

Facultad de Filosofía y Letras

# T E S I S

FOTOGRAMETRÍA CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN  
LA PLANEACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL, A PARTIR DEL  
MODELADO DE INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIÓN (BIM) EN LA  
ZONA LA CÚSPIDE, NAUCALPAN DE JUÁREZ, ESTADO DE MÉXICO  
EN EL 2019.

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

*Eliel Noriega Hernández*

ASESOR:

LIC. JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ GONZÁLEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"Los acelerados avances del conocimiento y de la tecnología y su integración a los procesos productivos, los cambios en la organización del mundo laboral, el predominio del mercado y la reestructuración del Estado (...) constituyen los ejes transformadores y desencadenadores de diversos procesos en las sociedades de hoy ".  
Noriega Chávez, Margarita (1996) *En los laberintos de la modernidad: Globalización y sistemas educativos*.  
Universidad Pedagógica Nacional. México.

### **Dedicatoria**

Este trabajo, podría decirse que comenzó a gestarse cuando era estudiante del Colegio de Ciencias y Humanidades, en el plantel Vallejo. Entonces buscaba conocer, aprender y explorar el mundo y fue cuando me encontré con un profesor (Hilario Maya Fernández), que dejó huella en mi formación. El contenido de su materia hizo que en mí surgieran inquietudes intelectuales, que se fueron convirtiendo en el más grande reto de mi adolescencia. Sus enseñanzas se convirtieron en inspiración para asumir mi compromiso de estudiar la licenciatura en geografía, y que ahora veo como un compromiso de vida. Así que va para él todo mi reconocimiento.

A lo largo de la licenciatura me encontré con compañeros con los que conviví durante y en cuya colaboración y compañía enfrenté los retos que implica la formación académica. A ellos mi afecto y la garantía de conservar el recuerdo de los momentos cotidianos y especiales de mi vida estudiantil. De igual manera ofrezco mi gratitud a todos los maestros que me impartieron clase y me transmitieron sus conocimientos, durante mi formación en la UNAM.

Ahora que esta etapa concluye le dedico este trabajo a todas las personas que estuvieron conmigo apoyándome, en primer término a mi familia: padres (Miguel Ángel Noriega Chávez, Ricardo Hernández Miranda), madre (María Hernández Jardines), mis hermanos (Miguel Ángel Noriega, Jorge Noriega, Jaime Noriega, Gerardo Alejandro Noriega H. y una especial mención para Mariel Guadalupe Noriega H.); a mis sobrinos (Angel Said C. Noriega, Allison Daniela A. Noriega, Samantha Allison M. Medina, David Amadeus M. Medina); a mis primos en México y en el extranjero incluyendo a Enrique Hernández y su esposa Kimberly Lambert; a mi novia Saraí Lizu Jiménez Fernández, quien con su compañía, me hizo más llevaderos y agradables los tiempos que la elaboración de este documento me requirieron.

### **Agradecimientos**

Todo trabajo de esta naturaleza se construye de manera individual pero también colectiva con los aportes de los maestros que leyeron esta tesis (Lic. María Teresa López Castro, Mtro. Eduardo Antonio Pérez Torres, Mtro. Jaime Morales, Mtra. Cecilia Gutiérrez Nieto y especial mención para el asesor Lic. José Luis Hernández González), y que contribuyeron con sus observaciones al mejoramiento de este proyecto.

Asimismo, hago una especial dedicatoria a mi tía la Dra. Blanca Margarita Noriega Chávez, quien me acompañó y me asesoró en la aventura que un trabajo como éste representa. Su apoyo tanto personal como profesional, para mí fue importante.

Por último, este trabajo no se hubiera logrado sin el sostén y la atinada conducción del Mtro. Enrique Iván Reyna Spíndola, asesor experto de esta tesis. Sus orientaciones y sus enseñanzas me permitieron crecer en lo intelectual y en lo profesional. Pues, como a veces sucede, hay momentos en que uno se siente perdido y hace falta que alguien más le recuerde su valía y el potencial que tiene para salir adelante. Y esos momentos pueden ser decisivos. Gracias maestro Enrique por la confianza y el aliento que supo darme. Para usted un reconocimiento especial.



# Índice

---

Introducción .....	6
Capítulo 1.- Fotogrametría y Vehículo Aéreo No Tripulado.....	7
1.1 Antecedentes de la Fotogrametría moderna.....	7
1.2 Fotogrametría: definición y sus métodos.....	8
1.3 Fotogrametría Aérea.....	8
1.4 Percepción Remota.....	10
1.5 Vehículos Aéreos No Tripulados.....	12
Capítulo 2.- Modelado de Información de Construcción BIM .....	16
2.1 Definición .....	16
2.1 Características y cualidades en BIM .....	17
2.2 Flujo de trabajo BIM .....	19
2.3 BIM en México .....	21
Capítulo 3 Marco legal de la planeación de la infraestructura vial en México.....	23
3.1 Los compromisos internacionales de México con la ONU. Nueva Agenda Urbana ONU-Hábitat .....	23
3.2 Normativa nacional. Ley general de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y urbano(LGAHOTU) .....	25
3.3 Los planes estatales/municipales de planeación urbana, en el caso específico de la zona la Cúspide en Naucalpan de Juárez en el Estado de México. ....	30
Capítulo 4.- Proyecto Fotogramétrico y BIM para la infraestructura vial.....	32
4.1 Método de trabajo.....	33
4.2 Delimitación espacial .....	33
4.3. Plan de Vuelo .....	57
4.4 Producción de información y edición.....	61
4.5 Diseño conceptual tridimensional en BIM .....	67
Conclusiones .....	75
Fuentes de Consulta.....	77
Índice de Diagramas, Gráficas, Ilustraciones, Imágenes y Tablas.....	78
Diagramas .....	78
Gráficas .....	78
Ilustraciones.....	78
Imágenes.....	78
Tablas .....	79

## Introducción

Hoy en día, en la planeación las ciudades y en específico de la infraestructura vial es imprescindible la obtención de datos de alta precisión y su explotación oportuna para la toma de decisiones. Dentro de la industria de la construcción, el proceso de la planeación ha evolucionado a partir del continuo desarrollo de soluciones informáticas novedosas como el Modelo de Información de Construcción (Building Information Modeling, BIM) que permite la integración de bases de datos con diferentes capas de información: la georeferenciación, ráster y vectorial. En una plataforma estandarizada y robusta facilitando el flujo de trabajo multidisciplinario, sin las restricciones de tiempo y accesible en cualquier parte del mundo. Aunado a lo anterior, las innovaciones tecnológicas incorporadas a las técnicas fotogramétricas, como los Vehículos Aéreos No Tripulados, en la obtención de la información del territorio con alta precisión y costos menores a los tradicionales, han aumentado su intensidad de uso. Por consiguiente, es posible ocupar estas innovaciones tecnológicas de obtención y explotación de la información geoespacial en la planeación de la infraestructura vial.

No obstante, a pesar del avance de estas innovaciones, los trabajos de investigación relacionadas al tema están enfocadas a solucionar problemas propios del ámbito de estudio de las ingenieras y no de solucionar un problema social. Y justo es en ese ámbito que este trabajo quiere contribuir, por un lado, sistematizando los conceptos y técnicas básicos de la Fotogrametría con Vehículos Aéreos No Tripulados en la planeación de infraestructura vial, y por otro, aplicar esos conceptos y técnicas en el Modelado de Información de Construcción (BIM) en la zona la Cúspide, en el caso específico de Naucalpan de Juárez, Estado de México en el 2019.

En el primer capítulo se hace una revisión documental que da cuenta de los conceptos básicos de la fotogrametría y su evolución histórica hasta la actualidad incluyendo los Vehículos Aéreos No Tripulados. Así como de la técnica fotogramétrica en el desarrollo de modelos tridimensionales del territorio como material base de la planeación y de la intervención en obras de infraestructura y urbanización, con el objetivo último de beneficiar a la sociedad.

En el segundo capítulo se abordan los conceptos básicos y características del sistema del Modelado de Información de Construcción (BIM) y la revolución en digital que conlleva este nuevo método, para la elaboración de proyectos de infraestructuras.

En el tercer capítulo se abordan el estado actual de los diferentes niveles de la planeación en México y los compromisos con organismos internacionales, en particular los que abordan la planeación de la movilidad para solucionar problemas sociales.

En el cuarto y último capítulo, se presentaran los resultados y recomendaciones sobre el uso de Fotogrametría con Vehículos Aéreos No Tripulados en la planeación de infraestructura vial, a partir del Modelado de Información de Construcción (BIM) en la zona la cúspide, Naucalpan Estado de México en el 2019.

# Capítulo 1.- Fotogrametría y Vehículo Aéreo No Tripulado

Este capítulo se expone dos definiciones de fotogrametría que constituyen la base conceptual sobre las que se sustenta este trabajo y que fueron seleccionadas por que incluyen los elementos necesarios y suficientes para desarrollarlo, a partir de los antecedentes que permitieron el surgimiento de la fotogrametría moderna, y especialmente las de la fotogrametría aérea mediante un proceso digital, considerando los vehículos aéreos no tripulados y el reglamento en México.

## 1.1 Antecedentes de la Fotogrametría moderna

La fotogrametría moderna se remonta a 1846 y se atribuye al Coronel Aimé Laussedat<sup>1</sup>, quien realizó trabajos topográficos y fotográficos en Francia hasta lograr representar mapas a partir de fotografías, respaldado por la Academia Francesa de Ciencias.(Caire Lomeli, 2003).

Posteriormente en 1869, el arquitecto alemán Meydenbauer empleo por primera vez la fotogrametría para la representación de edificios de gran valor histórico. (Caire Lomeli, 2003).

A principios del siglo XX, en 1901 y 1909, Karl Pulfrich construyó el restituidor denominado estereocomparador y estereoautógrafo, resolviendo la identificación de puntos homólogos mediante la utilización de visión estereoscópica y el primer instrumento para el trazo automático de mapas por el dibujo de líneas continuas. (Caire Lomeli, 2003).

La primera guerra mundial aceleró el desarrollo de la fotogrametría aérea. Oscar Messter construyó en Alemania, en 1915, las primeras cámaras para fotografías en serie y Gasser ideó el doble proyector para las fotografías aéreas.(Niño Chico, 2008).

La fotogrametría aérea es más compleja que la terrestre, ya que no se sabe ni posición ni orientación de la cámara en el momento del disparo. El primero en resolver el problema de la orientación de la cámara fue Von Gruber en 1924, produciéndose el desarrollo de la fotogrametría analógica.(Sánchez Sobrino, 2007).

En México, fue en 1912 que se incorporaron, con carácter experimental, los métodos fotogramétricos y de fotointerpretación y en 1913 por parte de la Secretaria de Fomento, Gustavo Durán publicó un estudio sobre la fototopográficos.

En 1926 Valentín Gama<sup>2</sup> publico *Métodos que conviene emplear para la continuación de los trabajos geográficos de México*

En vísperas de la Segunda Guerra Mundial, el 7 de febrero de 1938, por decreto, se fundó la Comisión Geográfica Militar y fue transformada en el Servicio Geográfico del Ejército hasta convertirse en 1950, en la Comisión Cartográfica Militar. En ese período, comenzó a funcionar la Comisión México-Norteamericana de

---

<sup>1</sup> El Coronel Aimé Laussedat es considera como el padre de la fotogrametría.

<sup>2</sup> Valentín Gama (1868-1942), Ingeniero, fue director de la Escuela de Ingeniería, director del Observatorio Nacional (1903-1910), presidente de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, vicepresidente de la Academia Nacional de Ciencias Antonio Alzate y rector de la Universidad Nacional, designado por el presidente Venustiano Carranza (1914). Entre sus obras figura *Memoria para la carta del valle de México (1920)*.



Defensa Conjunta, en la cual participaron diez oficiales mexicanos junto al 4° Escuadrón Aéreo de los Estados Unidos Americanos de 1942 a 1943.

Esos acontecimientos seguramente influyeron, en alguna medida en la decisión del *“El presidente Adolfo Ruiz Cortines (1952-1958) que ordenó la construcción de la primera carta fotogramétrica de la república mexicana en escala 1:500 000, para lo cual se formó la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana y se eligió como órgano ejecutor al Departamento Cartográfico Militar. La mencionada carta se terminó en septiembre de 1958, en 47 hojas y en la Proyección Cartográfica Universal Transversa de Mercator.”*(Caire Lomelí, 2003).

*“A partir de 1968, fecha en que se instituyó lo que hoy es el inegi (sic), todas las secretarías de Estado dejaron de producir su propia cartografía y con base en la que proporciona el inegi adaptan la suya para cumplir con sus necesidades. Por ejemplo: la Dirección General de Cartografía Militar, para formar la Carta de la República, escala 1:100 000, reduce la que elabora el inegi, escala 1:50 000, y solamente agrega algunos aspectos de interés militar.”*(Caire Lomelí, 2003).

## 1.2 Fotogrametría: definición y sus métodos

La definición de fotogrametría proviene de la combinación de fotografía, y este del griego phos, *photo* que significa “luz, de luz”; *-grafía* que está compuesto por *graphein* que significa “escribir” o “grabar” y de *grapho* que significa “yo escribo”; y *-metría* que significa “cualidad (-ia) de medida (*metron*)”.

La Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) define a la fotogrametría como: “el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos” (Sánchez Sobrino, 2007).

Existen dos métodos de fotogrametría, la aérea y la terrestre, las que a su vez se definen en función de la tecnología que usan, la analógica y la digital.

## 1.3 Fotogrametría Aérea

La fotogrametría; terrestre y la aérea, están enfocadas a propósitos diferentes. Sin embargo, para fines de esta investigación, se abordará lo relacionado a la fotogrametría aérea y a los métodos de captura comúnmente utilizados. Y en los próximos apartados el marco normativo en México.

Caire Lomelí define: “Las fotografías aéreas tienen el propósito de proporcionar ciertas informaciones de objetos considerados aisladamente o pertenecientes a determinados conjuntos, como es la superficie del espacio geográfico. Esta información, captada en un registro sobre una emulsión sensible por medio de la cámara fotográfica, de radiaciones emitidas por dichos objetos, sirve de base para un examen que permite obtener ciertos datos, especialmente los relativos a su disposición en el espacio, gracias a la observación estereoscópica.” (Caire Lomelí, 2003).

Aunque la fotografía aérea por si sola captura información de la superficie terrestre no es posible compararla con un mapa debido a la propia deformación ocasionada por la captura de la cámara, ya sea digital o analógica,

que, al contrario de un mapa, este cuenta con una corrección de la información y de acuerdo con el Doctor Caire Lomelí se requieren de pos procesos a las fotografías aéreas para generar un mapa:

*“A los procesos gráficos, mecánicos, analíticos que se aplican a las fotografías para obtener el mapa se les denomina restitución fotogramétrica.”(Caire Lomelí, 2003).*

Asimismo, a diferencia de la fotogrametría terrestre, la fotogrametría aérea implica una serie de dificultades ya que no se conoce con precisión la ubicación de captura de la información en (x, y, z), además de considerar los errores provocados por condiciones meteorológicas, iluminación en caso de sensores pasivos, cabeceo y ladeo de la aeronave, así como las características propias de la calidad de imagen capturada por cada sensor.

El continuo avance de las herramientas de posicionamiento global y a los procesos informáticos para las técnicas fotogramétricas, permiten reducir los márgenes de error independientemente de la precisión y nivel de sensibilidad del sensor, estos avances se ven reflejados en el cambio de tecnologías pasando de la analógica a la digital.

### *1.3.1 Fotogrametría analógica y digital*

Este trabajo se desarrolló bajo un enfoque de fotogrametría digital en razón a las condiciones que se presentaron para su elaboración. En este sentido, gracias a las innovaciones tecnológicas incorporadas a las técnicas fotogramétricas, fue posible la reducción en tiempos de ejecución y por ende en costos tanto operativos como de equipos especializados. No obstante, al día de hoy, aun ante el avance de la tecnología, la técnica analógica se sigue utilizándose por su beneficio en la captura de grandes superficies.

Fotogrametría analógica; se realiza mediante la reconstrucción de un modelo espacial con sistemas ópticos y mecánicos, donde se realiza alineación y escalado del modelo estereoscópico.

Fotogrametría digital; se realiza mediante la captura de imagen de manera digital o digitalizar las existentes y el proceso de construcción de la información es mediante softwares especializados y el uso de hardware de alto rendimiento.

Mora Serrano y Valero López describen a la técnica fotogrametría en tiempos actuales: *“La fotogrametría es una técnica que proviene de utilizar métodos matemáticos aplicados a fotografías en formato digital. Especialmente en geometría proyectiva. Surge por la necesidad de obtener información en tres dimensiones a partir de información en dos dimensiones. El método o fundamento se basa en la obtención de puntos o coordenadas en común entre dos o más fotos para llevar a cabo la proyección del objeto.”(Mora Serrano & Valero López, 2018).*

Es importante señalar que el nivel de detalle posible en una fotografía está en función de la sensibilidad y del tipo de sensor, sin embargo, la técnica fotogramétrica sigue siendo la misma y es de suma importancia retomar las características básicas de la percepción remota que rigen a todos los sensores.

## 1.4 Percepción Remota

La percepción remota consiste en adquirir información radiométrica por medio de un sensor, como cámaras, escáner o radares y está constituido junto con el uso de los SIG, como una herramienta importante para el análisis, facilitando y ampliando la representación, la interpolación y el análisis de datos espaciales.

De acuerdo con (Aguirre Gómez, 2009), las bases físicas de la percepción remota se divide en cuatro fases las cuales son:

- Fuente de la radiación. Existen dos: la de origen natural y típicamente el ejemplo es nuestro sol y las fuentes artificiales como tipo láser, pero sin importar su origen; todas las fuentes de energía tienen un espectro electromagnético que van de los rayos gama hasta las ondas de radio,
- Trayectoria o medio de transmisión. En este caso la atmosfera es el medio de transmisión el cual perturba, interrumpe e impide la correcta medición por la perturbación ocasiona por las condiciones meteorológicas,
- Objetivo o blanco. Los objetos expuestos a las fuentes de radiación presentan diferente respuesta debido a los materiales que los componen, es decir, tienen su propia firma espectral dependiendo de la absorción, dispersión y reflexión,
- Sensor; pasivos en el caso de no generar su fuente de radiación y sensor activo es el que presenta una fuente de radiación propia.

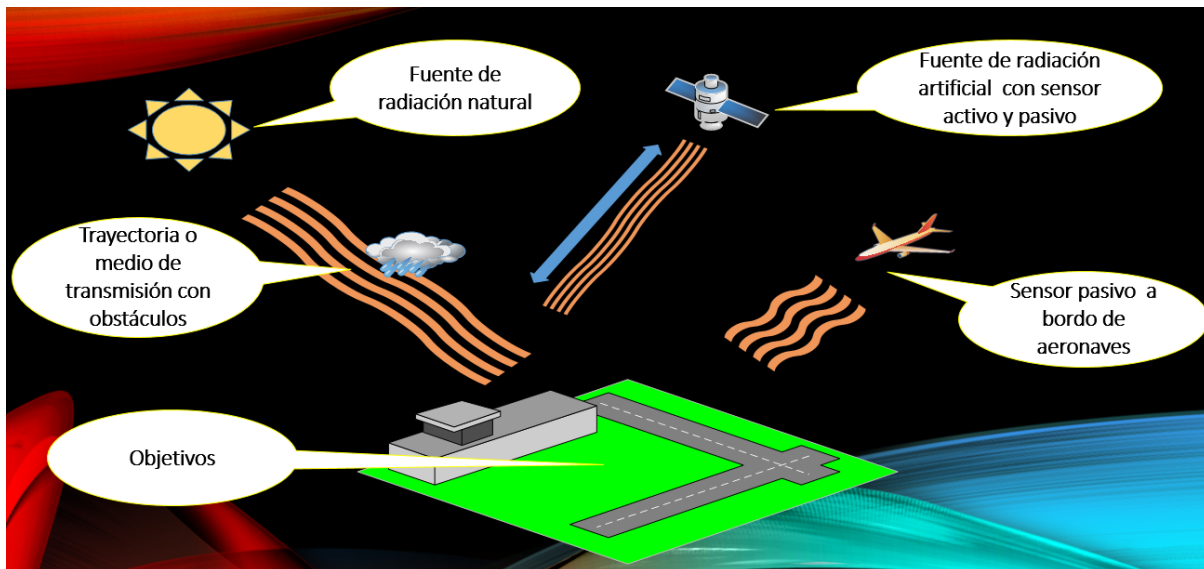


Ilustración 1 – Fases de la Percepción Remota (Elaboración Propia en Microsoft Visio).

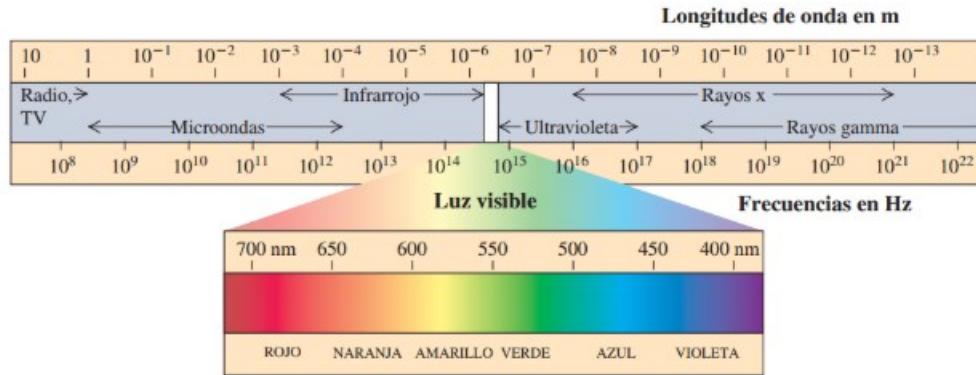


Ilustración 2 - Espectro electromagnético (Fonrouge, 2015).

Se resalta el hecho que algunos sensores (usualmente los pasivos) están montados en aeronaves los cuales resaltan aquellas que son pilotadas remotamente y tan ligeros que poseen un par de kilos, estos vehículos son utilizados para diversos propósitos incluyendo la fotogrametría y es de suma importancia conocer los tipos de vehículos, sus características y la reglamentación.

## 1.5 Vehículos Aéreos No Tripulados

Los vehículos aéreos son toda máquina pilotada, manualmente o mediante controles remotos y que puedan suspenderse en la atmosfera por reacciones del aire.

La sigla RPA vienen del inglés *Remote Piloted Aircraft*, se traduce como aeronave pilotada remotamente, además existen un subgrupo del RPA el cual es Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) o en inglés *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), generalmente conocidos como *drone* (dron en español). Estos pueden volar de manera autónoma a partir de una programación previa de vuelo que permite la no intervención directa durante el vuelo. En literatura en el idioma inglés, las palabras *drone* y UAV suelen ser denominaciones para aparatos militares mientras que RPA y RPAS para uso civil.

A diferencia de los UAV, los RPAS, son vehículos aéreos que deben estar controlados necesariamente por alguien de manera remota, aunque existen ya modelos con programación previa de vuelo autónomo, pero siempre monitoreado por un control remoto y con método de vuelo manual en cualquier momento.

En general existen variantes de la clasificación de los vehículos aéreos no tripulados sin embargo se considera apropiado clasificarlos por sus características físicas aerodinámicas como lo muestra el siguiente diagrama.

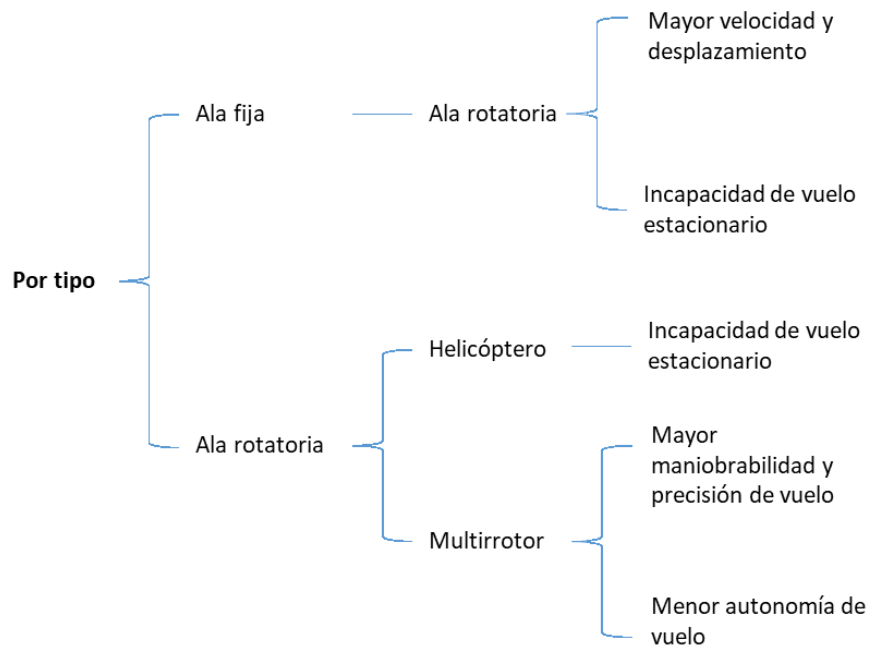


Diagrama 1 – Aeronaves por tipo (Elaboración propia).

