, S., & Contreras, J. (2015). Integration Challenges of Intelligent Transportation Systems With Connected Vehicle, Cloud Computing And Internet of Things Technologies. *IEEE Wireless Communications*, 122-128.
- Zhu, Q., & Wang, R. (2010). IOT Gateway: Bridging Wireless Sensor Networks into Internet of Things. *2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing* (pp. 347-352). Beijing: IEEE.
- Duncan, G., & Larry, H. (2014, Septiembre - Octubre). *Econolite Group*. Retrieved Mayo 25, 2017, from [http://www.econolitegroup.com/wp-content/uploads/2016/09/IMSA-Sept\\_Oct\\_2014.pdf](http://www.econolitegroup.com/wp-content/uploads/2016/09/IMSA-Sept_Oct_2014.pdf)
- Crowley, A. (2014, Octubre 24). *CBR Online*. Retrieved Mayo 25, 2017, from <http://www.cbronline.com/news/enterprise-it/it-network/5-uk-internet-of-things-transport-projects-4416598/>
- Hernandez Sampieri, D. R. (2014). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico D.F.: McGraw Hill Education.
- Mendoza, E. (2016, abril 15). *Transito identifica mas 120 zonas de pesado tráfico en la capital de Honduras*. Retrieved junio 8, 2017, from El Herald: <http://www.elheraldo.hn>
- Perez, S. (2017, enero 1). *El Herald*. Retrieved junio 7, 2017, from <http://www.elheraldo.hn/tegucigalpa/1031388-466/el-alcalde-tito-asfura-revela-el-nuevo-plan-para-la-capital>

- Faezipour, M. (2012, Febrero). Progress and Challenges in Intelligent Vehicle Area Networks. *Communications of the ACM*, 55(2), 90-100.
- Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. Gaithersburg: U.S. Department of Commerce.
- Shelby, Z., & Bormann, C. (2009). *6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Zorto, F., & Carías, Y. (2015, Diciembre). Retos importantes para el establecimiento de una Ciudad. *Revista Portal de la Ciencia*(9), 3-9.
- Lombardi, P. (2012). Modelling the Smart City Performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25(2), 137-149.
- Chourabi, H., & Otros. (2012). Understanding Smart Cities: An Integrative Framework. *45th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 2289-2297). Hawaii: IEEE Computer Society.
- Flores, S. (2017, Julio 26). Movilidad Vial - Situacion Actual de Tegucigalpa. (J. D. Ponce, Interviewer) Tegucigalpa.
- Mendoza, E. (2017, Mayo 7). *El Heraldo*. Retrieved from <http://www.elheraldo.hn/tegucigalpa/1069088-466/más-de-350000-personas-se-desplazan-a-diario-por-el-anillo-periférico>
- Lupano, J., & Sanchez, R. (2009). *Políticas de movilidad urbana e infraestructura urbana de transporte*. CEPAL. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Moreno, S., & Colindres, J. (2017, Agosto 23). Personal de la Alcaldía Encargado de la Movilidad Vial en el Distrito Central. (J. D. Ponce, Interviewer)
- Moreno, S. (2017, Septiembre 4). Tecnología en Tegucigalpa. (J. D. Ponce, Interviewer, & J. D. Ponce, Editor) Tegucigalpa, Francisco Morazan, Honduras.
- Goyeneche, A. (2017, 9 3). Técnicas para la Implementación de IoT Orientado al Mejoramiento del Tráfico. (J. D. Ponce, Interviewer) Tegucigalpa, FM, Honduras.

Insuasti, J. (2017, 8 25). Investigacion sobre IoT para Tegucigalpa, Honduras. (J. D. Ponce, Interviewer) Tegucigalpa, FM, Honduras.

## ANEXOS

### ENTREVISTA A EXPERTOS PARA APLICABILIDAD DE IOT.

Nombre: Jesus Insuasti

Ocupación: Doctor en Ciencias Computacionales en la Universidad del Pasto, Colombia.

1. Hablemos de usted.
2. ¿Qué trabajos e investigaciones ha realizado hasta la fecha, relacionados con IoT en soluciones urbanas, que nos pueda compartir?
3. ¿Estos trabajos ya se han implementado en Colombia?
4. ¿Qué tecnologías (sensores, enrutadores, sistemas analíticos, etc.) basadas en IoT son más recomendadas para integrarse a un ITS o sistema orientado al mejoramiento del, considerando como puerta de enlace le red móvil?
5. ¿Conoce usted soluciones integrales basadas en estos en estos conceptos?
6. ¿Qué aspectos consideraría para estimar el coste de un proyecto de esta índole? Considerando sean soluciones que se integraran a aun ITS.
7. En base a los datos presentados (Se presentarán los datos y geografía de Tegucigalpa) ¿Qué primeros pasos se deben iniciar para mitigar el tráfico en Tegucigalpa?
8. ¿Cuál considera usted son los retos para implementar tecnologías relacionadas a IoT como mejoramiento del tráfico en las ciudades?
9. ¿Qué metodología o modelo de implementación recomendaría para estas investigaciones basadas en IoT?
10. ¿Cómo cree usted que la aplicación de tecnologías de la información relacionadas a IoT puede mejorar la vida de los ciudadanos en una ciudad?

Estas son algunas de las preguntas que se harán, a lo largo de la entrevista pueden surgir nuevas preguntas para profundizar en puntos que se consideren importantes.