Sin embargo, debido al marco legal que rige en México es necesario clasificarlos por peso, como se muestra en el siguiente diagrama.

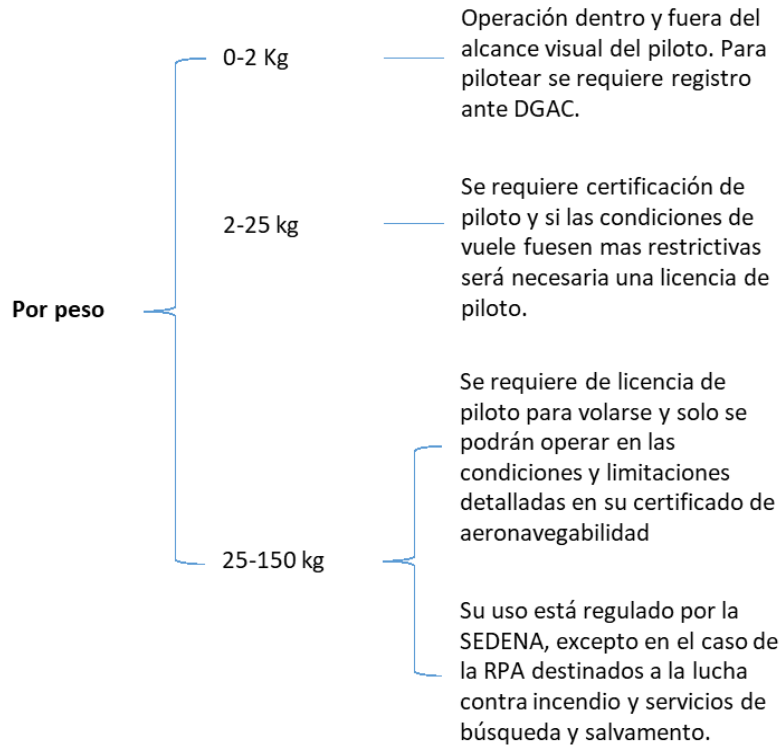


Diagrama 2 – Aeronaves por peso según la circular CO AV 23/10 R2 publicada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con fecha de 25 de julio de 2017 (Elaboración propia).

### 1.5.1 Reglamentación en México

La circular CO AV 23/10 R2 publicada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con fecha de 25 de julio de 2017, emitida el 8 de abril del 2015 que sustituye a la emitida en el 2010, establece limitaciones al uso de drones no tripulados (llamadas Sistemas de Aeronave Pilotada a Distancia, RPAS), según su peso, pero incluye limitantes válidas para todos los equipos.

La clasificación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia es la siguiente:

CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA		
PESO MÁXIMO DE DESPEGUE	CATEGORIA	USO
2.000 kg o menos	RPAS Micro	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial
2.001 kg hasta 25 Kg	RPAS Pequeño	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial
25.001 kg o más	RPAS Grande	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial

Tabla 1 - Clasificación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (la circular CO AV 23/10 R2 publicada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con fecha de 25 de julio de 2017).

Sin importar el peso solo pueden operar durante el día, en áreas no clasificadas como prohibidas, restringidas o peligrosas, y al menos a 9.2 kilómetros de aeropuertos controlados, a 3.7 kilómetros de los aeródromos no controlados, y a 900 metros de los helipuertos, y no deben dejar caer objetos que puedan causar daños a personas o bienes.

El piloto de un RPAS debe operar la aeronave a una altura máxima de 122 metros, mantener una línea visual con la aeronave y alejarse a una distancia mayor a 457 metros en distancia horizontal, considerando no operar la aeronave en lugares abiertos donde se reúnan más de 12 personas. Además, se debe apearse a los límites de velocidad indicadas en la siguiente tabla:

h) El piloto del RPAS no debe exceder la velocidad indicada en la tabla siguiente de acuerdo con su peso máximo de despegue:

Peso Máximo de Despegue (Kg)	Velocidad Operacional Máxima (Km/hr)	Peso Máximo de Despegue (Kg)	Velocidad Operacional Máxima (Km/hr)	Peso Máximo de Despegue (Kg)	Velocidad Operacional Máxima (Km/hr)
0.001	55.00	0.6	38.14	1.4	24.97
0.01	55.00	0.7	35.31	1.5	24.12
0.1	55.00	0.8	33.03	1.6	23.36
0.2	55.00	0.9	31.14	1.7	22.66
0.3	53.94	1	29.54	1.8	22.02
0.4	46.71	1.1	28.17	1.9	21.43
0.5	41.78	1.2	26.97	2	20.89
0.6	38.14	1.3	25.91		

Tabla 2 - Límites de velocidad del RPAS (la circular CO AV 23/10 R2 publicada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con fecha de 25 de julio de 2017).

Toda persona física y moral (incluyendo dependencias y entidades federal, estatales y municipales) que opere o pretenda operar una aeronave deberá obtener la aprobación tipo y autorización de operación de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), con excepción de los destinados para uso militar, policial, de resguardo y marítimo o similares.

Aunando a lo anterior existen diferencia entre el uso ya sea comercial o recreativo, y en ambos, se exige no operar bajo los efectos estupefacientes, psicotrópicos o enervantes.

En caso de zonas arqueológicas o monumentos históricos adicionalmente se deberá tramitar un permiso ante el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), con un costo de filmación y grabación por día de MX\$10,905.00 pesos y para la toma de fotografías de MX\$5,452 pesos en el 2019.

En el caso de realizar vuelos fotogramétricos se requiere obtener una autorización de la Secretaria de la Defensa Nacional (SEDENA) y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

En caso de accidentes o incidentes, deberán ser reportados por el operador a la comandancia del aeropuerto más próxima con el mayor detalle posible, en un plazo no mayor a 5 días calendario del incidente.

El 18 de junio del 2018 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el decreto por el que se reforman y adicional diversas disposiciones de la Ley de Aviación Civil, en el cual se impondrá sanción con multa de MX\$16,052.00 a MX\$401,300.00 al poseedor y/o propietario de una aeronave por incumplir cualquiera de las obligaciones o condiciones establecidas en la Ley de Aviación Civil, en sus reglamentos, o en cualquier otra disposición aplicable.

- Carecer de los seguros o que estos no estén vigentes.
- Cuando el personal de vuelo carezca de licencia correspondiente.
- Operar una aeronave de manera negligente o fuera de los límites y parámetros establecidos por el fabricante de la misma sin que medie causa justificada.
- Realizar vuelos de demostración, pruebas técnicas o de instrucción sin la autorización respectiva.
- Volar sobre zonas prohibidas, restringidas o peligrosas sin autorización.

Actualmente la elaboración de productos cartográficos no se limita a instituciones de gobierno como el INEGI ni a grandes compañías que operaban con bastos recursos como las avionetas y cámaras especializadas. Sino que los avances tecnológicos en la captura de imágenes de superficie terrestre y el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados, han permitido que los profesionales y los especialistas puedan hacerse de herramientas con las que puedan generar estos mismos productos y con una calidad superior, no en grandes escalas como delimitaciones administrativas o regiones, pero sí en ámbitos específicos del territorio, para su intervención.

Además, gracias al continuo mejoramiento de programas que permiten generar información, manipularla y transferirla, incluso a nivel de crear modelos tridimensionales fieles a la realidad y de alta precisión provenientes de fotogrametría, se han generado campos de aplicación de tecnologías en constante crecimiento. Dentro de esos campos, podemos ubicar la planeación del espacio de las ciudades e inclusive la planeación de obras de infraestructura, incluyendo la infraestructura vial. En ese campo ha surgido un método que liga varios programas para el modelado de la realidad y de futuras soluciones, incluyendo un flujo de trabajo. Un mayor acercamiento Modelado de la Información de Construcción (BIM) se describe en el siguiente capítulo.



## Capítulo 2.- Modelado de Información de Construcción BIM

En el presente capítulo se expone el Modelado de la Información de Construcción (BIM), partiendo por su definición, sus características y sus cualidades, así como el flujo de trabajo sugerido por una de las compañías que más ha difundido el método de trabajo. Finalmente se describe el papel de BIM en México.

### 2.1 Definición

La definición de modelo proviene de la palabra italiana *modello*, que significa arquetipo o punto de referencia para imitar o reproducirlo; representación en pequeño de alguna cosa; esquema teórico generalmente en forma matemática de un sistema o de una realidad compleja.

Al igual que muchas disciplinas, los geógrafos generamos modelos de la realidad, estos modelos han aumentado su complejidad en los últimos años debido a los avances tecnológicos en la captura de información como fotogrametría a partir de los vehículos aéreos no tripulados, al mismo tiempo los programas y equipos de cómputo han evolucionado para poder visualizar dichos modelos. En el caso específico de los geógrafos es conocido y común el uso de sistemas de información geográfico (SIG) como Arcgis, Qgis, MapInfo entre otros, sin embargo, existen diversos tipos de programas que aborden un mismo modelo y trabajen de manera simultánea por la compatibilidad de archivos entre programas como es el caso de BIM.

BIM “es una representación digital de características físicas y funcionales de una instalación. Como tal, sirve como un recurso para compartir información acerca de las instalaciones, formando una base confiable para las decisiones durante el ciclo de vida desde su inicio en adelante” Nacional BIM Estándar. US.

BIM, es una plataforma informática que permite la concentración sistematizada de dichos datos referentes al sistema constructivo de una edificación o modelo. Al ser su naturaleza una base de datos, esta puede ser publicada en la nube de internet acercando a los colaboradores sin el impedimento de la distancia y el tiempo, logrando la eficiencia y especificidad oportuna en la toma de decisiones.

El origen de BIM se atribuye a varios investigadores dentro los cuales “Charles M. Eastman, profesor de Georgia Tech Institute of Technology sintetiza la teoría de modelos BIM y comienza la difusión del término BIM asociado a la elaboración de modelos de información para la construcción” (Acuña Correa, 2016).

Países como Reino Unido desde el año 2016 exigen todo proyecto público debe ser realizado mediante una metodología BIM. En Estados Unidos, Australia y algunos países europeos han implementado el uso de BIM bajo normas claramente establecidas, con lo cual, las obras públicas y privadas se ven obligadas a cumplir con las normas de cada país. Cabe mencionar que en diciembre del 2018 se publicó las normas ISO 19650-1:2018, ISO 19650-2:2018 y se encuentra en desarrollo la norma ISO CD 19650-3, por parte de la Organización Internacional de Normalización (ISO), basada en el estándar británico BS 1192 y la especificación PAS1192-2.

Si bien, podemos decir que los SIG's y BIM poseen una superposición de las características existen diferentes fortalezas y debilidades, las cuales se reconocen ampliamente debido a la integración de los datos de propios de cada dominio, esta integración puede evitar esfuerzos innecesarios en el modelado redundante y permitir nuevos flujos de datos en ambas direcciones. De esta manera, los datos de un modelo en BIM más detallados

pueden alimentar datos de un modelo SIG más generales, y de igual manera datos en un modelo SIG pueden proporcionar el contexto que comúnmente falta en los datos BIM.

Además, también BIM centraliza un modelo donde un equipo de trabajo multidisciplinario realiza y comparte cambios en tiempo real mediante protocolos establecidos y el apoyo de diversos softwares conectados a una base de datos en nube digital en común.

La integración de ambos dominios se ha logrado a niveles de planeación y conceptualización de modelos incluyendo las infraestructuras, pero sin duda se encuentran en camino de tener mayores niveles de integración conforme los programas creen datos compatibles entre ellos.

Asimismo, la tendencia actual de los proyectos de ingeniería es el proceso BIM y está derivando en una nueva manera de trabajar durante las fases de diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras debido a las ventajas que posee en contraste con los métodos tradicionales. Por lo tanto, al igual que otros sectores, la construcción de obras incluyendo la infraestructura vial en el sector público y privado están bajo su propia revolución digital.

## 2.2 Características y cualidades en BIM

Las 10 principales características y cualidades en BIM se retoman y se resumen a partir de la información expuesta por la compañía de Autodesk.Inc, mediante sus múltiples publicaciones impresas, así como en sitios WEB.

### 2.2.1 Captura de la realidad

La captura de la realidad es de vital importancia para generar modelos y la información es disponible es mayor gracias a las mejoras en herramientas y técnicas de extracción de la información, es decir, al comienzo de un proyecto se dispone de cantidades enormes de información que anteriormente se omitían, pero con BIM, los diseñadores pueden actualmente seleccionar los datos y manipularlos desde sus propios softwares.

### 2.2.2 Ahorro de tiempo

Con BIM se tiene un mismo modelo compartido, por lo tanto, evita repeticiones de trabajo y duplicados, el modelo contiene más información que un conjunto de dibujos, de modo que los especialistas pueden anotar sus datos y conectarlos al proyecto de manera inmediata y reduciendo el tiempo en comparación con métodos tradicionales, los programas conectados a un mismo modelo en BIM son más rápidas que los programas de dibujo en 2D, y cada objeto está conectado a una base de datos. La base de datos registra aspectos como el número y tamaños de diversas características del objeto a crear, analizar, modificar y se actualizará automáticamente cada vez que se realice algún cambio lo que significa un importante ahorro de trabajo y tiempo.

### *2.2.3 Acceso y control al proyecto*

El flujo de trabajo digital basado en un mismo modelo en BIM cuenta con funciones de guardado automático y con mecanismos de seguridad como el acceso controlado o restringido a cada etapa del modelo e incluso las conexiones con el historial del proyecto. De esta forma, los usuarios y los inversionistas pueden estar seguros de que su trabajo y su inversión en el proyecto están quedando registrados con seguridad a lo largo del tiempo, así como de tener acceso y consultar en cualquier etapa del proyecto y en cualquier lugar. Por lo tanto, la conexión con el historial de versiones a lo largo de la evolución del proyecto evita que se pierdan datos o se dañen archivos, lo cual puede afectar gravemente la productividad.

### *2.2.4 Interdisciplinario*

El pilar de BIM es el trabajo en equipo de diversas disciplinas a lo largo de los proyectos, compartir y colaborar con los modelos, ya que muchas de las funciones solo son posibles en un flujo de trabajo digital. Gran parte de las funciones de gestión de proyectos que se han incorporado están disponibles en la nube. Así, los especialistas de cada disciplina pueden acceder a la nube y compartir sus modelos de proyecto complejos y coordinar la integración con el resto de los profesionales. Gracias a los pasos de revisión y anotación, todos los implicados son partícipes de la evolución del diseño, de modo que están preparados para la ejecución al finalizar el concepto y pasar a las siguientes etapas.

### *2.2.5 Simulación y visualización*

Cada vez hay más programas y herramientas de simulación que permiten a los diseñadores visualizar aspectos y a diferencia de métodos tradicionales requería más tiempo o se dejaban de lado para disminuir costos, un ejemplo es simular la iluminación natural durante las distintas estaciones y calcular el rendimiento energético de los edificios. El software es capaz de aplicar reglas basadas en la física y las prácticas recomendadas, lo cual resulta de gran utilidad para diversos profesionales y miembros del equipo a lo largo del proyecto, por lo tanto, es posible realizar análisis y optimar el rendimiento del modelo, sintetizando datos además de tener una presentación tridimensional realista sobre cualquier parte del proyecto.

### *2.2.6 Toma de decisiones y resolución de conflictos*

Los modelos en BIM tiene de manera automatizada la detección de conflictos de los elementos. Dado que todos los elementos se modelan con anterioridad, los conflictos se descubren antes y se reducen los costes por conflictos en la obra, mantenimiento y remodelación de proyectos. El modelo también garantiza que los elementos que se fabrican de forma externa encajan con mayor perfección.

### *2.2.7 Procedimientos y secuencias*

El modelo evoluciona en cada fase del proyecto hasta pasar a la etapa de montarlo en la realidad y debido a que se cuenta con animaciones tridimensionales, ocasiona que se facilite la coordinación de actividades durante la etapa de construcción o demolición, dependiendo el caso, por lo tanto, se sigue un proceso

predecible debido a que cada responsable ya conoce el destino y predice la serie de acciones que debe cumplir para llevar a cabo el objetivo final.

### *2.2.8 Compatibilidad con otros métodos tradicionales*

BIM es un proceso relativamente reciente, por lo tanto, aún conserva compatibilidad con métodos tradicionales de trabajo y presentación de la información en dos dimensiones y es capaz de transferir datos, inclusive permite compartir planos, secciones y alzados tradicionales, así como otros informes, con el resto del equipo del proyecto. Gracias a las funciones de automatización y personalización, estos planos adicionales ahorran tiempo y complementan los modelos modernos.

### *2.2.9 Presentación*

La presentación de cualquier proyecto es muy importante debido a que permite mostrar a todas las personas interesadas e involucradas una captura de la posible realidad, el modelo es una herramienta de comunicación definitiva, los pasos que implica para terminarla y sus resultados que se esperan. Al ser el diseño un modelo tridimensional, se requieren menos pasos para renderizar impresionantes vistas y recorridos que servirán para comprender el entorno de cada proyecto.

### *2.2.10 Acceso en cualquier lugar*

Hoy en día y debido a los grandes avances en la comunicación digital en mundo, existe la ventaja de mantener comunicación casi desde cualquier lugar y es por eso que BIM presenta la ventaja adicional de estar vinculado a una base de datos, de modo que pone a su disposición una gran cantidad de información. Si se combina esta funcionalidad con la nube, puede disponer de acceso al modelo y a los detalles del proyecto desde cualquier lugar en cualquier dispositivo electrónico.

## 2.3 Flujo de trabajo BIM

Dentro del ámbito de la construcción están adoptando con rapidez la metodología BIM como herramienta estratégica para ahorrar costes, mejorar la productividad, la toma de decisiones, la eficiencia de las operaciones, aumentar la calidad de las infraestructuras y disminuir impactos medioambientales y el rendimiento en todo el ciclo de vida de los mismos.

Esta incorporación al flujo de trabajo para abordar BIM puede ser diferente, dependiendo si la estructura ya era existente o se aborda en algún momento de la obra y con métodos tradicionales de construcción o una infraestructura nueva, es decir; BIM puede incorporarse en cualquier parte de vida de un proyecto de aun si corresponde a un desarrollo vial.

El flujo de trabajo propuesto por Autodesk.Inc se muestra en la tercera ilustración y consiste en consiste en una serie de etapas que van desde el Diseño Conceptual, Diseño Detallado, Análisis, Documentación, Fabricación (prefabricación), Construcción en 4D/5D (tiempo/costo) y hasta la elaboración de planes de

logística de operación y Mantenimiento (Renovación y demolición), y son aplicables para cualquier infraestructura, como se muestra en la siguiente ilustración.

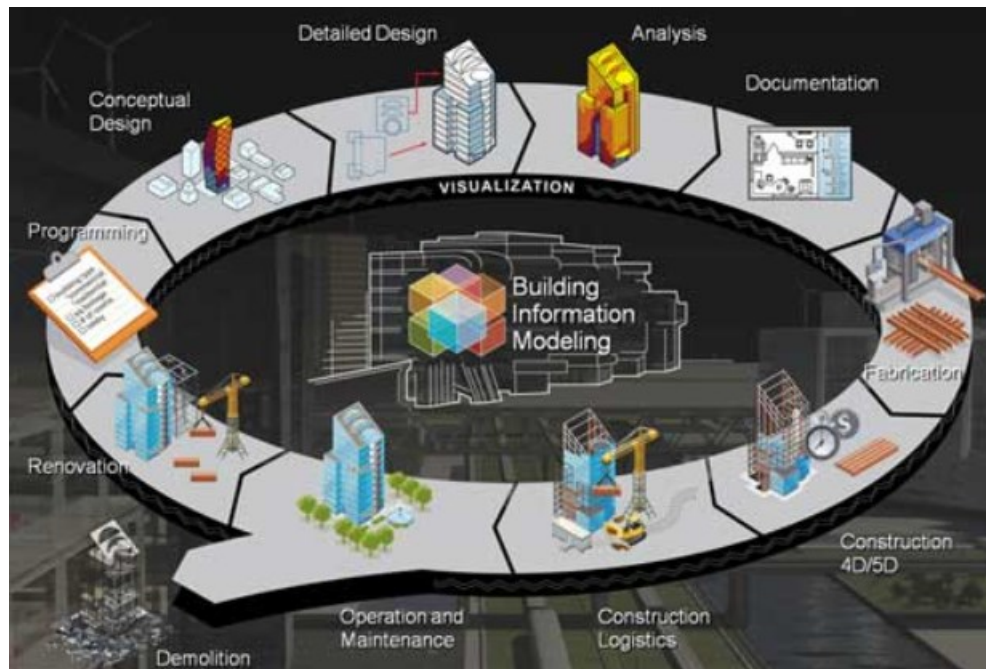


Ilustración 3 - Flujo de trabajo BIM (Autodesk.Inc)

y son las principales de las fases de BIM y se dividen en tres grandes momentos, los cuales son el diseño, construcción y operación.

Sin embargo, estas etapas del BIM se dividen en tres grandes momentos de la vida de un proyecto, diseño, construcción y operación.

### 2.2.1 Diseño

Durante el diseño se considera la como primera etapa la Programación: consiste en el levantamiento de toda la información necesaria para concebir el proyecto a nivel de anteproyecto. Siguiendo el mismo flujo de trabajo BIM de Autodesk.Ink. El diseño incluye las siguientes etapas

Diseño Conceptual: etapa en la que se elaboran todos los bosquejos, entiendo por bosquejo los trabajos esquemáticos preliminares, que buscan encontrar la mejor solución posible y es elaborada por los profesionistas adecuados. En esta etapa se incluye el cálculo de posibles presupuestos iniciales si fuera necesario.

Ingeniería de Detalle: etapa posterior al Diseño Conceptual y se incrementa la cantidad de información que conlleva todo el concepto para su cabal construcción y funcionamiento desde el modelo arquitectónico hasta las características propias de la ingeniería civil.

Análisis: etapa posterior a la Ingeniería de Detalle y consiste en validar todo el funcionamiento de la obra de infraestructura incluyendo el cálculo estructural, sostenibilidad, entre otros.

Documentación: es la última etapa de Diseño y se clasifica toda la información generada durante el modelado, así como la planificación de la construcción y si todo resulta adecuado pasaría la construcción, en caso contrario, se retroalimentan las etapas anteriores para realizar correcciones y con ello continuar con las posteriores revisiones.

### 2.2.2 Construcción

En la etapa de la construcción se encuentra la fabricación o prefabricación de elementos del proyecto, esto debido a que se cuenta con un modelo tridimensional con las características de materiales y medidas exactas para posteriormente enviarlas al personal responsable de fabricarlas.

Construcción 4D/5D: etapa caracterizada por la administración y gestión del proyecto incluyendo el cronogramas operativos y costos en tiempo real de materiales además de la ejecución.

Logística y Construcción: etapa donde BIM interviene en el seguimiento y control basado en programación de obra, verificando y acercando a los profesionistas responsables de cada etapa del proyecto.

### 2.2.3 Operación

Operación y mantenimiento: una vez concluido el proyecto de infraestructura y comienza a prestar el servicio para el cual fue diseñado, se inicia la etapa de operación y mantenimiento debido a que se tiene toda la información del proyecto actualizada y por lo tanto ajustar su ritmo de consumos, así como desgaste causa por el uso, teniendo como resultado un mayor control y eficiencia al momento de aplicar los recursos necesarios.

En caso de que el ciclo de vida de cualquier infraestructura este por concluir, se debe dar paso a la etapa de renovación o en caso contrario la demolición y con ello el desarrollo de un nuevo proyecto.

Para concluir, BIM puede estar en todo el ciclo de vida de cualquier obra de infraestructura o puede incorporarse este proceso en cualquier momento, lo cual da una ventaja en cuanto a la planeación de obras de infraestructura, si bien es un potente proceso en campos de ingeniería civil, arquitectura y demás disciplinas relacionadas, se puede utilizar para realizar planeación a gran escala debido a que existen softwares incorporados a BIM que pueden mostrar amplias superficies del territorio.

## 2.4 BIM en México

Existen empresas en México que han utilizado BIM en diferentes escalas o en algunas etapas de la construcción de infraestructuras desde hace más de diez años, sin embargo, se reconoce que aún no hay un marco normativo que obligue a las empresas en México, no obstante, debido a los beneficios económicos y de logística han optado por abordar BIM.

En cuanto a las academias existen cursos en instituciones privadas, pero es más común encontrar cursos en línea de instituciones extranjeras, en el caso de la educación pública en México, la Facultad de Ingeniería de la UNAM desde el 2017 cuenta con un curso piloto de BIM a precio mucho menor en comparación con las ofrecidas por otras instituciones, además se tiene la opción de titulación en caso de obtener el promedio solicitado por la institución.

Ejemplos del uso de BIM en México en obras de infraestructura son un estadio en la ciudad de Monterrey y otro en Guadalajara, así como algunas edificaciones en la Ciudad de México, sin embargo, el uso de la fotogrametría en estos proyectos se ha visto limitado a la parte de seguimiento de obra y reporte fotográfico.

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público está utilizando BIM para mejorar los procesos de desarrollo de la infraestructura pública, busca principalmente disminución de tiempos y costos, así como fortalecer la transparencia y rendición de cuentas mediante establecer grupos de trabajo interinstitucionales para la implementación de un plan de trabajo. También se está impulsando la creación de un marco normativo en las dependencias de gobierno y posteriormente a nivel federal para las construcciones públicas.

A pesar de que BIM se centra en un modelo de infraestructura, es de vital importancia en primer lugar la necesidad de concebir la infraestructura, es decir, determinar a nivel de planeación; la justificación de una obra de infraestructura para satisfacer una necesidad, así como considerar el impacto que tendrá en su entorno a lo largo del tiempo.

En el caso de la infraestructura vial conocer los contextos tanto de la zona de impacto como del marco normativo que rige en la actualidad, nos brindara una primera aproximación para planear una nueva vialidad, modificarla o inclusive llegar a la demolición.

## Capítulo 3 Marco legal de la planeación de la infraestructura vial en México

En este capítulo se analizan, de manera somera, las normativas nacionales en términos de infraestructura vial en nuestro país y con relación al problema que aborda esta investigación, obviamente, desde una perspectiva geográfica. Esta normativa obedece a: 1) los compromisos internacionales de México con la ONU: la Nueva Agenda Urbana ONU-Hábitat; 2) normativa nacional. Ley general de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y urbano (LGAHOTU); 3) los planes estatales/municipales de planeación urbana, en este caso los específicos de Naucalpan de Juárez en el Estado de México.

### 3.1 Los compromisos internacionales de México con la ONU. Nueva Agenda Urbana ONU-Hábitat

Abordar la planeación de la infraestructura vial para el caso de la zona la *Cúspide* en el municipio de Naucalpan de Juárez en el Estado de México en el momento actual (2019), implica necesariamente la revisión de las normativas que derivan de los compromisos internacionales de manda específica de la Nueva Agenda Urbana ONU-Habitat<sup>3</sup> aprobada en el 2016 y publicada en 2017.

Uno de los grandes problemas y desafíos de las ciudades actuales es el de la movilidad, que se refiere al desplazamiento de personas de un sitio a otro, por sus propios medios o con el uso de transportes. El desplazamiento, por un lado, es una necesidad; pero por otro, es también un derecho. Es sabido que cada día las personas hacen recorridos, mayores o menores, para acceder a su trabajo, a sus escuelas, a los centros culturales o económicos; y que en todas las ciudades esos recorridos consumen importantes energías físicas y emocionales de los ciudadanos. Y claro, entre mayores son los conglomerados poblacionales y extensiones de las urbes, más complejo es el problema. Si consideramos, que, desde mediados del siglo pasado, se ha favorecido el transporte automotriz y en mayor medida el uso del auto particular, como el principal medio de tránsito. Esto ha significado el crecimiento desmesurado de la flota vehicular y del número de coches privados que circulan en las ciudades, y, en consecuencia, el consumo de enormes recursos físicos y naturales, que generan extraordinarios problemas de contaminación y de congestión vehicular. De esa problemática ha surgido el concepto de *Movilidad Sustentable*, que hace referencia al derecho ciudadano a tener acceso a condiciones de movilidad urbana, de fácil ingreso y de tránsito, y en un marco de seguridad. Es un derecho universal y, por lo tanto, comprende el acceso para las personas con capacidades diferentes. En este concepto el énfasis está puesto en considerar a la banqueta como el espacio público principal para la movilidad cotidiana, aunque integra de forma armónica los diferentes tipos y modos de transporte. Este trabajo no se incluye el

---

<sup>3</sup> **2017 Naciones Unidas. Nueva Agenda Urbana ONU-Hábitat, octubre 2016.** La Nueva Agenda Urbana se aprobó en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III) celebrada en Quito, Ecuador, el 20 de octubre de 2016. La Asamblea General de las Naciones Unidas refrendó la Nueva Agenda Urbana en su sexagésimo octava sesión plenaria de su septuagésimo primer período de sesiones, el 23 de diciembre de 2016. (<http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>)



diseño de banquetas, sino que está orientado a la búsqueda de soluciones viales para mejorar la movilidad cotidiana en la zona de estudio.

En este contexto, la planeación urbana necesariamente exige considerar como punto de partida la movilidad sustentable y el derecho a la ciudad, claves en la actual imagen urbana. Por eso es necesario analizar de manera general los principales preceptos de la Nueva Agenda Urbana.

- La Nueva Agenda Urbana

Los problemas de las ciudades han sido analizados por diversas instancias internacionales y se han generado propuestas. Entre las más importantes y vigentes destaca el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). Este Programa, según su página oficial, prevé ciudades y otros asentamientos humanos bien planificados, bien gobernados y eficientes, con viviendas adecuadas, infraestructura y acceso universal al empleo y servicios básicos como el abastecimiento de agua, la energía y el saneamiento. Este planteamiento general se incluye diversos objetivos amplios y complejos, y en este apartado, retomamos los que contienen una relación específica con la planificación de ciudades y mejoramiento de la movilidad incluyendo la infraestructura vial (<https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-human-settlements-programme/>)

ONU-Hábitat, se plantea una Nueva Agenda Urbana, con objetivos y metas bien definidas para hacer frente al crecimiento urbano y a la complejidad que implica.

“La Nueva Agenda Urbana presenta un cambio de paradigma basado en la ciencia de las ciudades; establece normas y principios para la planificación, construcción, desarrollo, gestión y mejora de las zonas urbanas en sus cinco pilares de aplicación principales: políticas urbanas nacionales, legislación y normativas urbanas, planificación y diseño urbano, economía local y finanzas municipales e implementación local. Es un recurso para que se realice ese ideal común desde todos los niveles de gobierno, de nacional a local, las organizaciones de la sociedad civil, el sector privado, las agrupaciones de partes interesadas y todas las personas que consideran que los espacios urbanos del mundo son su "hogar".

Dentro de ese marco, la movilidad es abordada estableciendo los siguientes objetivos:

- De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad avanzada (11.2)
- De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles, de los asentamientos humanos en todos los países (11.3).

Nueva Agenda Urbana es vinculantes y obliga a México a sumir compromisos en el ámbito de la planeación urbana para impulsar los objetivos ahí establecidos. Algunos Municipios e instituciones como el INFONAVIT han formado alianzas orientados a cumplir con los objetivos de esta agenda.

## 3.2 Normativa nacional. Ley general de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y urbano<sup>4</sup>(LGAHOTU)

La ley más importante para el problema que nos ocupa y vigente es la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Urbano (LGAHOTU) que fija las normas básicas e instrumentos de gestión de observancia general, para ordenar el uso del territorio y los Asentamientos Humanos en el país, con pleno respeto a los derechos humanos, así como el cumplimiento de las obligaciones que tiene el Estado para promoverlos, respetarlos, protegerlos y garantizarlos plenamente, según se consigna en ese documento, y que se constituye con Trece Títulos, cada uno subdividido en Artículos, en Capítulos y desglosado en incisos. Y aunque por las limitaciones de este trabajo no analizaremos todo y cada uno de ellos, si se ofrece una enumeración de sus Títulos para dar una idea general de su contenido y aunque esta ley es referencia obligada con todos sus contenidos, aquí se resaltan los contenidos específicos que directamente ayudan a articular el estudio y a configurar el modelo aplicado a la zona de Naucalpan.

Los Trece Títulos de la Ley, de manera general nos permiten hacernos una idea de su contenido, son:

- PRIMERO: Disposiciones generales;
- SEGUNDO: De la concurrencia entre órdenes de gobierno, coordinación y concertación;
- TERCERO: Órganos deliberativos y auxiliares;
- CUARTO: Sistema de planeación del ordenamiento territorial, desarrollo urbano y metropolitano;
- QUINTO: De las regulaciones de la propiedad en los centros de población;
- SEXTO: Resiliencia urbana (Prevención y reducción de riesgos);
- SÉPTIMO: De la movilidad;
- OCTAVO: Instrumentos normativos y de control;
- NOVENO: Gestión e instrumentos de suelo para el desarrollo urbano;
- DÉCIMO: Instrumentos para el financiamiento del desarrollo urbano;
- DÉCIMO PRIMERO: Instrumentos de participación democrática y transparencia;
- DÉCIMO SEGUNDO: Instrumentos de fomento (Del fomento al desarrollo urbano) y;
- DÉCIMO TERCERO: De la denuncia ciudadana y las sanciones.

Entre las definiciones que contiene la ley y que resultan importantes para este trabajo, destacamos los conceptos de *movilidad y de espacio público*, así como la relación entre ambos.

El Espacio Público se define como las áreas, espacios abiertos o predios de los asentamientos humanos destinados al uso, disfrute o aprovechamiento colectivo, de acceso generalizado y libre tránsito (XVIII). Mientras que la Movilidad queda establecida como: La capacidad, facilidad y eficiencia de tránsito o desplazamiento de las personas y bienes en el territorio, priorizando la accesibilidad universal, así como la sustentabilidad de la misma

En el capítulo correspondiente a los Principios, la citada ley establece como procesos, en su artículo 4to, La planeación, regulación y gestión de los asentamientos humanos, Centros de Población y la ordenación territorial, párrafo I. Derecho a la ciudad:

---

<sup>4</sup> Nueva Ley Diario Oficial de la Federación 28-11-2016

Garantizar a todos los habitantes de un Asentamiento Humano o Centros de Población el acceso a la vivienda, infraestructura, equipamiento y servicios básicos, a partir de los derechos reconocidos por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y los tratados internacionales suscritos por México en la materia;

párrafo VI, reconoce el principio de Productividad y Eficiencia donde:

Fortalecer la productividad y eficiencia de las ciudades y del territorio como eje del Crecimiento económico, a través de la consolidación de redes de vialidad y Movilidad, energía y comunicaciones, creación y mantenimiento de infraestructura productiva, equipamientos y servicios públicos de calidad.

En el párrafo VII, De Protección y progresividad del Espacio Público:

Crear condiciones de habitabilidad de los espacios públicos, como elementos fundamentales para el derecho a una vida sana, la convivencia, recreación y seguridad ciudadana que considere las necesidades diferenciada por personas y grupos. Se fomentará el rescate, la creación y el mantenimiento de los espacios públicos que podrán ampliarse, o mejorarse, pero nunca destruirse o verse disminuidos. En caso de utilidad pública, estos espacios deberán ser sustituidos por otros que generen beneficios equivalentes;

En su párrafo X, de Accesibilidad y Movilidad:

Promover una adecuada accesibilidad universal que genere cercanía y favorezca la relación entre diferentes actividades urbanas con medidas como la flexibilidad de Usos del suelo compatibles y densidades sustentables, un patrón coherente de redes viales primarias, la distribución jerarquizada de los equipamientos y una efectiva Movilidad que privilegie las calles completas, el transporte público, peatonal y no motorizado.

En términos de planeación, en el Capítulo Séptimo, de Planes y Programas Municipales de Desarrollo Urbano, en el Artículo 41:

Las entidades federativas y los municipios promoverán la elaboración de programas parciales y polígonos de actuación que permitan llevar a cabo acciones específicas para el Crecimiento, Mejoramiento y Conservación de los Centros de Población, para la formación de conjuntos urbanos y barrios integrales.

Dichos programas parciales serán regulados por la legislación estatal y podrán integrar los planteamientos sectoriales del Desarrollo Urbano, en materias tales como: centros históricos, Movilidad, medio ambiente, vivienda, agua y saneamiento, entre otras.

En el Artículo 59:

Corresponderá a los municipios formular, aprobar y administrar la Zonificación de los Centros de

### Población ubicados en su territorio...

La Zonificación Primaria, con visión de mediano y largo plazo, deberá establecerse en los programas municipales de Desarrollo Urbano, en congruencia con los programas metropolitanos en su caso, en la que se determinarán:

III. La red de vialidades primarias que estructure la conectividad, la Movilidad y la accesibilidad universal, así como a los espacios públicos y equipamientos de mayor jerarquía; ...

V. La identificación y las medidas necesarias para la custodia, rescate y ampliación del Espacio Público, así como para la protección de los derechos de vía; ...

\*\*Las normas y disposiciones técnicas aplicables para el diseño o adecuación de Destinos específicos tales como para vialidades, parques, plazas, áreas verdes o equipamientos que garanticen las condiciones materiales de la vida comunitaria y la Movilidad; ...

La Zonificación Secundaria se establecerá en los planes o programas municipales de Desarrollo Urbano de acuerdo a los criterios siguientes:

I. En las Zonas de Conservación se regulará la mezcla de Usos del suelo y sus actividades, y

II. En las zonas que no se determinen de Conservación:

a) Se considerarán compatibles y, por lo tanto, no se podrá establecer una separación entre los Usos de suelo residenciales, comerciales y centros de trabajo, siempre y cuando éstos no amenacen la seguridad, salud y la integridad de las personas, o se rebasen la capacidad de los servicios de agua, drenaje y electricidad o la Movilidad;

b) Se deberá permitir la Densificación en las edificaciones, siempre y cuando no se rebase la capacidad de los servicios de agua, drenaje y electricidad o la Movilidad.

c) Se garantizará que se consolide una red coherente de vialidades primarias, dotación de espacios públicos y equipamientos suficientes y de calidad.

El objetivo fundamental de la movilidad sustentable es, al final, garantizar en un contexto de facilidad, la accesibilidad a los lugares en iguales condiciones a todas las personas. En ese sentido, es primordial la interpretación del ordenamiento de los asentamientos humanos a partir de la movilidad como eje de la observación de la problemática y la determinación de estrategias de acción de ordenamiento.

En el Título Séptimo de la Movilidad, en el Artículo 70, se contempla la preferencia en la movilidad, la Accesibilidad Universal para las personas de capacidades diferentes:

Para la accesibilidad universal de los habitantes a los servicios y satisfactores urbanos; las políticas de Movilidad deberán asegurar que las personas puedan elegir libremente la forma de trasladarse a fin de acceder a los bienes, servicios y oportunidades que ofrecen sus Centros de Población.

Las políticas y programas para la Movilidad será parte del proceso de planeación de los Asentamientos Humanos.

La interrelación inherente e inequívoca de la movilidad, la accesibilidad, los usos de suelo, la red vial, el espacio público y la multimodalidad, en el Artículo 71, establece las políticas y programas de Movilidad que deberán:

- I. Procurar la accesibilidad universal de las personas, garantizando la máxima interconexión entre vialidades, medios de transporte, rutas y destinos, priorizando la movilidad peatonal y no motorizada;
- II. Fomentar la distribución equitativa del Espacio Público de vialidades que permita la máxima armonía entre los diferentes tipos de usuarios;
- III. Promover los Usos del suelo mixtos, la distribución jerárquica de equipamientos, favorecer una mayor flexibilidad en las alturas y densidades de las edificaciones y evitar la imposición de cajones de estacionamiento;
- VI. Implementar políticas y acciones de movilidad residencial que faciliten la venta, renta, o intercambio de inmuebles, para una mejor interrelación entre el lugar de vivienda, el empleo y demás satisfactores urbanos, tendientes a disminuir la distancia y frecuencia de los traslados y hacerlos más eficientes;
- VII. Establecer políticas, planes y programas para la prevención de accidentes y el Mejoramiento de la infraestructura vial y de Movilidad;

En el proceso de planeación, el diagnóstico de la problemática, en el Artículo 72,

La Federación, las entidades federativas, los municipios y las Demarcaciones Territoriales, en el ámbito de sus competencias, establecerán los instrumentos y mecanismos para garantizar el tránsito a la Movilidad, mediante:

- I. El diagnóstico, información, seguimiento y evaluación de las políticas y programas de Movilidad, incorporando entre otras, la perspectiva de género;
- II. La gestión de instrumentos en la materia, tales como: cargos por congestión o restricciones de circulación en zonas determinadas; infraestructura peatonal, ciclista o de pacificación de tránsito; sistemas integrados de transporte; zonas de bajas o nulas emisiones; cargos y prohibiciones por estacionamientos en vía pública; estímulos a vehículos motorizados con baja o nula contaminación; restricciones de circulación para vehículos de carga y autos; tasas diferenciadas del impuesto de la tenencia que consideren la dimensión o características de los vehículos motorizados, entre otros,

En la concepción de las estrategias en materia de movilidad, el Artículo 73, argumenta:

La Federación, las entidades federativas, los municipios y las Demarcaciones Territoriales deberán promover y priorizar en la población la adopción de nuevos hábitos de Movilidad urbana sustentable y prevención de accidentes encaminados a mejorar las condiciones en que se realizan los desplazamientos de la población, lograr una sana convivencia en las calles, respetar el desplazamiento del peatón y su preferencia, prevenir conflictos de tránsito, desestimular el uso del automóvil particular, promover el uso intensivo del transporte público y no motorizado y el reconocimiento y respeto a la siguiente jerarquía: personas con movilidad limitada y peatones, usuarios de transporte no motorizado, usuarios del servicio de transporte público de pasajeros, prestadores del servicio de transporte público de pasajeros, prestadores del servicio de transporte de carga y usuarios de transporte particular.

Para el tratamiento específico del Espacio público como eslabón en la armonía entre los usos de suelo, la movilidad cotidiana y la multimodalidad de los desplazamientos de la población, el TÍTULO OCTAVO, INSTRUMENTOS NORMATIVOS Y DE CONTROL, el Artículo 74 determina:

La creación, recuperación, mantenimiento y defensa del Espacio Público para todo tipo de usos y para la Movilidad, es principio de esta Ley y una alta prioridad para los diferentes órdenes de gobierno, por lo que en los procesos de planeación urbana, programación de inversiones públicas, aprovechamiento y utilización de áreas, polígonos y predios baldíos, públicos o privados, dentro de los Centros de Población, se deberá privilegiar el diseño, adecuación, mantenimiento y protección de espacios públicos, teniendo en cuenta siempre la evolución de la ciudad.

Los planes o programas municipales de Desarrollo Urbano, de conurbaciones y de zonas metropolitanas definirán la dotación de Espacio Público en cantidades no menores a lo establecido por las normas oficiales mexicanas aplicables. Privilegiarán la dotación y preservación del espacio para el tránsito de los peatones y para las bicicletas, y criterios de conectividad entre vialidades que propicien la Movilidad; igualmente, los espacios abiertos para el deporte, los parques y las plazas de manera que cada colonia, Barrio y localidad cuente con la dotación igual o mayor a la establecida en las normas mencionadas.

Los planes o programas municipales de Desarrollo Urbano incluirán los aspectos relacionados con el uso, aprovechamiento y custodia del Espacio Público, contemplando la participación social efectiva a través de la consulta, la opinión y la deliberación con las personas y sus organizaciones e instituciones, para determinar las prioridades y los proyectos sobre Espacio Público y para dar seguimiento a la ejecución de obras, la evaluación de los programas y la operación y funcionamiento de dichos espacios y entre otras acciones, las siguientes:

- I. Establecer las medidas para la identificación y mejor localización de los espacios públicos con relación a la función que tendrán y a la ubicación de los beneficiarios, atendiendo las normas nacionales en la materia;
- II. Crear y defender el Espacio Público, la calidad de su entorno y las alternativas para su expansión;
- III. Definir las características del Espacio Público y el trazo de la red vial de manera que ésta garantice la conectividad adecuada para la Movilidad y su adaptación a diferentes densidades en el tiempo;

Respecto al uso, aprovechamiento y custodia del Espacio Público, el Artículo 75, se sujetará a lo siguiente:

- I. Prevalecerá el interés general sobre el particular;
- II. Se deberá promover la equidad en su uso y disfrute;
- III. Se deberá asegurar la accesibilidad universal y libre circulación de todas las personas, promoviendo espacios públicos que sirvan como transición y conexión entre barrios y fomenten la pluralidad y la cohesión social;
- IV. En el caso de los bienes de dominio público, éstos son inalienables;
- V. Se procurará mantener el equilibrio entre las áreas verdes y la construcción de la infraestructura, tomando como base de cálculo las normas nacionales en la materia;
- VI. Los espacios públicos originalmente destinados a la recreación, el deporte y zonas verdes destinados a parques, jardines o zonas de esparcimiento, no podrán ser destinados a otro uso;
- VII. Los instrumentos en los que se autorice la ocupación del Espacio Público solo confiere a sus titulares el derecho sobre la ocupación temporal y para el uso definido;
- VIII. Se promoverá la adecuación de los reglamentos municipales que garanticen comodidad y seguridad en el Espacio Público, sobre todo para los peatones, con una equidad entre los espacios edificables y los no edificables;

IX. Se deberán definir los instrumentos, públicos o privados, que promuevan la creación de espacios públicos de dimensiones adecuadas para integrar barrios, de tal manera que su ubicación y beneficios sean accesibles a distancias peatonales para sus habitantes;

X. Se establecerán los lineamientos para que el diseño y traza de vialidades en los Centros de Población asegure su continuidad, procurando una cantidad mínima de intersecciones, que fomente la Movilidad, de acuerdo a las características topográficas y culturales de cada región;

XI. Se deberá asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, la calidad formal e imagen urbana, la Conservación de los monumentos y el paisaje y mobiliario urbano, y

XII. En caso de tener que utilizar suelo destinado a Espacio Público para otros fines, la autoridad tendrá que justificar sus acciones para dicho cambio en el uso de suelo, además de sustituirlo por otro de características, ubicación y dimensiones similares.

Aunado a lo anterior se expone los aspectos generales de los diferentes niveles de planeación incluyendo la planeación urbana hasta el caso específico de Naucalpan de Juárez en el Estado de México.

### 3.3 Los planes estatales/municipales de planeación urbana, en el caso específico de la zona la Cúspide<sup>5</sup> en Naucalpan de Juárez en el Estado de México.

En el ámbito nacional, el eje dominante de la planeación en México se genera a partir del Plan Nacional de Desarrollo que surgió bajo el gobierno de Miguel de la Madrid para el periodo 1983 al 1988, sin embargo, este plan tiene como antecedente histórico Plan Sexenal elaborado bajo el Gobierno de Lazara Cárdenas del Rio en el periodo 1934 al 1940.

La referencia legal y fundamental de los Planes de Desarrollo Nacional se encuentra en el artículo 26 de la Constitución Política y también debe sustentarse en la ley de planeación y los artículos 9 y del 27 al 42 de la Ley Orgánica Administración Pública Federal. Esto por una parte y por la otra, existe el Plan de Desarrollo Regional que subdivide el país para enfrentar problemas de una manera más eficiente que la planeación a nivel nacional. Porque en general los problemas no se circunscriben de manera puntual a la delimitación de estados y municipios.

La planeación nacional también se constituye con los planes programas sectoriales y especiales y que necesariamente deben apegarse al Plan Nacional de Desarrollo que coordina la Secretaria de Gobernación, en el cual se establecen objetivos alineados con el cumplimiento de metas. A su vez y para el caso que nos ocupa tomamos como referencia el Plan Estatal de Desarrollo.