## ENTREVISTA A GERENCIA DE MOVILIDAD VIAL EN TEGUCIGALPA.

Nombre: Silvia Moreno y Julio Colindres

Ocupación: Subgerente de Movilidad Urbana y Gerente de Infraestructura Vial

1. ¿Qué proyectos de mejoramiento vial se tienen programados hasta la fecha y cuáles vienen?
2. ¿Qué resultados se han obtenido con los actuales proyectos de mejoramiento vial que se han ejecutado?
3. Sobre infraestructura vial:
  - a. ¿Qué ancho tienen, en promedio, las calles en Tegucigalpa?
  - b. ¿Qué factores han detectado, influyen en el aumento de tráfico del Distrito central?
  - c. ¿Cuál es el flujo diario de vehículos en la capital, actualmente?
  - d. ¿Cómo compararía usted el crecimiento, propuesto por el PMUS, del 25% de viajes diarios para el 2020?
  - e. ¿Cuáles son las mayores zonas de conflicto actualmente?
4. El heraldo en 2016, reportó que en qué conjunto con DNT y la alcaldía se definieron 120 zonas de congestión en la capital ¿Cuáles considera usted son las 10 zonas de congestión a la fecha, después de las obras realizadas?
5. ¿Qué proyectos se tienen de momento en zonas donde existe congestión vial y no es posible realizar mejoras estructurales?
6. ¿Qué tipo de tecnología inteligente se ha considerado utilizar, como forma de mitigar el alto congestionamiento vial en la ciudad, tecnologías que capturen datos y sean transformados en información, para agilización del tráfico? ¿Qué tipo de análisis realizaron?
7. ¿Se tiene ya la fecha de inicio del proyecto de ITS propuesto por el BID en 2012 y cuándo será esa fecha?
8. ¿Existen fondos para esta clase de proyectos o se han presupuestado?

9. Con las obras de infraestructura actual ya finalizadas ¿En cuánto se espera bajar el tiempo por movilización promedio en Tegucigalpa?

Estas son algunas de las preguntas que se harán, a lo largo de la entrevista pueden surgir nuevas preguntas para profundizar en puntos que se consideren importantes.

## ENTREVISTA A GERENCIA DE MOVILIDAD VIAL EN TEGUCIGALPA.

Nombre: Santos Simeón Flores Reyes.

Ocupación: Comisionado General de la Policía.

1. ¿Cómo ven la situación actual del tráfico en Tegucigalpa?
2. ¿Qué papel desempeña la dirección nacional de tránsito en la agilización del tráfico en Tegucigalpa?
3. El heraldo en 2016, reporto que en qué conjunto con DNT y la alcaldía se definieron 120 zonas de congestión en la capital ¿Cuáles considera usted son las 5 zonas de congestión a la fecha?
4. ¿Cuántos recursos diarios, en promedio, se movilizan para ayudar a reducir el tráfico en Tegucigalpa?
5. ¿Qué impacto económico representa para la Dirección, movilizar dichos recursos?
6. ¿Qué operaciones o actividades se dejan de realizar por el apoyo a la agilización del tráfico?
7. ¿Qué cantidad de accidentes se producen por congestionamiento vial? Entiéndase, averías, pequeñas colisiones, accidentes con personas, etc.
8. ¿Considera usted que la policía nacional de tránsito se podría integrar, como apoyo al descongestionamiento vial a un ITS?
9. ¿Conoce usted proyectos tecnológicos para la movilidad urbana que hayan se intentado implementar? Si hubieran ¿Por qué cree no se han implementado?

Estas son algunas de las preguntas que se harán, a lo largo de la entrevista pueden surgir nuevas preguntas para profundizar en puntos que se consideren importantes.

## ENTREVISTA A EXPERTOS PARA APLICABILIDAD DE IOT.

Ingeniero Alveiro Goyeneche

Nombre: Alveiro Goyeneche

Ocupación: PMP, Director Desarrollo de Negocios e Innovación, SEGEN-GROUP, Colombia y experto en Implementaciones basadas en IoT.

- Háblenos de usted.
- ¿Cómo podría definir IoT?
- ¿Cuántos años de experiencia tiene B&B en este campo?
- ¿En qué casos de éxito, relacionados con IoT en soluciones urbanas, ha participado B&B?
- ¿Cómo se integran sus soluciones a un ITS (Intelligent Transportation System, por sus siglas en inglés)?
- ¿Cómo podría explicar el concepto V2I?
- ¿Qué conoce de LoRa? ¿O recomendaría otra tecnología para conectividad?
- En base a los datos presentados (Se presentarán los datos y geografía de Tegucigalpa). (Si esta información es requerida previamente puede ser compartida solo indicarlo).
- ¿Qué tecnologías (sensores, enrutadores, sistemas analíticos, etc.) basadas en IoT para soluciones urbanas tiene es su catálogo B&B?
- ¿Qué soluciones ofrece B&B para estos casos?
- ¿Qué diseño se propondría para este caso?
- Actualmente los costos de mejoramiento urbano, por proyecto, oscilan en promedio en \$2.5 Millones ¿Sería posible estimar costos para un proyecto de este tipo en Tegucigalpa utilizando B&B?
- ¿Cuál considera usted son los retos para implementar tecnologías relacionadas a IoT como mejoramiento del tráfico en las ciudades?

Estas son algunas de las preguntas que se harán, a lo largo de la entrevista pueden surgir nuevas preguntas para profundizar en puntos que se consideren importantes.

## IMÁGENES DE CONCEPTO.



**Figura 13. Bosquejo de un ITS implementado.**

Fuente: B&B SmartWorx.



**Figura 14. SensorAdvantech libre de interfaces.**

Fuente: B&B SmartWorx.



**Figura 15. Enrutador WISE-3610 LoRa IoT.**

Fuente: B & B SmartWorx.