En principio el Plan Estatal de Desarrollo está alineado con el Plan de Desarrollo Nacional al igual que los Planes de Desarrollo Regional, Sectorial y Especial, pero cuenta con la peculiaridad de enfocarse en los problemas propios del Estado. A su vez el Plan de Desarrollo Municipal se encuentra alineado con el Plan de Desarrollo Estatal y debe cumplir con la mitigación de diversos problemas y fortalecer el crecimiento económico, social y ambiental.

---

<sup>5</sup> La zona urbana conocida como la Cúspide en el municipio de Naucalpan de Juárez

De la misma forma el Plan de Desarrollo Municipal deslinda responsabilidad a sus respectivas secretarías para realizar planeación de acuerdo a sus jurisdicciones y en el caso que nos ocupa es dentro de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Metropolitano quien asume la planeación de los proyectos viales.

En el cuadro siguiente se pretende mostrar la jerarquización de las leyes y normas a las que ha de sujetarse la planeación urbana en el ámbito municipal y esféricamente dentro del estado de México.

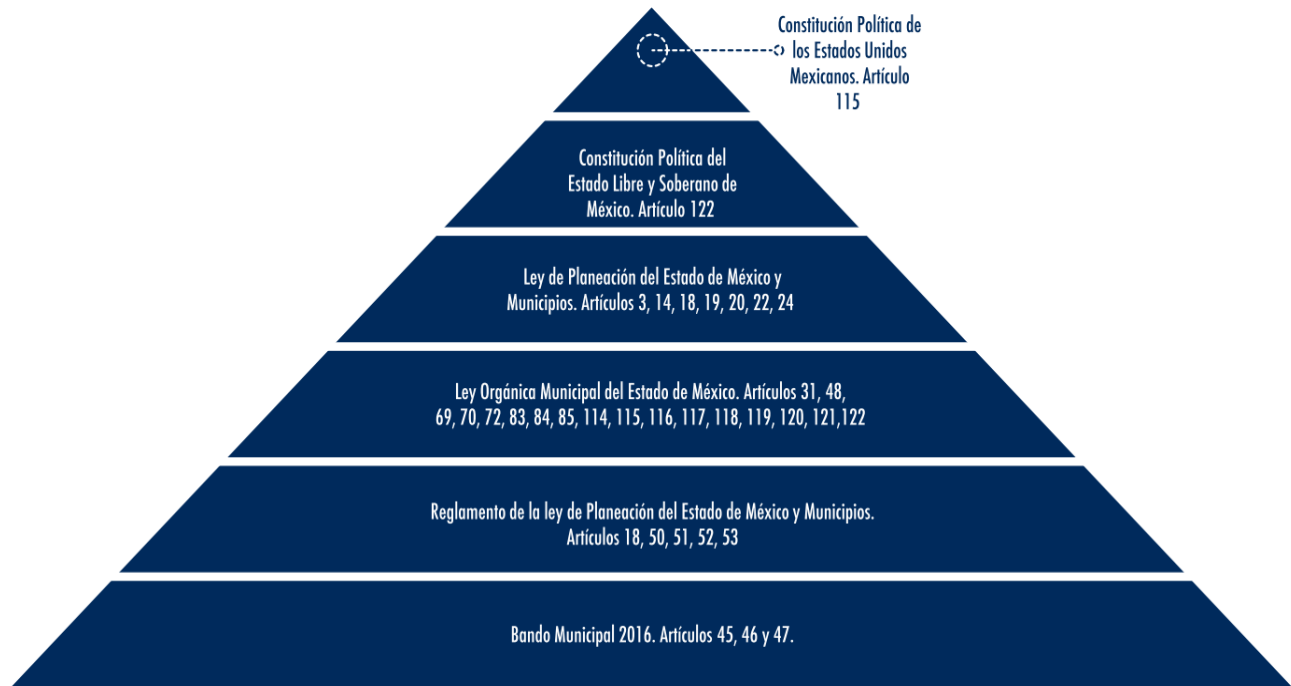


Diagrama 3 - Marco legal de la Planeación Municipal (Naucalpan de Juárez, 2016).

Una considera los aspectos que normal la planeación urbana es necesario considerar los referentes a la ley de movilidad del Estado de México cuyo principal referente es la Ley de Movilidad del Estado de México y es punto de arranque para realizar una propuesta de solución mediante un modelo de infraestructura vial para el caso de la zona la Cúspide.



## Capítulo 4.- Proyecto Fotogramétrico y BIM para la infraestructura vial.

El recorrido del método de la fotogrametría, el BIM y el contexto del marco legal de la planeación se ha dirigido a fundamentar los elementos necesarios a considerar para el estudio específico de este trabajo, que es, fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados en la planeación de infraestructura vial, a partir del modelado de la construcción (BIM) en la zona La Cúspide, Naucalpan de Juárez, Estado de México.

En este capítulo se desarrolla: 1) método de trabajo; 2) delimitación espacial; 3) plan de vuelo; 4) producción y edición de la información; todo lo cual concurre y culmina con 5) diseño conceptual tridimensional en BIM como propuesta de una tecnología y técnica específica para la planeación y propuesta de solución vial en la zona la Cúspide.

Esta zona presenta complicaciones para el levantamiento de la información mediante técnicas tradicionales como la topografía y es debido al costos que implican el recolectar la información en una zona tan extensa (1/2 km<sup>2</sup>) y los riesgos que se corren por estar en una vialidad muy transitada y con tiempos de recolección de la información mayores a los métodos con fotogrametría.

Por lo consecuente los tiempos de trabajo de planeación de la infraestructura vial pueden apoyarse en el uso de tecnologías que permiten la captura masiva de datos en tiempos muy cortos y con recursos limitados como es este el caso. Esto propicio la búsqueda y selección de un vehiculó aéreo no tripulado y de programas especializados para la captura, edición y manejo de los datos que son descritos más adelante en el este capítulo.

En cuanto al uso de los drones en la última década ha permitido explorar y adaptar cámaras digitales de alta gama y receptor GPS, que permiten realizar capturas de fotografías profesionales georreferenciadas. En consecuencia y en específico, la técnica de la fotogrametría y el proceso de su interpretación se logren en menores tiempos de trabajo y obteniendo inclusive el modelo digital de la edificación o infraestructura. Dicha información digital permite a los equipos multidisciplinarios puedan participar en la planeación de las ingenierías básicas como las de detalles, en un contexto de flujo de comunicaciones a partir de una misma base de información o BIM.

Por otro lado, es muy común el uso de la fotogrametría a partir de vuelo con drones para realizar seguimiento de obras e integrarlo como pruebas de la realidad y del avance en los proyectos de infraestructura para integrarlos a BIM, pero son escasos nulos los proyectos que usen la fotogrametría para la planeación de futuras obras y en particular las viales.

Es por eso que dentro de los diversos programas y compañías que los comercializan para los lograr los objetivos de documento se propone utilizar InfraWorks debido a que cuenta con un conjunto completo de herramientas de diseño especializados, incluye un generador de modelos, o bien puedes generar un modelo desde cero además de compartirlos con los colaboradores externos e internos de diferentes equipos multidisciplinarios en diferentes países y zonas horarias.

Por estos motivos propongo para el siguiente apartado el siguiente flujo de trabajo.

## 4.1 Método de trabajo

El primer objetivo es identificar la gravedad de la situación y es por tal motivo que se propone realizar un diagnóstico vial en la zona la Cúspide – Lomas Verdes, Naucalpan Estado de México en el 2019 y para identificar problemas actuales y con ello realizar un adecuado plan de vuelo fotogramétrico para generar un modelo tridimensional de la realidad para después realizar una planeación vial en BIM y generar un modelo conceptual de una infraestructura. Este método de trabajo lo resumo en el siguiente en el diagrama 4.

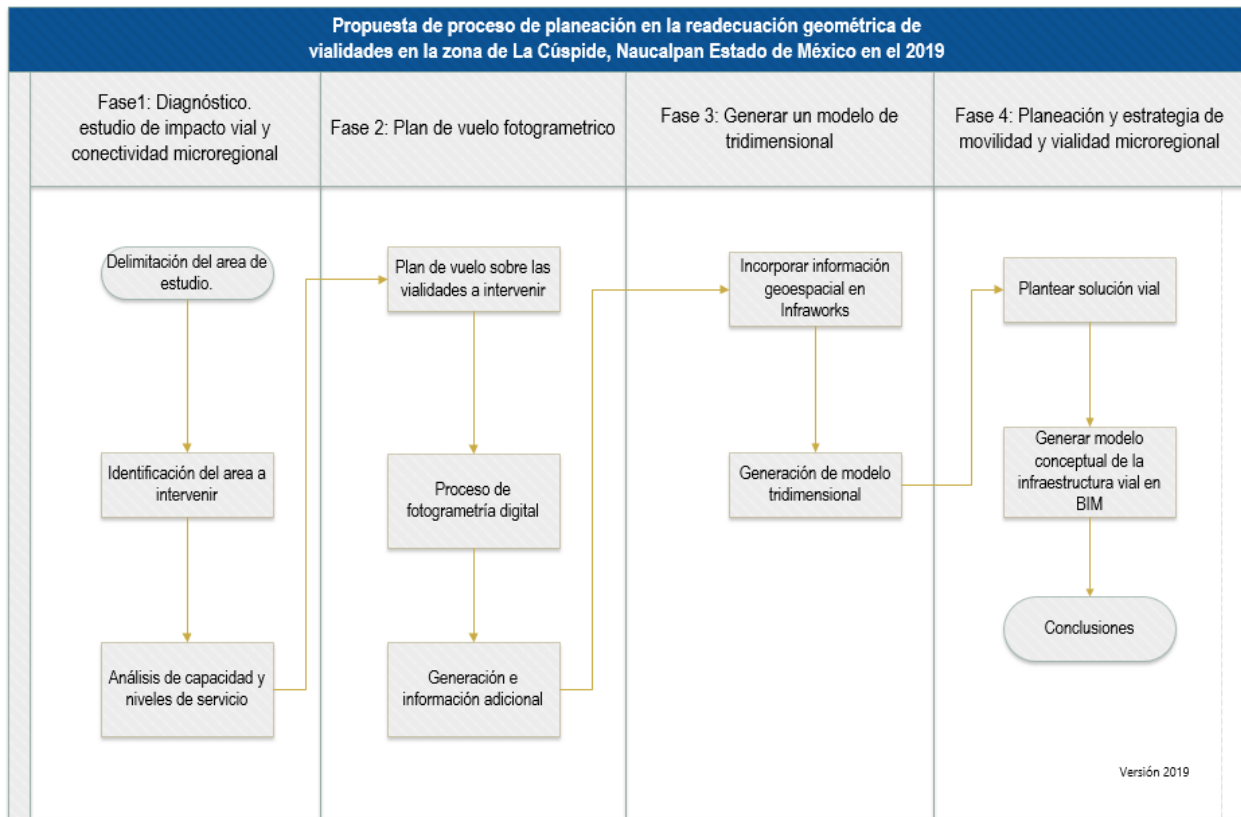


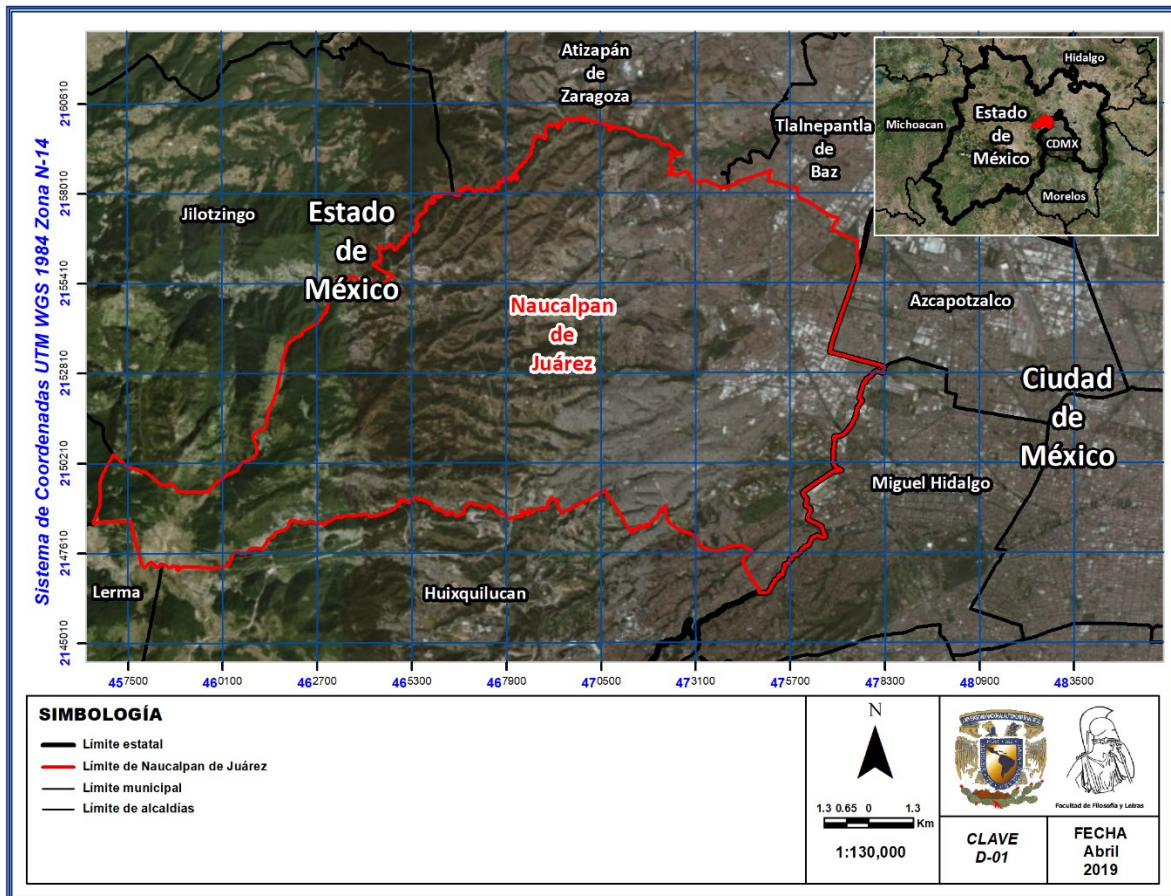
Diagrama 4 - Propuesta de proceso de planeación en la readecuación geométrica de vialidades en la zona de la cúspide, Nuacalpan Estado de México en el 2019.

## 4.2 Delimitación espacial

El municipio de Naucalpan de Juárez forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) la cual está integrada por Alcaldías de la Ciudad de México, municipios conurbados del Estado de México y municipios del Estado de Hidalgo.

El municipio de Naucalpan de Juárez, tiene una extensión territorial de 156.9 km<sup>2</sup>, siendo el 0.7% de la superficie total del Estado de México de acuerdo con INEGI, sus colindancias son contiguas a municipios del mismo Estado y Alcaldías de la Ciudad de México.; Al Norte: Atizapán de Zaragoza; Noroeste: Tlalnepantla de

Baz; Este: Alcaldía Azcapotzalco; Sr Este: Alcaldía Miguel Hidalgo; Sur: municipio de Huixquilucan; Sur Oeste: municipio de Lerma y Xonacatlán y al Oeste Jilotzingo.



Mapa 1 - Localización municipal (Elaboración propia en Arcmap 10.5).

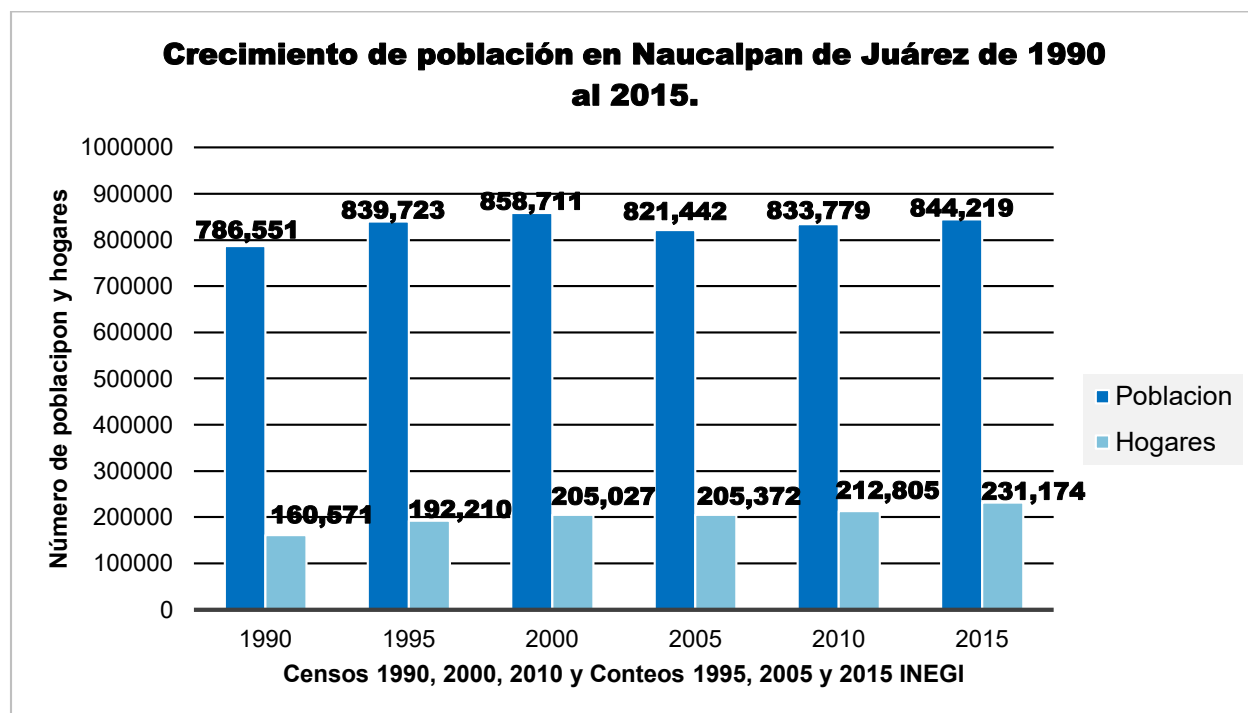
#### 4.2.1 Características generales del municipio de Naucalpan de Juárez y de la Zona de la Cúspide.

En el territorio del municipio de Naucalpan de Juárez y de acuerdo a los propios datos del municipio, predomina el clima templado el cual se divide en tres subtipos que se diferencian por el grado de humedad y temperatura: El templado sub húmedo predomina en el 47 % ciento del territorio, en la parte central prevalece el templado subhúmedo con un cociente de humedad mayor y lluvias en verano, en la región oeste es semifrío subhúmedo con lluvias en verano y en la zona sur este la zona de mayores pendientes, el clima es semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad.

El último Censo de Población y Vivienda fue en el 2010 por parte de INEGI y registro para el municipio de Naucalpan de Juárez una población de 833,779 habitantes, de los cuales 405,047 son hombres y 428,735 son mujeres, con una densidad de 5,355 habitantes por kilómetro cuadrado. En respecto a la población del Estado de México que son 15,175.862 habitantes, al municipio le corresponde 5.50 % de la población total del Estado

de México, aun así, es el tercer municipio más poblado del Estado de México, después de los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec de Morelos.

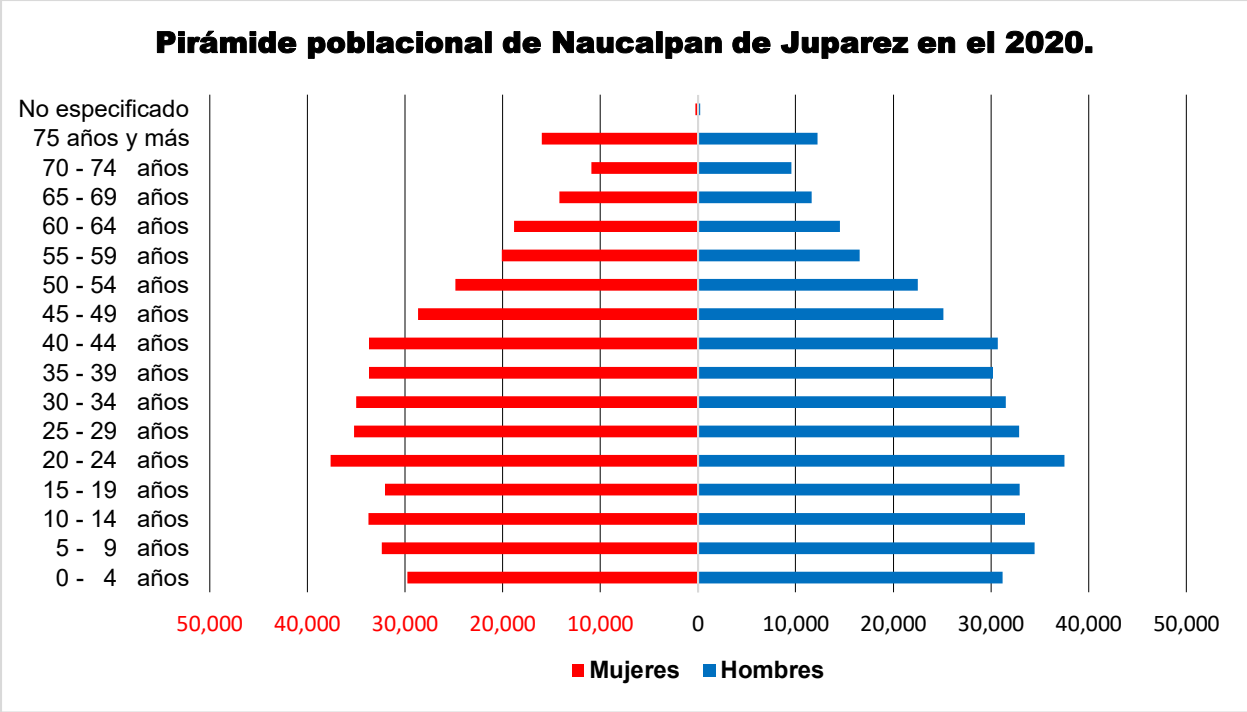
En cuanto a su dinámica poblacional se puede apreciar el crecimiento general de la población a lo largo de 15 años, aunque se registró una disminución en el año 2005, pero una recuperación para los siguientes años, y en la actualidad a partir de estimaciones propias se considera que en el año 2020 se presentara una población de 855,265 y 234,265 hogares.



Gráfica 1 - Crecimiento de población y hogares en Naucalpan de Juárez de 1990 al 2015 (Elaboración propia con datos INEGI).

Además, la pirámide población por edad en el municipio de Naucalpan de Juárez presenta en la parte inferior un descenso en la natalidad y un envejecimiento continuo de su población, sin embargo, la parte estable de la pirámide corresponde al conjunto de edades más productivas económicamente, por último, en la parte superior de la gráfica un descenso rápido de la población adulta mayor, siendo una perspectiva que corresponde a los países subdesarrollados. (Grafica 2).

En el caso específico del El Distrito Lomas Verdes se ubica al noroeste del área urbana y tiene actualmente una población aproximada de 33,300 habitantes de acuerdo con el Censo INEGI 2010. El 62% del total de la superficie del Distrito tiene uso habitacional de densidad media y una densidad bruta de población de 52.50 hab/has (habitantes por hectárea), los mayores porcentajes corresponden a usos habitacionales de densidad media y baja, como, H.125.A, H. 200.A, H.250.A, y H.300.A, así como centros urbanos de alta intensidad

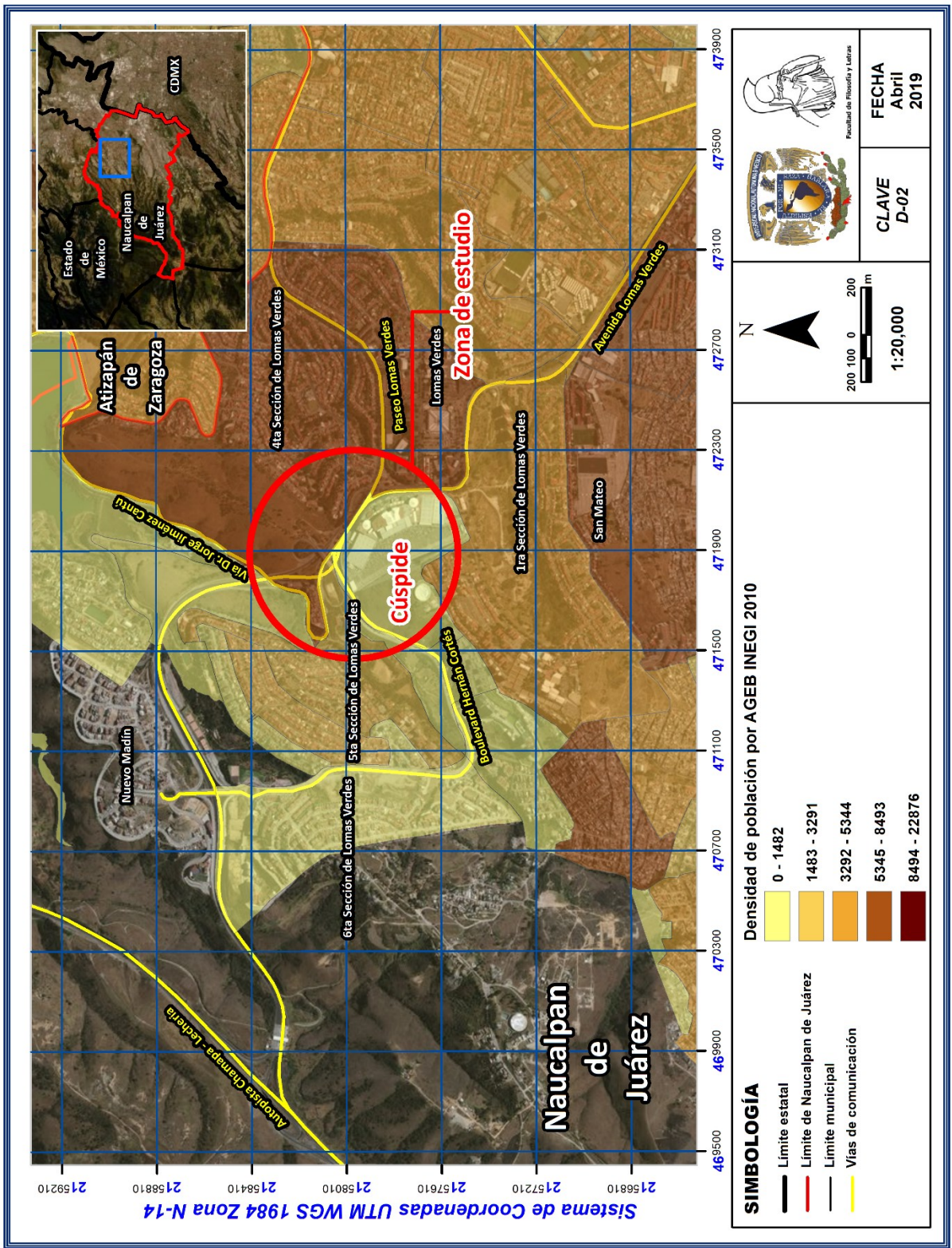


Gráfica 2 - Pirámide poblacional de Naucalpan de Juárez en el 2020 (Elaboración y estimación propia con datos INEGI).

El Distrito San Mateo se ubica al noroeste del área urbana y tiene actualmente una población aproximada de 22,690 habitantes. La densidad bruta de población es de 120.54 habitantes por Has., con el uso habitacional y comercio básico integrado a la vivienda, normado con las claves del uso del suelo H.200.B, H.333.B y H.333.C y, en menor proporción, con el de vivienda sin mezcla de usos con claves H.250.A, H.300.A y H.500.A.

Las AGEB's presentan una distribución de la población las áreas de menor a mayor densidad de población, se observa, que la parte Sureste y central del mapa 2 es la de mayor densidad con color café oscuro y corresponde principalmente a las áreas habitacionales, con mezcla de usos, en donde se encuentran los corredores, centros urbanos, con mayores servicios y equipamiento. En contraste la zona noroeste con menor densidad habitacional en café claro, corresponde a los límites poniente del distrito, zonas que aún están en desarrollo y con terrenos baldíos.

En consiguiente, como podemos ver en el mapa 2, existen zonas que se han desarrollado desde el 2010, están en proceso de desarrollo o propensas a ser desarrolladas principalmente las zonas Norte y Oeste, por lo tanto, el crecimiento de población ocasionara un incremento en la demanda de servicios.



Mapa 2 – Densidad de población (Elaboración propia en Arcmap 10.5).

#### *4.2.2 Diagnóstico de la situación vial y los niveles de servicio en la zona de la Cúspide*

En la zona de la Cúspide conecta por un cruceo vial de carácter regional-metropolitano conformado al Noroeste por la Autopista Chamapa Lechería, el Boulevard Hernán Cortés y la Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú, del lado Sureste Paseo Lomas Verdes y Avenida Lomas verdes (véase mapa 3), este cruceo crea un embudo para los vehículos que transitan en ambas direcciones y como previamente observamos, esta zona presenta un crecimiento de población que demandara mayores servicios incluyendo los viales debido a su desplazamiento de su hogar a centros de trabajo, educación y entretenimiento.

En una desagregación de por tipo de atracción y generador de viajes dentro del municipio de Naucalpan se describen los siguientes:

**Habitacionales:** Las mayores generadoras de origen destino son las regiones de Lomas Verdes, Boulevares, Echegaray, La Florida, Satélite, San Bartolo, Santa Cruz Acatlán, San Juan Totoltepec, Vistas del Valle, Remedios, Huertas, Loma Colorada, Los Cuartos, Chacona, Molinito, San Antonio Zomeyucan, Centenario, San José de los Leones, Valle Dorado, Rio Hondo, Loma Linda, San Agustín, Minas Palacio, San Rafael Chamapa, La Olímpica Radio, Toreo, Lomas de Sotelo y San Esteban, principalmente.

**Comerciales:** Lomas Verdes con el centro comercial “La Cúspide”, en Satélite con la Plaza Satélite, Toreo con “Parque Toreo”, aún en desarrollo urbanístico y arquitectónico y la zona de San Bartolo (Centro de Naucalpan); en importancia secundaria se tiene Echegaray con su zona comercial y de servicios, Boulevares con zona comercial, Primero de Mayo con su zona comercial y de bancos, Rio Hondo con su zona comercial y de servicios y la zona de San Mateo con la Mega Comercial y su plaza comercial, entre otras.

**Recreación y deporte:** Parque Naucalli, la Unidad Cuauhtémoc, Parque Nacional de los Remedios, Cipreses con sus campos de gotcha y actividades al aire libre, Lomas Verdes en el Club Birimbao y Parques, Santiago Tepatlaxco con las grandes extensiones verdes y la zona de San Francisco Chimalpa-Villa Alpina, con grandes extensiones verdes, en zonas populares las colonias que tienen sus canchas y campos de futbol en su mayoría.

**Equipamientos públicos y privados:** De los sistemas de educación y cultura, se tiene la avenida San Mateo con la zona escolar en sus diferentes niveles, Remedios Acatlán con el CCH y la Fes Acatlán y las escuelas públicas y privadas, Lomas Verdes con la Universidad del Valle de México y una serie de equipamientos de educación y cultura de tipo privados desde primaria hasta universidad, Satélite, La Florida, Boulevares y Lomas de Sotelo, entre otras.

**Zonas de trabajo, oficinas e industriales:** Los fraccionamientos industriales de Naucalpan, Alce Blanco, San Andrés Atoto, El Conde, Tlatilco y la Perla, principalmente, las cuales son zonas de industria, oficinas, corporativos, investigación y desarrollo con mezcla de comercio y servicios. También se tiene zona de oficinas en Satélite y Lomas Verdes.

**Poblados rurales:** Pueblo de San Francisco Chimalpa y Santiago Tepatlaxco.

El comportamiento de viajes de esta zona se analiza a partir del distrito 108 Centro Comercial Lomas Verdes – Cerro de Moctezuma, este distrito presenta un total 131,823 viajes entre semana según la Encuesta de Origen Destino Hogares ZMVM 2017 INEGI, de los cuales el 30.7 % de los viajes corresponde a viajes intra distrital, el

70 % restante corresponde a viajes intrer distritales de la Zona Metropolitana del Valle de México, destacando en orden de mayor a menor medida los distritos 109 Cd. Satélite Poniente, 110 CC Cd. Satélite – Industrial Alce Blanco, 105 Fracc. Industrial Naucalpan Poniente, 111 Condados de Atizapán – México Nuevo, 106 Naucalpan de Juárez – Centro y Lomas, 112 Periférico Barrientos – Mundo E, 016 Chapultepec – Polanco, 113 Zonas Industriales Tlalnepantla, 059 Cuajimalpa, 002 Buenavista – Reforma, 107 Las Huertas, 017 Panteones, 103 San José de los Leones y 051 Ciudad Universitaria (véase grafica 3 y mapa 4).

Eliminado los viajes dentro del mismo distrito nos quedan 91,860 viajes a la semana y de acuerdo con el Fideicomiso para el Mejoramiento de Vías de Comunicación del Distrito Federal, en promedio existen 1.7 personas ocupando un mismo vehiculó, por lo tanto, al realizar la operación de división entre ambos valores obtenemos un valor de aproximación de personas que transitan en vehículos por el distrito 108 Centro Comercial Lomas Verdes – Cerro de Moctezuma.

$$Población\ flotante\ semanal\ en\ vehiculos = \frac{viajes\ interdistritales}{ocupación\ promedio\ de\ vehiculo} = \frac{91860}{1.7} = 54,035\ personas$$

Por consiguiente, el cálculo de personas a la semana es la siguiente:

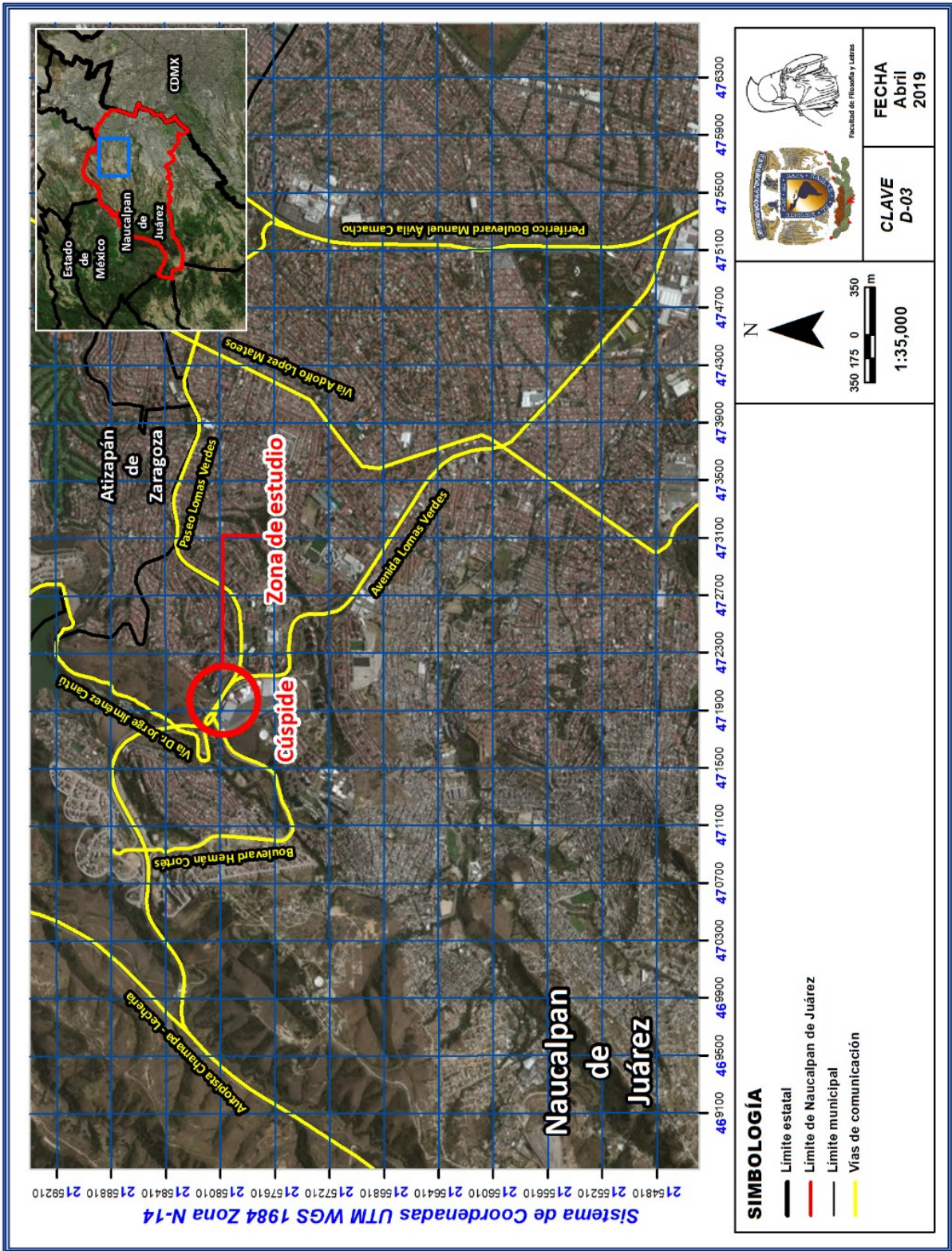
*Promedio de población flotante diaia entre semana en vehiculos*

$$= \frac{54,035\ personas}{5\ días} = 10,807\ personas\ diarias$$

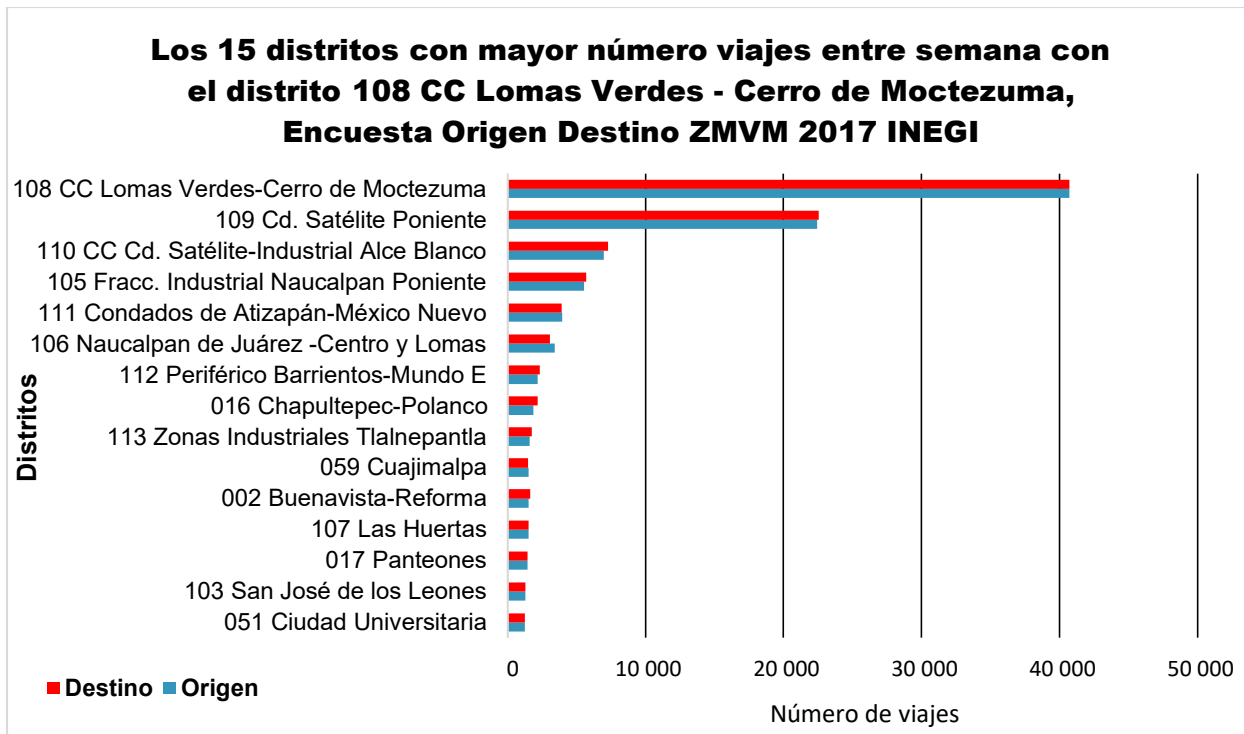
El cálculo anterior nos proporciona un dato para conocer las personas que viajan por la zona de estudio y coincide con el comportamiento de las líneas de deseo y de concentración de viajes en los mapas generados por la Facultad de Ingeniería de UNAM a partir de los datos de la Encuesta Origen Destino 2017-ZMVM INEGI, (véase mapa 4 y 5).

En el caso específico de la zona de estudio se puede apreciar en la ilustración 4, que se caracteriza por tener un nivel alto de demanda de viajes tanto internos como externos, aunque no es de los principales destinos de la zona metropolitana. Sin embargo, su relevancia es claramente visible en el mapa 4, ya que posee impacto en la gran interacción que influye en poniente de la Zona Metropolitana del Valle de México.





Mapa 3 - Zona de estudio (Elaboración propia en Arcmap 10.5).



Gráfica 3 - Los 15 distritos con mayor número de viajes entre semana con el distrito 108 CC Lomas Verdes - Cerro de Moctezuma, Encuesta Origen Destino ZMVM 2017 INEGI (Elaboración propia con datos de la Encuesta Origen Destino Hogares ZMVM 2017 INEGI).

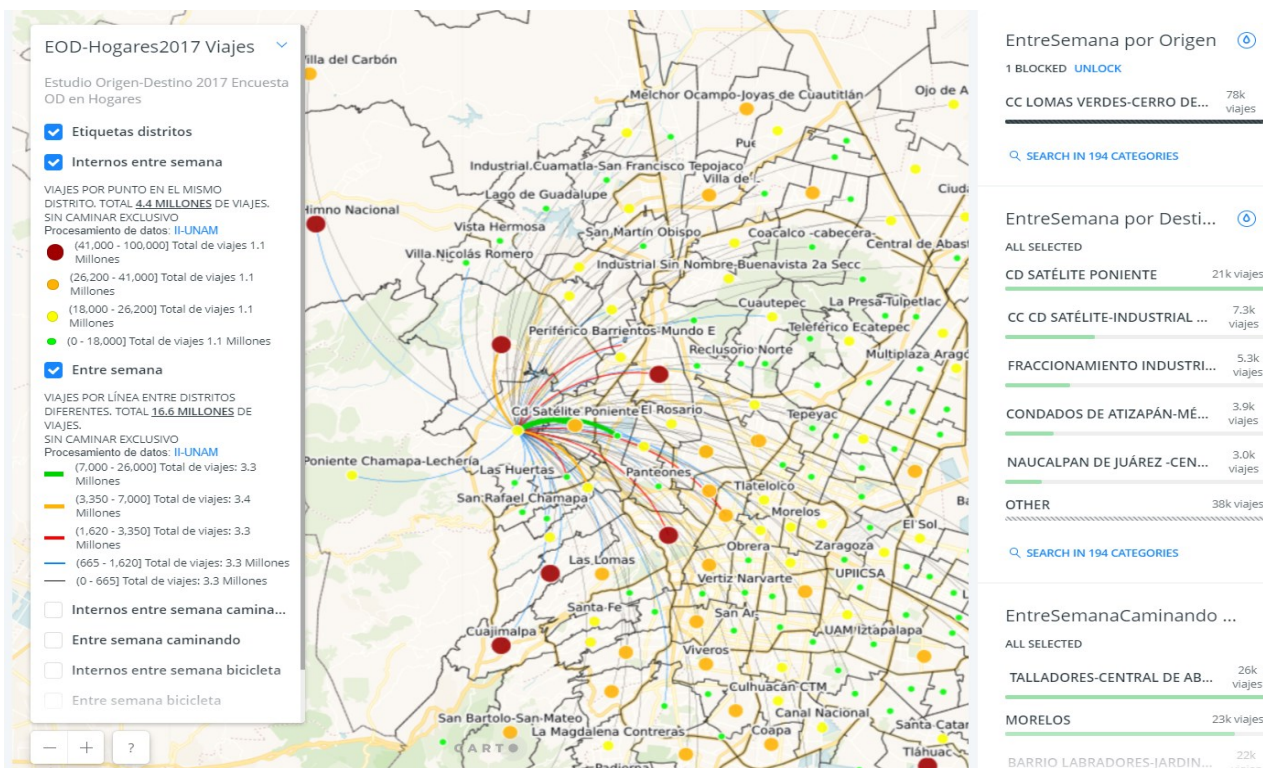
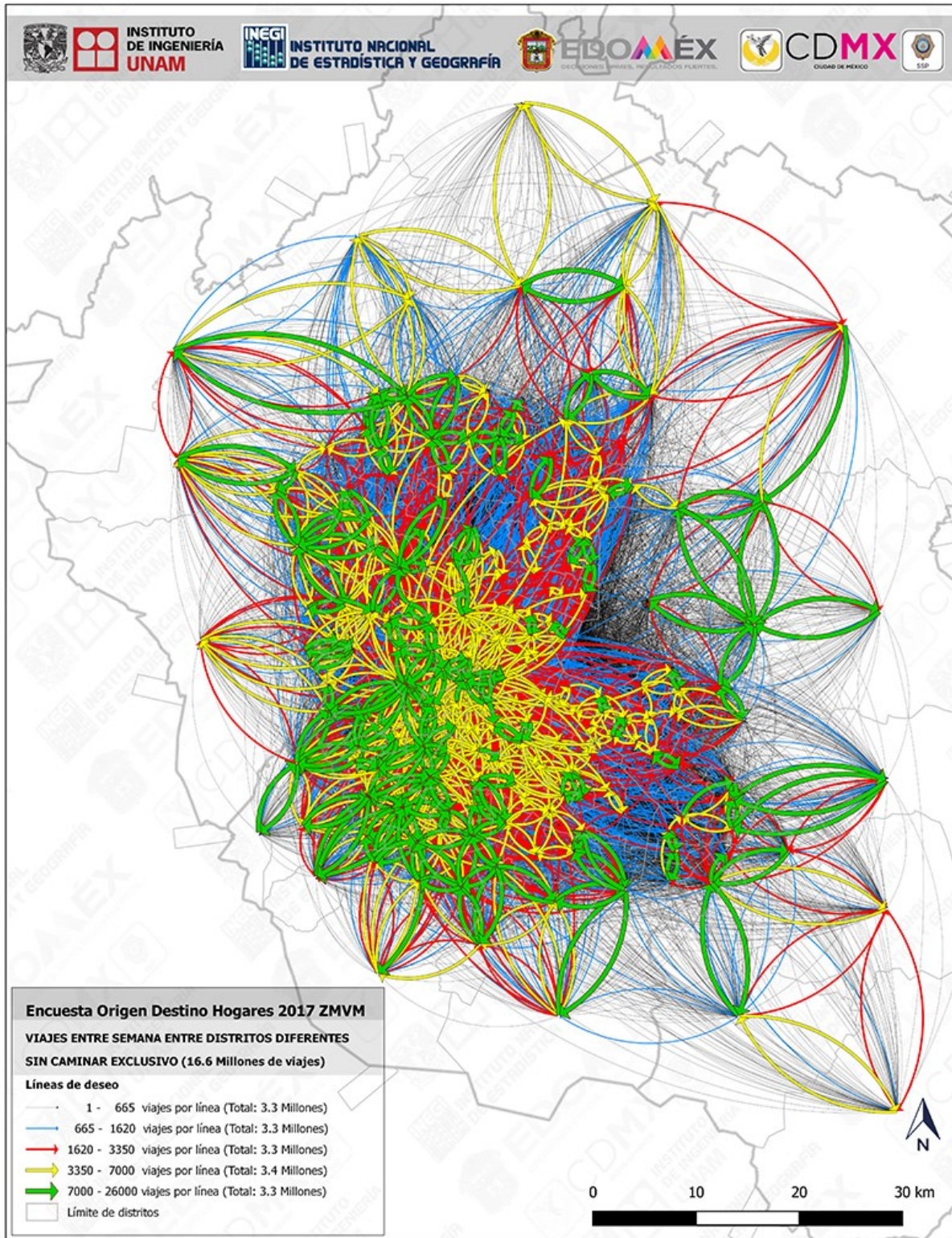


Ilustración 4 - Encuesta Origen Destino Hogares 2017-ZMVM (Elaborado por Instituto de Ingeniería de la UNAM a partir de datos de la Encuesta Origen Destino 2017 INEGI).



Mapa 4 - Encuesta Origen Destino Hogares 2017-ZMVM (Elaborado por Instituto de Ingeniería de la UNAM a partir de datos de la Encuesta Origen Destino 2017 INEGI).

### 4.2.3 Análisis de capacidad y servicio vial

El conocimiento oportuno de la infraestructura vial como sus características, capacidad y servicio, es necesario debido a que nos permite mitigar, solucionar problemas a corto y largo plazo, a partir en primera instancia quien es el responsable legal de cada vía, en nuestro caso solo la Autopista Chamapa - Lechería se encuentra a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el restante de avenidas involucradas se encuentran a cargo del Municipio de Naucalpan de Juárez (véase tabla 3).

<b>Jerarquización de Vialidades</b>		
<b>SENTIDO</b>	<b>NOMBRE DE LA VIALIDAD</b>	<b>TIPO</b>
<b>Norte - Sur</b>	Autopista Chamapa-Lechería	Carretera de cuota a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.)
<b>Oriente - Poniente</b>	Avenida Lomas Verdes	Vialidad primaria a cargo del Municipio de Naucalpan de Juárez
<b>Oriente - Poniente</b>	Paseo Lomas Verdes	Vialidad primaria a cargo del Municipio de Naucalpan de Juárez
<b>Norte - Sur</b>	Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú	Vialidad primaria a cargo del Municipio de Naucalpan de Juárez
<b>Oriente - Poniente</b>	Boulevard Hernán Cortes	Vialidad secundaria a cargo del Municipio de Naucalpan de Juárez

Tabla 3 - Jerarquización de Vialidades (Elaboración propia).

#### 4.2.3.1 Descripción de vialidades

##### *Avenida Lomas Verdes*

La Súper Avenida Lomas Verdes se localiza al poniente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (formada por la Ciudad de México y los municipios conurbados del Estado de México). Dentro del Municipio de Naucalpan de Juárez, teniendo su inicio en la Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú-Anillo Interior Lomas Verdes (Hernán Cortes) donde se conecta con el entronque a la autopista Chamapa-La Venta-Lechería y termina en el Boulevard Manuel Ávila Camacho (Anillo Periférico), dando servicio a fraccionamientos residenciales como son de sur a norte: Santa Cruz Acatlán, Boulevares, Los Álamos, La Alteña, Residencial Lomas Verdes (1ra Sección de Lomas Verdes), Conjunto Comercial Acrópolis, La Concordia (5ta Sección de Lomas Verdes), Lomas Verdes Cuarta Sección, La Cúspide, Sexta Sección de Lomas Verdes, entre otras, a equipamientos privados como son: Universidad del Valle de México, Universidad de Norteamérica, Instituto Ciudad Cumbres, Centro Deportivo “Pielas Rojas” y el Parque Estado de México “Naucalli”, de carácter público.

Es una vialidad primaria por la que fluye un gran número de vehículos automotores al día en ambos sentidos de circulación, en su mayoría vehículos particulares, con doble sentido de circulación, con tendencia oriente-poniente y poniente-oriente, la cual comunica al territorio de Naucalpan de Juárez con la Avenida Dr. Jorge Jiménez Cantú con el territorio de Atizapán de Zaragoza. Su sección transversal es variable, en algunos tramos tienen 2, 3 y hasta 4 carriles de circulación por sentido, y en algunos tramos solo cuenta con carriles laterales en ambos sentidos de circulación, mantiene un camellón central de aproximadamente 3.00 metros y una

sección de 10.50 metros por sentido de circulación. Su trazo longitudinal se desarrolla dentro de una zona denominada “accidental”, localizada esta principalmente al poniente y sur de Naucalpan.

La Avenida Lomas Verdes puede dividirse en tres grandes tramos, el primero tramo localizado entre la Autopista Chamapa-La Venta-Lechería y Avenida Bosque de Lomas Verdes donde tiene dos cuerpos (de dos carriles de circulación por sentido) separados por un camellón central de sección variable, como se muestra en las siguientes fotografías.



Fotografía 1 - Avenida Lomas Verdes en ambas direcciones (Captura propia).

### *Paseo de Lomas Verdes*

Vialidad primaria, inicia en la Avenida Lomas Verdes y termina en los Circuitos Oradores y Dramaturgos (Ciudad Satélite), mantiene un desarrollo con la límite de Atizapán de Zaragoza; tiene 2,306.00 metros, corre de poniente a oriente, con dos cuerpos de circulación separados por un camellón central de aproximadamente 8.00 metros con arroyos de 10.50 metros para 3 carriles de circulación y banquetas de 1.50 metros, para una sección transversal de 34 metros.



Fotografía 2 - Paseo Lomas Verdes en ambas direcciones frente al CC La Cúspide (Captura propia).

### *Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú*

Vialidad primaria “de tipo intermunicipal” la cual inicia o termina en la Avenida Lomas Verdes, corre de sur a norte, en doble sentido de circulación, con una longitud de 1,465 metros, conecta a Lomas Verdes con Atizapán de Zaragoza en su parte comercial y habitacional residencial, así con la Presa Madin, se integra por dos cuerpos de circulación separados por un camellón central de aproximadamente 0.60 metros con arroyos de 7.00 metros de ancho para 2 carriles de circulación. Por esta vialidad se reciben flujos permanentes de Atizapán de Zaragoza que tienen como destino u origen lugares específicos de Naucalpan de Juárez.



Fotografía 3 – Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú en ambas direcciones en la Zona de la Cúspide (Captura propia).

### *Boulevard Hernán Cortes (Anillo Interior Lomas Verdes)*

Vialidad secundaria la cual inicia en la Avenida Lomas Verdes en el distribuidor vial el cual enlaza la Avenida Lomas Verdes y la Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú, a la altura del Centro Comercial “La Cúspide”, circula de oriente a poniente-norte y de norte a sur, en doble sentido de circulación, da accesibilidad y conectividad a los fraccionamientos residenciales de las Secciones V y VI de Lomas Verdes, con dos cuerpos de circulación separados por un camellón central, con arroyos de 10.50 metros de ancho para 3 carriles de circulación por sentido, aunque al cruzar nuevamente la Avenida Lomas Verdes (por medio de un paso a desnivel) tiene 3 carriles por sentido de circulación.

El Anillo Interior Lomas Verdes forma un distribuidor con la Avenida Lomas Verdes, por lo que, el fraccionamiento Residencial Lomas Verdes también denominado Sexta Sección de Lomas Verdes, conecta al entronque de la Carretera -Autopista- Chamapa Lechería.



Fotografía 4 – Boulevard Hernán Cortes en ambas direcciones en la Zona de la Cúspide (Captura propia).

#### 4.2.3.2 Servicio vial

La evolución del servicio vial de esta zona, era de carácter local hasta que se incorporó la salida de la Autopista Chamapa – Lechería, esta salida fue diseñada durante un contexto que no contemplaba el crecimiento habitacional y comercial, como se muestra en la imagen de satélite del 2003 de google Earth (véase imagen 1).

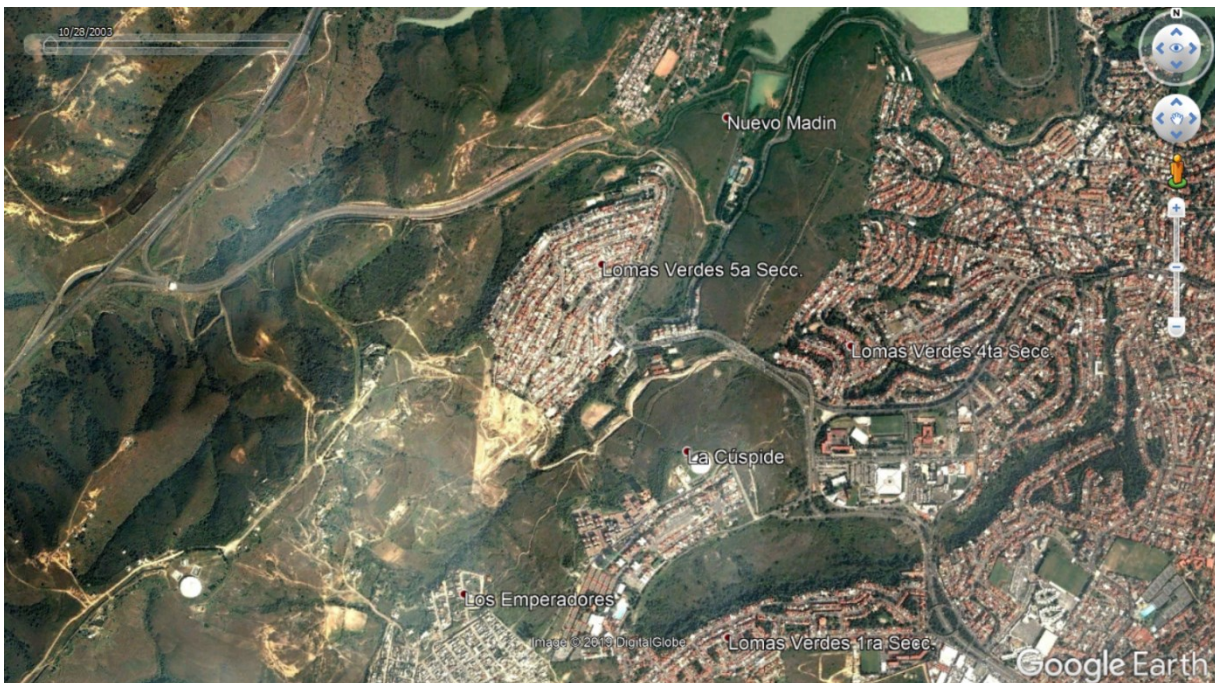


Imagen 1 - Captura de imagen de satélite 2003 (Google Earth).

Hoy en día, es evidente que el crecimiento de actividades comerciales como en Centro Comercial la Cúspide y en especial el crecimiento habitacional ocasionan que cambia la lógica de viajes origen destino de la zona y propicie un servicio vial en proceso de disminución, esta situación aunado a que existe terrenos baldíos y sujetos a ser desarrollos inmobiliarios o comerciales, puede complicar la situación ya existente (véase imagen 2).



Imagen 2 - Captura de imagen de satélite 2018 (Google Earth).

En cuanto a los niveles de servicio vial representados por tráfico, es evidente que el efecto de embudo de intersección entre la Autopista Chamapa – Lechería, Avenida Lomas Verdes, Paseo Lomas Verdes, Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú y Boulevard Hernán Cortes, principalmente frente al Centro Comercial La Cúspide. (véase imagen 3).

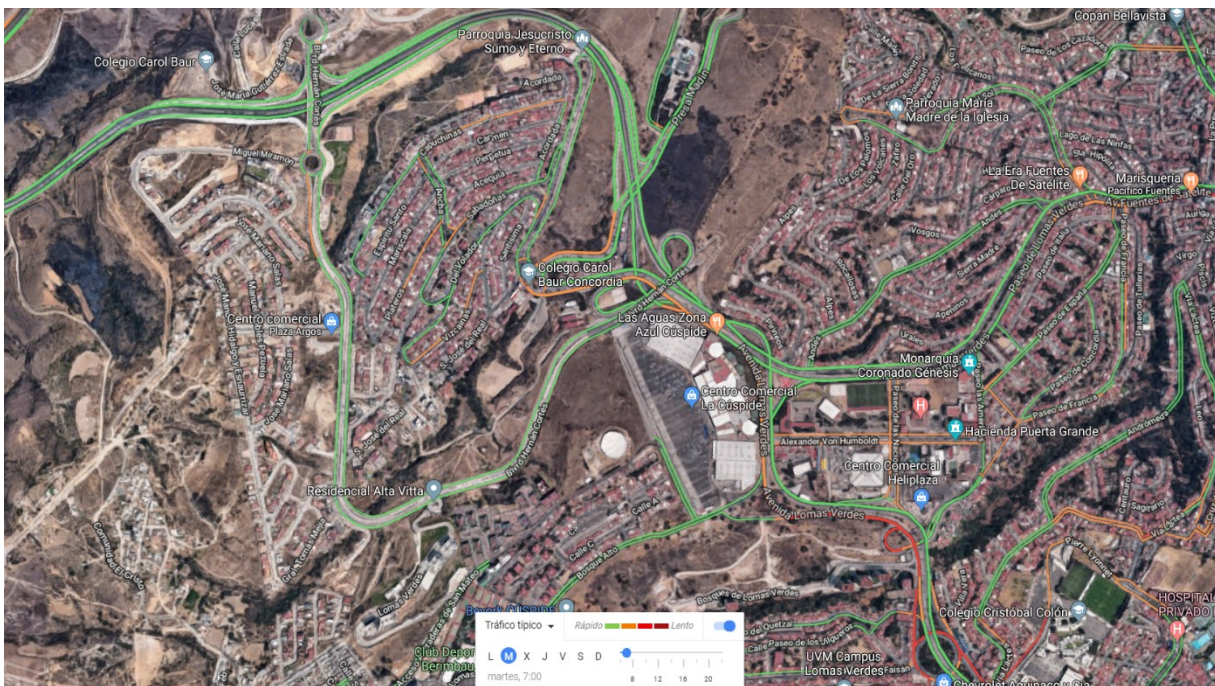


Imagen 3 - Captura de imagen de satélite con tráfico típico del día martes a las 07:50 horas del 2018 (Google Earth)



Para conocer la problemática, se realizó un conteo vehicular denominado “**Aforos de Flujo de 16 Horas**”. El aforo de 16 horas consiste en un censo directo con el objetivo de conocer el número de vehículos que durante el periodo diurno (entre las 6:00 A. M. y 22:00 P. M.), periodo que es representativo de un día y que se puede exponenciar hasta conocer el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) de dichas vialidades.

En el conteo se usó la siguiente clasificación vehicular:

CLAVE VEHICULAR	DESCRIPCIÓN
CYCLE	BICICLETA
A	AUTOMÓVIL
COMBI	COMBI
P	PICK UP
B	AUTOBÚS (Transporte público, transporte escolar, Transporte foráneo).
MICRO	MICROBÚS
C2	CAMIÓN DE 2 EJES
C3	CAMIÓN DE 3 EJES
4A-SU	CAMIÓN DE 4 EJES
T2S3	CAMIÓN DE 5 EJES
T3S3	CAMIÓN DE 6 EJES
T2S3R4	CAMIÓN DE 9 EJES
OTROS	OTROS
TOTAL	TOTAL

Tabla 4 - Clasificación Vehicular Utilizada (Elaboración propia a partir del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018 SCT).

Con la finalidad de facilitar el trabajo del aforador en campo (ya que este trabajo es manual) para este estudio se simplificó la clasificación vehicular, utilizando la siguiente:

CLAVE	DESCRIPCIÓN
A	AUTOMÓVIL
B	AUTOBÚS (Transporte público, transporte escolar, transporte foráneo).
C	CAMIONES (desde 2 ejes hasta 9 ejes)
T	TOTAL

Tabla 5 - Simplificación de la clasificación vehicular (Elaboración propia a partir del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018 SCT)

La ilustración 5, 6 y 7 son esquemas con los resultados de aforos obtenidos en la zona de estudio y nos permite visualizar la entrada, recorrido y salida de los vehículos.

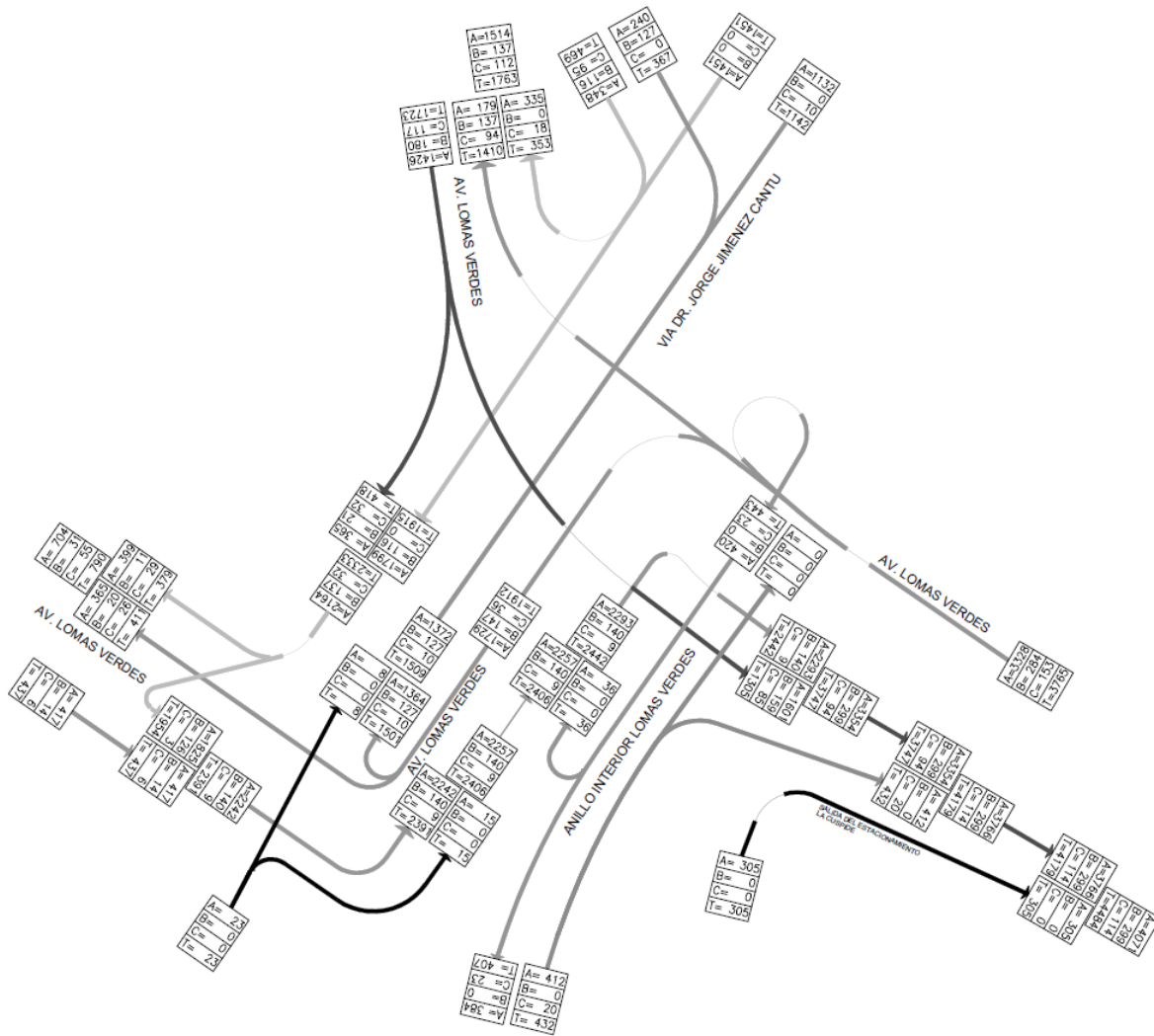


Ilustración 5 – Aforos en la intersección con Avenida Lomas Verdes (Elaboración propia en AutoCAD Map 3D).

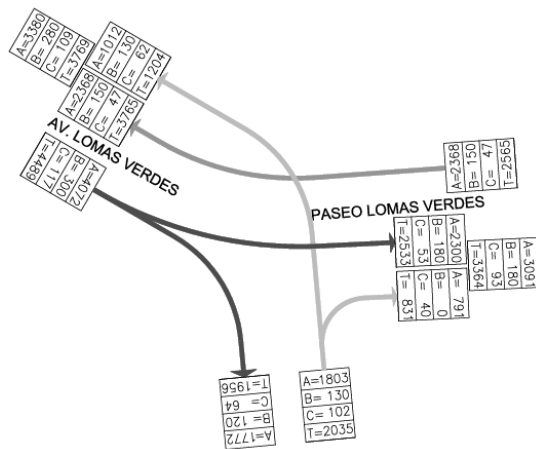


Ilustración 6 - Aforos en la salida a Paseo Lomas Verdes (Elaboración propia en Autocad Map 3D).

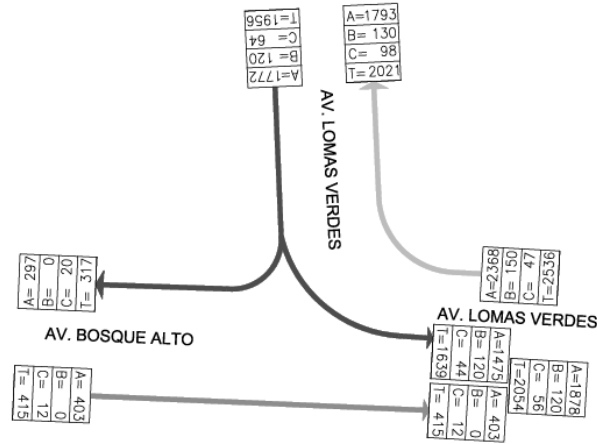


Ilustración 7 - Aforos en la salida de Avenida Lomas Verdes (Elaboración propia en Autocad Map 3D).

Posteriormente debido a la necesidad de contar con un estimado de la velocidad promedio, que es el parámetro en el que está basado el nivel de servicio de un tramo vial, fue necesario realizar un estudio denominado “Estudio de Velocidad y Tiempos de Recorrido”.

Dicho estudio fue realizado principalmente sobre la vialidad de acceso al Distrito Lomas Verdes que es la vialidad primaria “Avenida Lomas Verdes”, entre la Autopista Chamapa – Lechería y el Boulevard Manuel Ávila Camacho (Anillo Periférico), donde inician o terminan los viajes de largo itinerario de la zona.

La determinación de los volúmenes de transito de flujo son el resultado de los registros de las vialidades aforadas en un periodo continuo de 16 horas (entre las 6:00 A. M. y las 22:00 P. M.) el día 17 de enero del año en curso. Obteniéndose los siguientes resultados:

#### 4.2.3.2.1 Autopista Chamapa Lechería

HORARIO	Cycle	A	Combi	P	subtotal A	B	Micro	C2	C3	4A-SU	T2S3	T3S3	T2S3R4	OTROS	subtotal C	TOTAL
6:00 A 7:00	1	541	0	83	625	22	0	26	11	4	8	13	21	12	117	742
7:00 A 8:00	2	1637	0	173	1812	33	0	41	30	17	22	15	26	32	216	2028
8:00 A 9:00	0	2181	0	185	2366	27	0	73	33	27	23	19	37	17	256	2622
9:00 A 10:00	1	2829	0	222	3052	27	0	38	15	12	30	23	44	39	228	3280
10:00 A 11:00	0	2386	0	302	2688	18	0	38	18	26	44	22	38	14	218	2906
11:00 A 12:00	1	1563	0	229	1793	21	0	50	14	12	39	16	32	16	200	1993
12:00 A 13:00	0	1238	0	233	1471	36	0	47	16	8	44	16	28	14	209	1680
13:00 A 14:00	0	1025	0	228	1253	22	0	39	41	8	41	8	29	18	206	1459
14:00 A 15:00	0	1017	0	224	1241	14	0	59	18	10	34	16	14	12	177	1418
15:00 A 16:00	2	965	0	182	1149	24	0	50	18	12	44	12	14	18	192	1341
16:00 A 17:00	1	1035	0	242	1278	26	0	38	19	18	42	8	21	16	188	1466
17:00 A 18:00	2	874	0	194	1070	19	0	43	8	4	37	13	21	15	160	1230
18:00 A 19:00	0	834	0	207	1041	25	0	38	14	13	43	24	25	9	191	1232
19:00 A 20:00	1	996	0	196	1193	25	0	29	24	10	26	13	19	4	150	1343

20:00 A 21:00	0	864	0	171	1035	17	0	29	23	5	36	11	20	8	149	1184
21:00 A 22:00	0	674	0	124	798	11	0	17	10		21	8	14	20	101	899
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>20659</b>	<b>0</b>	<b>3195</b>	<b>23865</b>	<b>367</b>	<b>0</b>	<b>655</b>	<b>312</b>	<b>186</b>	<b>534</b>	<b>237</b>	<b>403</b>	<b>264</b>	<b>2958</b>	<b>26823</b>
CLASIF. (%)	0.04	77.02	0.00	11.91	88.97	1.37	0.00	2.44	1.16	0.69	1.99	0.88	1.50	0.98	11.03	100

Tabla 6 - Resultados de la estación Autopista Chamapa Lechería antes del entronque con avenida Lomes Verdes (Elaboración propia).

- Ajuste a los Aforos de 16 horas a 24 horas

Siguiendo la metodología de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), se realizó el ajuste a los aforos de flujo de 16 horas para convertirlos en datos de 24 horas, tomando en cuenta que el aforo de 16 horas es resultado de un tránsito diurno debe convertirse a un aforo de 24 horas (el tránsito diurno solo representa el 85%). Por tanto, el aforo de 24 horas resulta de tomar el valor diurno y multiplicarlo por el 1.15%.

$$\text{Volumen de 24 horas} = 26,823 \times 1.15 = 30,846 \text{ veh\u00edculos}$$

- Ajuste del Aforo de 24 Horas TDPA

El ajuste que se usa con mayor frecuencia consiste en transformar un aforo de 24 horas de un d\u00eda y mes espec\u00edficos (volumen de tránsito diario, TDi) a un volumen de tránsito promedio diario, (TPDi), mediante la siguiente expresi\u00f3n:

$$TPDi = TDi(Fm)(Ed)$$

D\u00f3nde:

Fm = factor de ajuste mensual

Fd = factor de ajuste diario

Estos factores se obtienen de la siguiente forma:

$$Fm = \frac{TPDA}{TPDM}$$

$$Fd = TPDS/TD$$

D\u00f3nde:

TDPA = Tr\u00e1nsito diario promedio anual

TPDM = Tr\u00e1nsito promedio diario mensual

TPDS = Tr\u00e1nsito promedio diario semanal

TD = Tr\u00e1nsito diario

De acuerdo a la informaci\u00f3n estad\u00edstica registrada dentro de la zona de estudio el factor mensual (Fm) es de 1.01 y el factor de ajuste diario (Fd) es de 1.02.

$$TDPA \text{ TPDI} = TDi(Fm)(Fd)$$

TPDi = 30,846 x 1.01 x 1.02 = **31,771 vehículos**

#### 4.2.3.2.2 Avenida Lomas Verdes

HORARIO	Cycle	A	Combi	P	subtotal A	B	Micro	C2	C3	4A-SU	T2S3	T3S3	T2S3R4	OTROS	subtotal C	TOTAL
6:00 A 7:00	0	2427	232	382	3041	236	26	72	30	0	0	0	0	0	364	3405
7:00 A 8:00	0	2612	264	454	3330	242	34	84	36	0	0	0	0	0	396	3726
8:00 A 9:00	0	2894	299	478	3671	250	34	85	35	0	0	0	0	0	404	4075
9:00 A 10:00	2	2578	264	438	3282	250	32	88	38	0	0	0	0	0	408	3690
10:00 A 11:00	0	2112	245	406	2763	264	28	72	34	0	0	0	0	0	398	3161
11:00 A 12:00	4	1977	256	380	2617	250	24	58	30	0	0	0	0	0	362	2979
12:00 A 13:00	0	1610	274	444	2328	236	36	32	36	0	0	0	0	0	340	2668
13:00 A 14:00	0	2008	256	428	2692	196	30	50	28	0	0	0	0	0	304	2996
14:00 A 15:00	2	2529	281	475	3287	250	36	92	40	0	0	0	0	0	418	3705
15:00 A 16:00	0	2098	254	414	2766	234	26	72	32	0	0	0	0	0	364	3130
16:00 A 17:00	2	1857	234	374	2467	230	20	58	28	0	0	0	0	0	336	2803
17:00 A 18:00	0	2001	274	460	2735	198	18	60	24	0	0	0	0	0	300	3035
18:00 A 19:00	4	2735	296	393	3428	238	26	66	42	0	0	0	0	0	372	3800
19:00 A 20:00	0	2189	235	406	2830	220	20	54	32	0	0	0	0	0	326	3156
20:00 A 21:00	2	1961	226	368	2557	216	14	40	28	0	0	0	0	0	298	2855
21:00 A 22:00	0	1602	204	307	2113	162	18	46	24	0	0	0	0	0	250	2363
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>35190</b>	<b>4094</b>	<b>6607</b>	<b>45907</b>	<b>3672</b>	<b>422</b>	<b>1029</b>	<b>517</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5640</b>	<b>51547</b>
<b>CLASIF. (%)</b>	0.03	68.27	7.94	12.82	89.06	7.12	0.82	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.94	<b>100</b>

Tabla 7 - Resultados de la estación Avenida Lomas Verdes, entre Bosque Alto y Paseo de las Naciones (Elaboración propia).

- Ajuste a los Aforos de 16 horas a 24 horas

Siguiendo la metodología de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), se realizó el ajuste a los aforos de flujo de 16 horas para convertirlos en datos de 24 horas, tomando en cuenta que el aforo de 16 horas es resultado de un tránsito diurno debe convertirse a un aforo de 24 horas (el tránsito diurno solo representa el 85%). Por tanto, el aforo de 24 horas resulta de tomar el valor diurno y multiplicarlo por el 1.15%.

$$\text{Volumen de 24 horas} = 51,547 \times 1.15 = 59,279 \text{ vehículos}$$

- Ajuste del Aforo de 24 Horas TDPA

El ajuste que se usa con mayor frecuencia consiste en transformar un aforo de 24 horas de un día y mes específicos (volumen de tránsito diario, TDi) a un volumen de tránsito promedio diario, (TPDi), mediante la siguiente expresión:

$$TPDi = TDi(Fm)(Fd)$$

Dónde:

Fm = factor de ajuste mensual

Fd = factor de ajuste diario

Estos factores se obtienen de la siguiente forma:

$$Fm = \frac{TPDA}{TPDM}$$

$$Fd = TPDS/TD$$

Dónde:

TDPA = Tránsito diario promedio anual

TPDM = Tránsito promedio diario mensual

TPDS = Tránsito promedio diario semanal

TD = Tránsito diario

De acuerdo a la información estadística registrada dentro de la zona de estudio el factor mensual (Fm) es de 1.01 y el factor de ajuste diario (Fd) es de 1.02.

$$TDPA \text{ TPDI} = TDi(Fm)(Fd)$$

$$TPDi = 59,279 \times 1.01 \times 1.02 = \mathbf{61,057 \text{ vehículos}}$$

Aunado a los resultados anteriores es necesario conocer dentro de la zona de estudio la capacidad y/o niveles de servicio existentes (considerando para el análisis las condiciones operacionales y geométricas actuales) esto con el fin de saber cómo están operando los nodos de la red vial, ya que cada intersección tiene condiciones físicas y operacionales diferentes.

A continuación, se describe la metodología utilizada y las definiciones de Capacidad y Nivel de Servicio.

La metodología utilizada para el Cálculo de la Capacidad y los Niveles de Servicio es la que describe el Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, el Highway Capacity Manual, edición 2003, utilizando para ello los procedimientos descritos por el **Highway Capacity Software (HCS)**.

#### Definiciones

**La Capacidad:** La capacidad de una intersección se puede definir como el máximo número de vehículos que con una probabilidad razonable puedan pasar por una sección dada, durante un cierto periodo, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito.

**El Nivel de Servicio:** Es una medida cualitativa, que sirve para identificar las condiciones de operación de un camino, y que se ve afectada por una serie de factores, entre los cuales se pueden citar: la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones al movimiento continuo del tránsito, la libertad de manejo, la comodidad y los costos de operación.

Los factores que afectan la Capacidad son los siguientes:

- a) Condiciones físicas y de operación: Ancho de acceso; Operación en uno o dos carriles; Condiciones de estacionamiento lateral y la Ubicación de la intersección dentro del área metropolitana.
- b) Condiciones ambientales: Factor de carga; Factor de hora de máxima demanda y la Población del área metropolitana.
- c) Características del tránsito: Vuelta izquierda o derecha; Presencia de autobuses y vehículos pesados; Autobuses de transporte local
- d) Medidas de control de tránsito: Semáforos y Señalamiento horizontal y vertical.

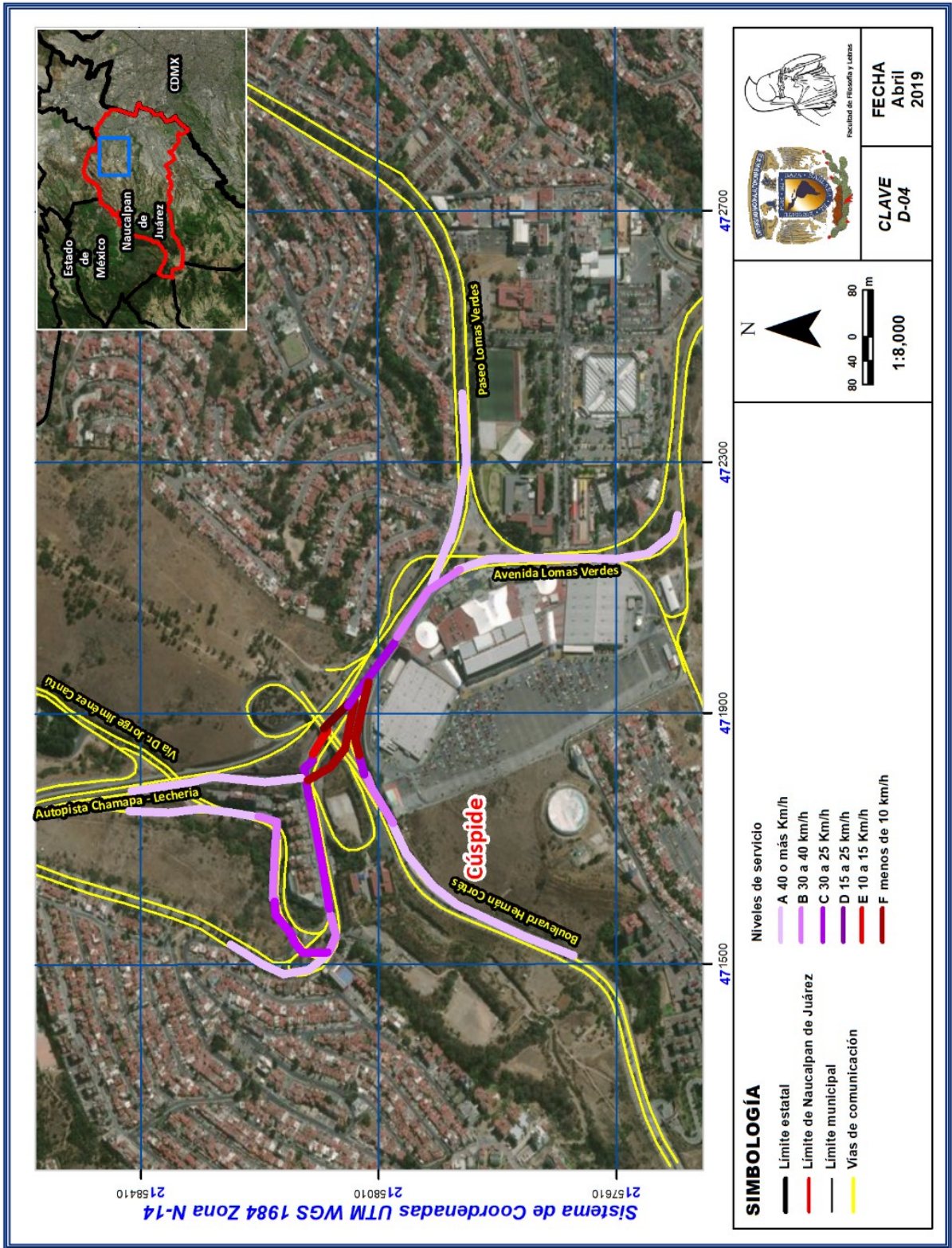
NOTA: Esta metodología es igual a la mexicana que utiliza la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en su manual denominado “Manual de Capacidad Vial”, ya que también está basada en el Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos.

Con esta metodología ya no es necesario calcular por separado el ciclo del semáforo, ya que se puede proponer un reparto de tiempos, de acuerdo a las fases necesaria, y hacer una revisión del nivel de servicio de acuerdo a estos tiempos, hasta encontrar el nivel deseado.

Para cada Nivel de Servicio se define un volumen o intensidad del servicio, al que es necesario afectar de coeficientes para obtener la Capacidad. Por eso en la tabla siguiente se sintetiza el criterio de niveles de servicio.

<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN</b>
<b>A</b>	<b>LIBRE</b>
<b>B</b>	<b>ESTABLE</b>
<b>C</b>	<b>ESTABLE</b>
<b>D</b>	<b>POCO ESTABLE</b>
<b>E (CAPACIDAD)</b>	<b>INESTABLE</b>
<b>F</b>	<b>FORZADA</b>

Tabla 8 - Nivel de servicio (Elaboración propia a partir del Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, edición 1991)



Mapa 5 - Niveles de servició (Elaboración propia en Arcmap 10.5)



Se puede apreciar en el mapa 5 y como resultado del estudio vial que la intersección de la avenida Lomas Verdes con Paseo Lomas Verdes, Boulevard Hernán Cortez, Autopista Chamapa Lechería y la Vía Dr José Jiménez Cantú actualmente presenta problemas de movilidad derivado de los vehículos que transitan así como una zona en crecimiento de desarrollos inmobiliarios por lo tanto se recomienda realizar una estrategia para intervenir de manera oportuna antes de que se convierta en un problema mayor y deteriore la calidad de vida de las personas que viven y transitan por la zona. En consecuencia, es adecuado pasar a la etapa de levantamiento de captura de la información espacial de la zona mediante un vuelo fotogramétrico para posteriormente plantear la solución por medio de un diseño de una infraestructura vial adecuada.

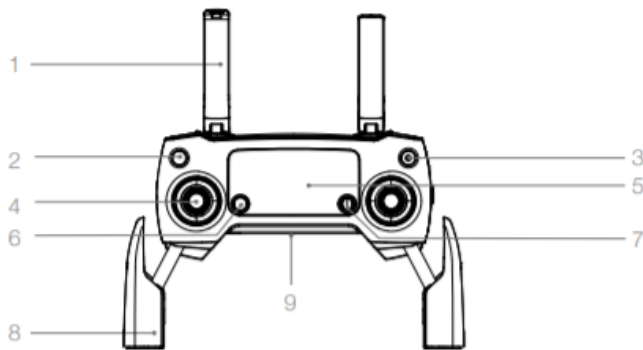
## 4.3. Plan de Vuelo

El plan de vuelo que se plantea es resultado de la identificación de la situación vial en la zona de la cúspide y para ello es necesario describir las características del vehículo aéreo no tripulado y programas utilizados para planear el vuelo, realizar el vuelo y procesar las imágenes obtenidas.

### 4.3.1 Vehículo aéreo no tripulado

El Mavic Pro es un RPAS micro multirotor con un peso de 743g incluyendo la batería sus dimensiones son 83 x 83 x 198 mm (plegado), diagonal 335 mm, cuenta con un estabilizador y sensor pasivo 1/2.3 (CMOS), 12.34 megapíxeles efectivos, con capacidad de tomar video en calidad 4K a 30 fotogramas por segundo, posee cuatro brazos donde se montan hélices dobles hechas de fibra de carbono. Es capaz de mantener en vuelo un promedio de 27 minutos debido a su batería LiPo 3S con capacidad de 3830mAh con un voltaje de 11.4 V, desplazarse a una velocidad máxima de 65 km/h, altura máxima de 5,000 metros sobre el nivel de mar y un sistema de posicionamiento por satélite GPS/GLONASS.

Cuenta con un control remoto de 2.4 GHz que puede conectarse mediante un cable a dispositivos móviles como celulares inteligentes que requieren previamente una instalación del software recomendado (DJO GO4) con lo cual es capaz de transmitir en directo imágenes, datos de vuelo y monitorias velocidad, altura y estado de la batería. En caso de perder señal el Mavic Pro cuenta con un retorno a sitio de despegue, así como 4 sensores para evitar colisiones.



#### 1. Antenas

Transmiten el control de la aeronave y la señal de vídeo.

#### 2. Botón de regreso al punto de origen (RTH)

Mantenga pulsado el botón para iniciar el modo de regreso al punto de origen (RTH). Pulse de nuevo para cancelar el RTH.

#### 3. Botón de encendido

Se utiliza para encender y apagar el control remoto.

#### 4. Palanca de control

Controla la orientación y el movimiento de la aeronave.

Diagrama 5 - Control Remoto Mavic Pro (Manual de usuario Mavic Pro 2017).

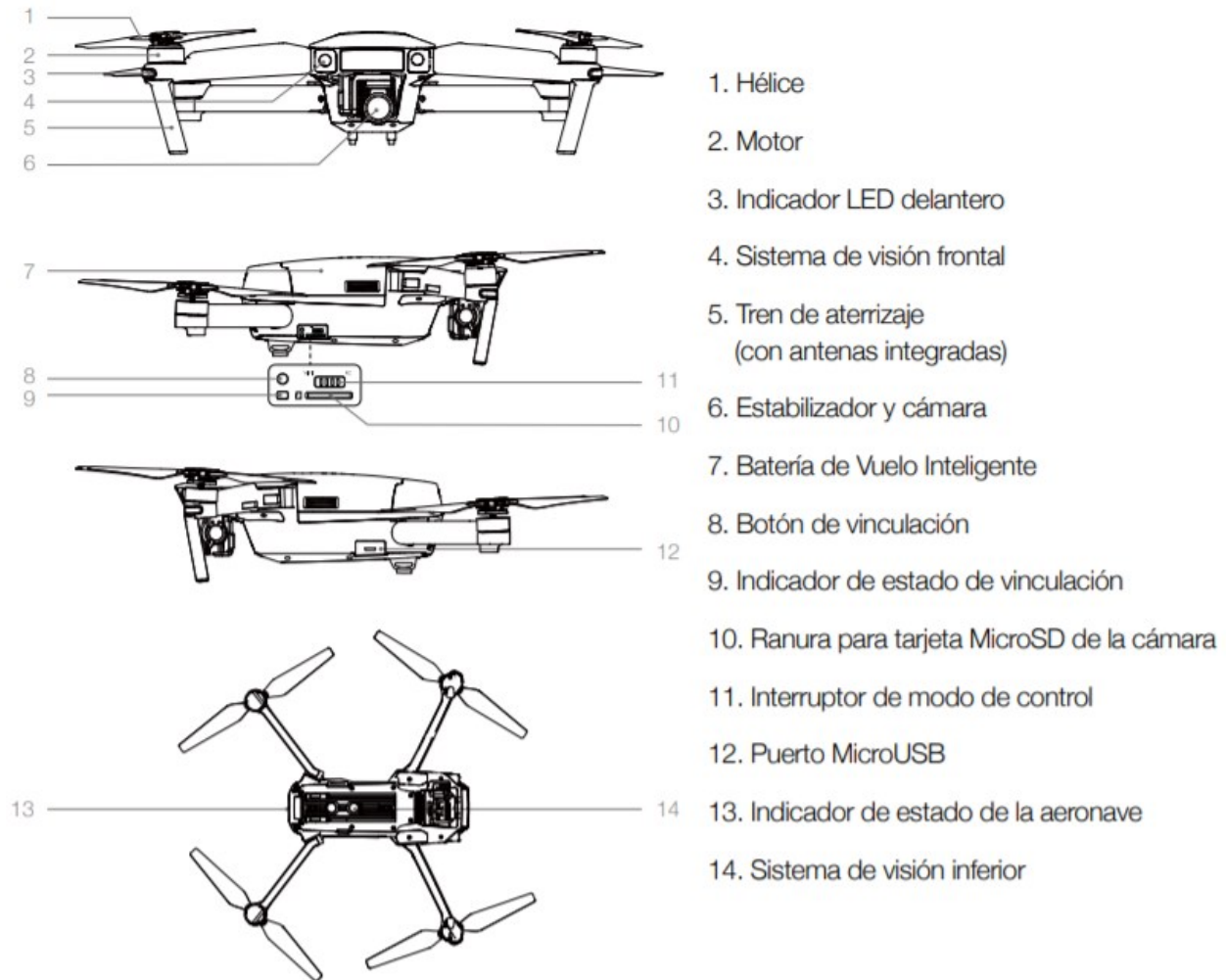


Diagrama 6 - Aeronave Mavic Pro (Manual de usuario Mavic Pro 2017).

A los equipos móviles inteligentes también se le pueden instalar otros programas como *PIX4D Capture* ó *Drone Harmony* entre otros, que permiten programar diversos tipos de vuelos sin que el usuario intervenga de manera directa, es decir, al programar un tipo vuelo con estos softwares se automatiza la aeronave desde el despegue hasta el aterrizaje y el usuario puede monitorear la aeronave y en caso de alguna situación de riesgo puede retomar el control de manera manual.

### 4.3.2 Programar el vuelo

El programa seleccionado para realizar el plan de vuelo y la captura de imágenes es *Pix4D Capture*, el cual requiere una instalación en un equipo móvil inteligente, posteriormente es necesario ingresar un correo electrónico y generar una contraseña para acceder al programa.

Una vez accediendo al programa nos presenta cinco tipos de vuelos (véase imagen 4), los primeros tres; Polígono, Cuadrícula y Doble son adecuados para generar fotogrametría de amplias zonas, mientras que el vuelo Circular es adecuado para realizar capturas de imágenes para modelos tridimensional de objetos,

edificios, estatuas entre otros, por último, el vuelo tipo libre nos permite controlar la aeronave de manera manual y realizar tomas extras para completar información o para cubrir áreas más complejas.

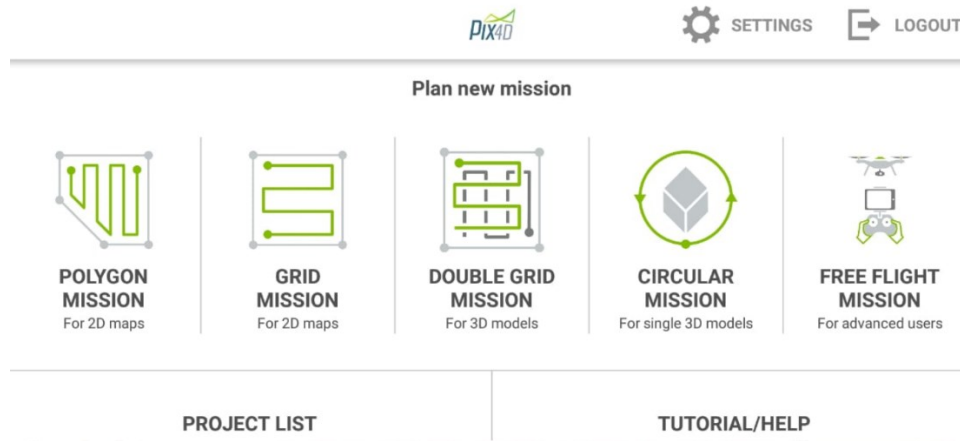


Imagen 4 – Tipos de vuelo en Pix4D Capture (Versión 4.5.0, 2018).

Antes de ingresar a cada tipo de vuelo es importante recomendado configurar los parámetros básicos como modelo del vehiculó, unidades métricas o imperiales, sincronización del plan de vuelo, activar audio al momento de capturar imágenes, guardar mapas sin conexión a internet, proveedor de mapa base, habilitar configuraciones avanzadas para planificar los vuelos y por ultimo configurar la ruta donde se guardarán los datos e imágenes capturadas.

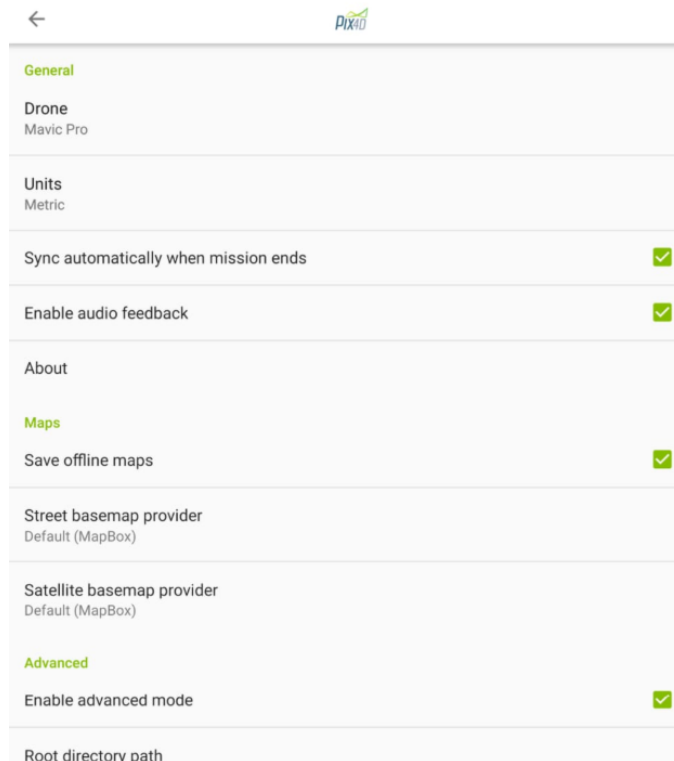


Imagen 5 – Configuración en Pix4D Capture (Versión 4.5.0, 2018).

Posteriormente es necesario realizar observaciones en campo para determinar la altura de vuelo adecuada para evitar obstáculos como estructuras, árboles, postes e incluso animales como algunas aves, aunado a lo anterior es importante destacar que antes de cada vuelo se debe monitorear las condiciones meteorológicas como velocidad del viento, radiación solar, nubosidad, visibilidad y temperatura.

Después de realizar las observaciones en campo y determinar el tipo de vuelo, podemos pasar a la siguiente etapa de configuración del plan de vuelo en *Pix4D Capture* donde se nos presentan los siguientes parámetros:

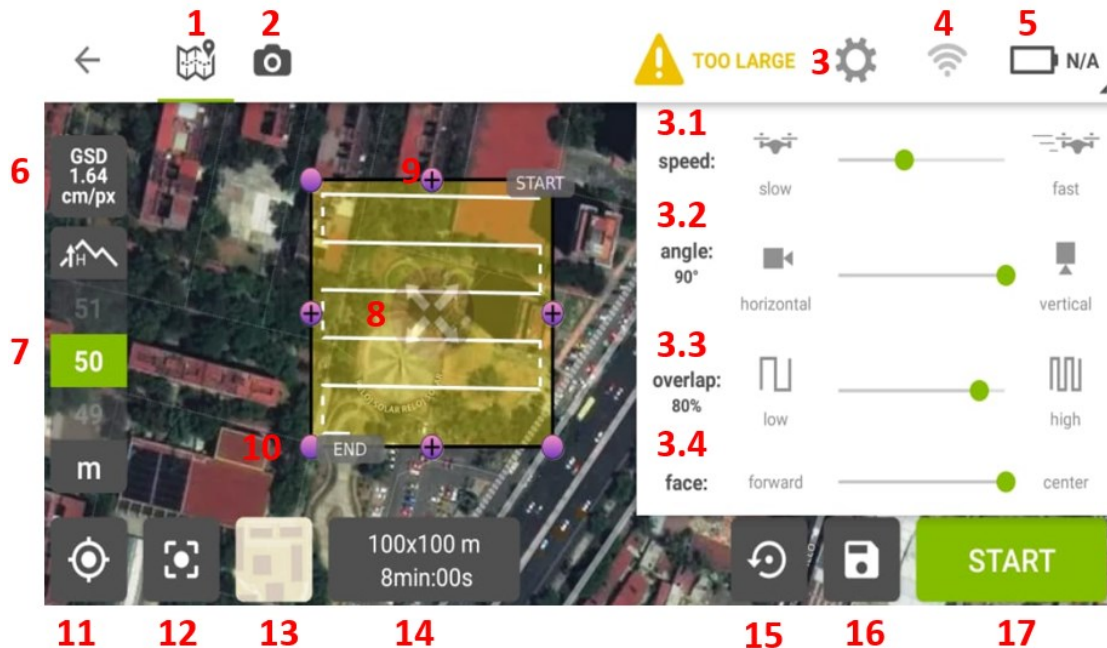


Imagen 6 – Configuración de vuelo Pix4D Capture (Versión 4.5.0, 2018).

1. Botón para de la vista del mapa
2. Botón para acceder a la vista de la cámara del vehículo
3. Acceso a parámetros de configuración que cambian dependiendo el tipo de vuelo
  - 3.1 Velocidad de desplazamiento del vehículo
  - 3.2 Angulo de la cámara
  - 3.3 Traslapé entre líneas de vuelo
  - 3.4 Orientación de la captura al centro de la misión o al frente de la dirección de vuelo.
4. Indicador del estado de conexión
5. Indicador de nivel de la batería del vehículo
6. Indica el valor de distancia de muestreo en tierra (GDS)
7. Altura de vuelo
8. Flecha para desplazar el aérea que se desea capturar
9. Opción para modificar y aumentar vértices del aérea de captura
10. Opción para modificar y aumentar el área de captura
11. Centra la vista del mapa con respecto a la posición del GPS del dispositivo móvil
12. Centra la vista del mapa con respecto al área de cobertura
13. Cambiar la vista del mapa entre imagen de satélite y trazado de calles
14. Muestra el tamaño del área de cobertura y tiempo estimado de duración del vuelo

15. Reinicia el área de captura
16. Guarda el plan de vuelo y las configuraciones seleccionadas
17. Botón para acceder a una venta de resumen y eventualmente iniciar el vuelo

### 4.3.3 Ejecución del vuelo y control de calidad

La ejecución del vuelo fue necesaria dividirla en diferentes vuelos debido a las características físicas del relieve y la distancia de vuelo del punto de despegue con la zona de captura de la información, cabe mencionar que solo se debe realizar el vuelo para la captura de la información cuando se tenga total certeza de que todas las condiciones garanticen seguridad para el operador y para las personas que puedan estar debajo de la zona de captura.

Una vez concluidos los vuelos pasamos a la etapa de visualización de cada foto capturada y control de calidad, ya que por diversos factores puede que algunas fotos no sean adecuadas para ejecutar los procesos de alineación debido a problemas visuales como un enfoque incorrecto, obstáculos, reflejos entre otros.

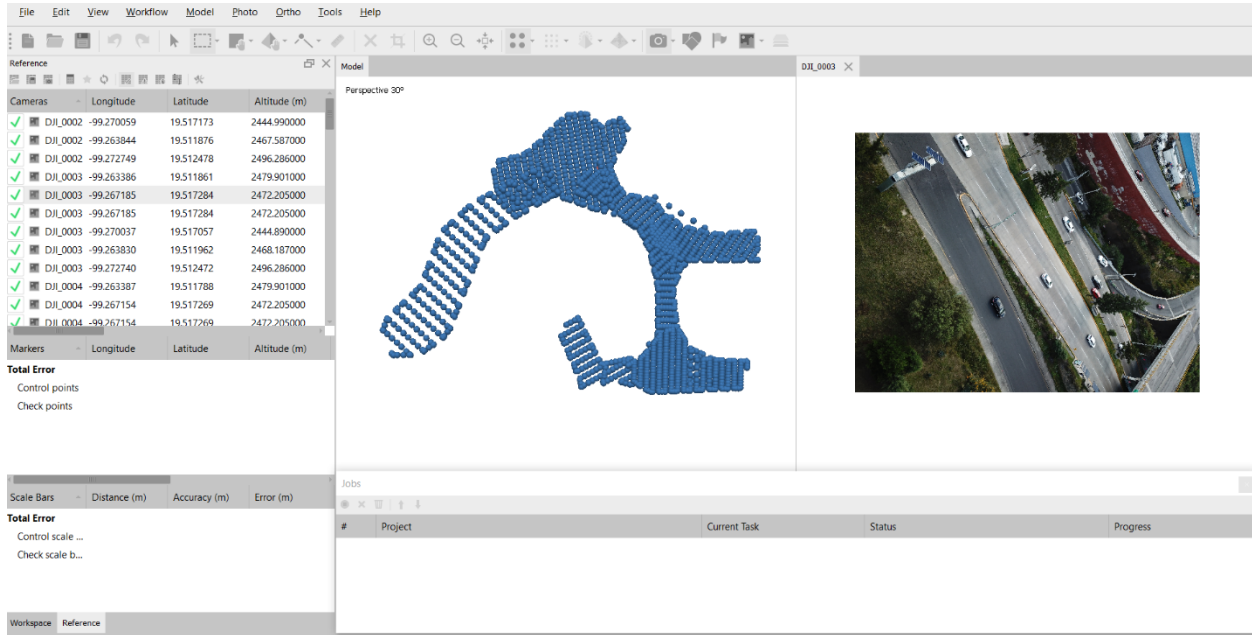


Imagen 7 - Líneas de vuelo y supervisión de fotografías (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).

Al concluir el control de calidad y validar que existe información suficiente se toma de decisión de pasar a la etapa de ejecutar procesos obtener diversos productos o por el contrario regresar a campo y realizar nuevas líneas de vuelo que sustituyan a las que no cumplen con los requerimientos de calidad.

## 4.4 Producción de información y edición

Para llevar a cabo la producción de diversos tipos de información se siguió el proceso del flujo de trabajo del programa Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1 el cual es el siguiente:

1. Orientar fotos

2. Crear nube de puntos densa
3. Crear malla
4. Crear Textura
5. Crear modelo de teselas
6. Crear modelo digital de elevaciones
7. Crear ortomosaico

Concluido el flujo de trabajo obtenemos los siguientes resultados:

En la imagen 8 se muestran los resultados de la calidad de unión de información en la interrelación de las imágenes, marcando en azul la cobertura de alta calidad debido que las condiciones de vuelo y captura fueron adecuadas, y en tono rojo las zonas que no tienen cobertura o presentan problemas en la captura.

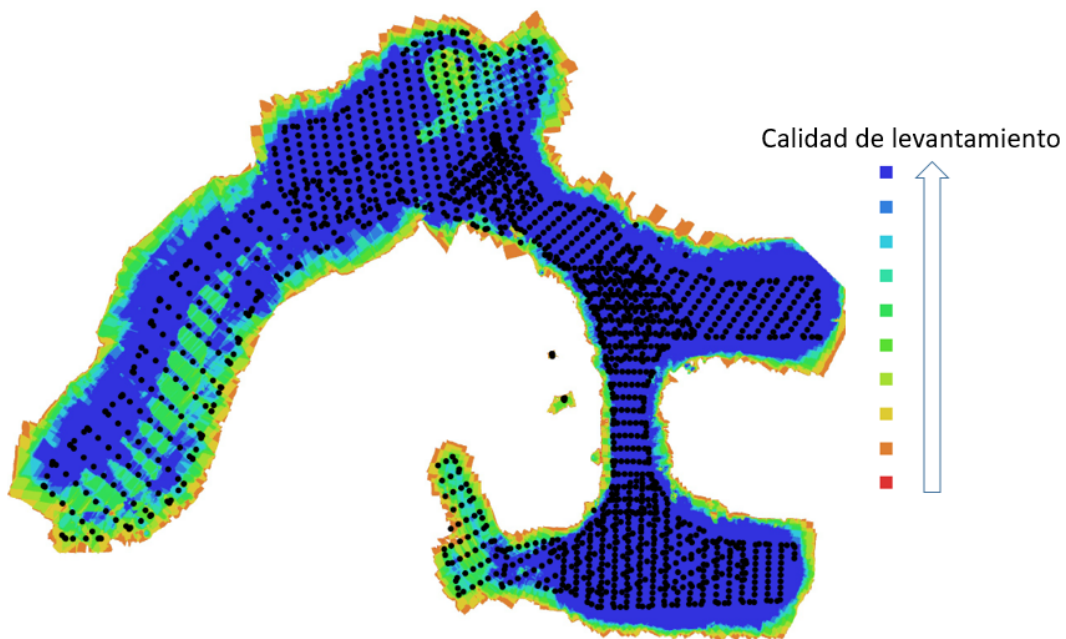


Imagen 8 - Calidad del levantamiento fotogramétrico (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).

En cuanto a la orientación de las imágenes al momento de la captura, así como la estimación de errores se pueden apreciar en la imagen 9, de color verde representan la óptima captura con abajo o nulo error, en tono rojo, así como tono azul reflejan los errores de captura y problemas de orientación.



Imagen 9 - Orientación de imágenes y estimación de error (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).

Las características del sensor pasivo al momento de la captura fueron con una resolución por imagen de 4000 x 3000 con una distancia focal de 4.73 mm, con un tamaño de pixel de 1.57 x 1.57 micras. El promedio de calibración de la cámara al momento de la captura se representa en la imagen 10.

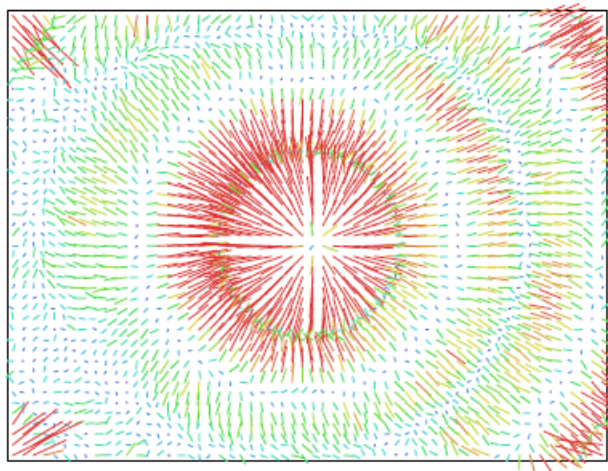


Imagen 10 - Calibración de la cámara (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).

Los tiempos de ejecución para llevar a cabo cada resultado dependerá del equipo de cómputo, en este caso se utilizó un equipo Dell Inspiron 15 7000 Gaming con procesador Intel Core i7 7700 HQ, equipada con una tarjeta gráfica Nvidia GeForce GTX 1050 Ti, memoria SDRAM 32GB, disco duro híbrido de 1 TB de capacidad de almacenamiento, sistema operativo Windows 10 de 64 bits versión 1.5.1 build 7618, es decir, se cumplen con los requisitos recomendados por el programa Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1.



<b>Resultados del vuelo fotogramétrico</b>	
<b>Número de imágenes</b>	<b>2,037</b>
<b>Altitud media de vuelo</b>	<b>54.9 metros</b>
<b>Resolución en terreno</b>	<b>1.64 cm/pix</b>
<b>Superficie cubierta</b>	<b>0.404 km<sup>2</sup></b>
<b>Puntos de enlace</b>	<b>1,481,099</b>
<b>Proyecciones</b>	<b>6161718</b>
<b>Error de reproyección</b>	<b>2.23 pix</b>
<b>Cámaras orientadas</b>	<b>1995</b>
<b>Sistema de coordenadas</b>	<b>WGS 84 (EPSG::4326)</b>
<b>Ángulo de rotación</b>	<b>Guiñada, cabeceo, alabeo</b>
<b>Nube de puntos</b>	<b>3,708,225</b>
<b>RMS error de reproyección</b>	<b>0.3251 (2.22644 pix)</b>
<b>Error de reproyección máximo</b>	<b>0.998026 (97.0244 pix)</b>
<b>Tamaño promedio de puntos característicos</b>	<b>7.26461 pix</b>
<b>Colores de puntos</b>	<b>3 bandas, uint8</b>
<b>Puntos claves</b>	<b>Sí</b>
<b>Multiplicidad media de puntos de paso</b>	<b>5</b>
<b>Precisión</b>	<b>Alta</b>
<b>Pre-selección genérica</b>	<b>Sí</b>
<b>Pre-selección de referencia</b>	<b>Sí</b>
<b>Puntos claves por foto</b>	<b>80,000</b>
<b>Puntos de enlace por foto</b>	<b>8000</b>
<b>Tiempo búsqueda de puntos homólogos</b>	<b>53 minutos 33 segundos</b>

Tabla 9 – Resultados del vuelo fotogramétrico (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).



Imagen 11 - Ortomosaico (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).

<b>Resultado de la generación de nube de puntos</b>	
<b>Número</b>	<b>1,994</b>
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	<b>Calidad Media</b>
<b>Nivel de filtrado</b>	<b>Agresivo</b>
<b>Duración del procesamiento</b>	<b>48 minutos 22 segundos</b>
<b>Nube de puntos densa</b>	<b>62,243,550</b>
<b>Colores de puntos</b>	<b>3 bandas, uint8</b>
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	<b>Calidad Media</b>
<b>Filtrado de profundidad</b>	<b>Agresivo</b>
<b>Tiempo de generación de mapas de profundidad</b>	<b>48 minutos 22 segundos</b>
<b>Tiempo de generación de nube de puntos densa</b>	<b>1 hora 21 minutos</b>

Tabla 10 - Resultados de la generación de nube de puntos (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1). Dentro de los resultados del vuelo fotogramétrico se generó el modelo digital de elevación donde se muestra en tono azul las zonas de menor elevación en el modelo y en tono rojo las zonas que tienen mayor, lo cual es gran ayuda conocer y visualizar para la propuesta de obras de infraestructura.

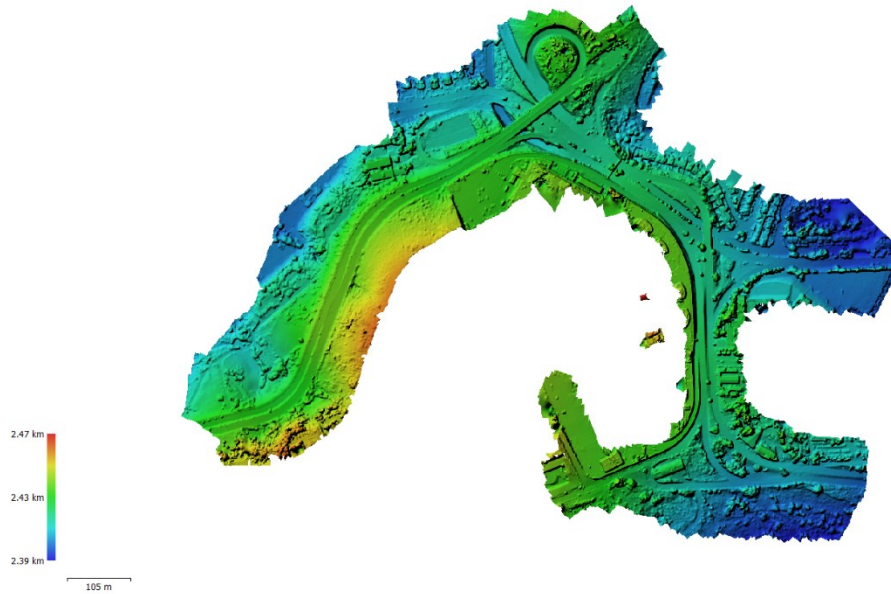


Imagen 12 - Modelo digital de elevación (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).

<b>Resultados del modelo tridimensional</b>	
<b>Tamaño</b>	<b>11,170 x 11,167</b>
<b>Sistema de coordenadas</b>	<b>WGS 84 / UTM zone 14N (EPSG::32614)</b>
<b>Datos fuente</b>	<b>Nube de puntos densa</b>
<b>Interpolación</b>	<b>Habilitada</b>
<b>Duración del procesamiento</b>	<b>2 minutos 56 segundos</b>
<b>Tamaño ortomosaico</b>	<b>71,511 x 53,287</b>
<b>Colores</b>	<b>3 bandas, uint8</b>
<b>Modo de mezcla</b>	<b>Mosaico</b>
<b>Superficie</b>	<b>Modelo digital de elevaciones</b>
<b>Realizar el relleno de agujeros</b>	<b>Sí</b>
<b>Duración del procesamiento</b>	<b>1 hora 11 minutos</b>

Tabla 11 - Resultado del modelo tridimensional (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).



Imagen 13 - Nube de puntos (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).

Al concluir todos los procesos de generación de información en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1 se debe supervisar la calidad de cada uno de los productos, así como llevar a cabo correcciones en caso de que no cumplan con las características necesarias, en este caso los resultados fueron adecuados y se procedió con la exportación de la información para posteriormente montarlo en el programa de Autodesk InfraWorks conectado a BIM y generar una estrategia mediante la propuesta de una obra de infraestructura a nivel conceptual.

## 4.5 Diseño conceptual tridimensional en BIM

El programa seleccionado para generar el diseño conceptual tridimensional conectado en BIM es InfraWorks debido a que es un programa dedicado a diseño conceptual y visualización preliminar, cuenta con herramientas de creación de diseño, análisis y administración de la información; así como la capacidad de conectarse con diferentes programas de Autodesk; incluye conexión con servicios en línea de Arcgis Online y Bing Maps; adicionalmente cuenta una gran gama de compatibilidad de archivos de diseño y otros programas de diseño.

La primera interfaz del programa de InfraWorks se presenta en la imagen número 14, en la cual podemos apreciar lo siguiente:

1. Información del usuario, tipo de licencia, vistas compartidas
2. Generar nuevos modelos y busque de los existentes por fecha o nombre
3. Escenario que presenta visualización en miniatura de los modelos generados

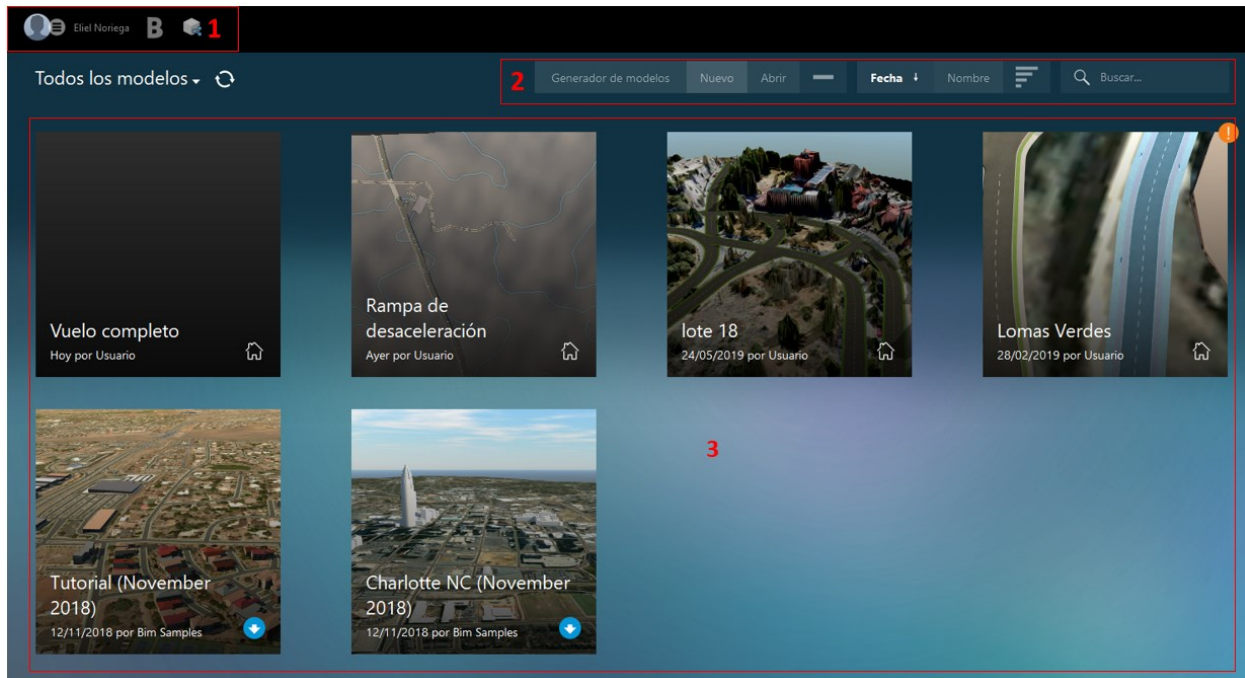


Imagen 14 – Interfaz del programa InfraWorks (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).

En este escenario se genera el modelo de la zona de estudio, insertando los datos emitidos en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1, conservando el sistema de coordenadas WGS 84 con una proyección UTM zona N-14 y al concluir el proceso pasamos a la siguiente interfaz del programa que se muestra en la imagen 15:

1. Retorno a la interfaz anterior
2. Crear, administrar y analizar el modelo de infraestructura
3. Diseñar, revisar y construir carreteras
4. Diseñar, revisar y construir estructuras de puentes y túneles
5. Generar, crear y diseñar desagües
6. Crear y analizar presentaciones de diseño de infraestructuras y configuración de utilidades
7. Controlar visibilidad, visualización y posibilidad de selección de los elementos y panel de ayuda.
8. Orientación del modelo
9. Origen de los datos (muestra la gama de archivos compatibles y conexión con base de datos y geoservidores)



Imagen 15 - Interfaz del programa InfraWorks (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).

En subsecuente, se realiza mediante la interfaz del botón numero 4 (Diseñar, revisar y construir estructuras de puentes y túneles), una propuesta de infraestructura vial tipo puente como una de solución y mitigación al problema vial de la zona la Cúspide, obteniendo como resultado lo siguiente:

En la imagen número 16, 17 y 18 se puede apreciar la obra de infraestructura tipo puente incluyendo todos los elementos estructurales y se encuentra integrado al modelo tridimensional generado a partir de un vuelo fotogramétrico con un vehículo aéreo no tripulado con datos geoespaciales que incluyen curvas de nivel.

Otra característica del programa es generar una serie informes como la cantidad y tipo de materiales necesarios para llevar a cabo la obra de infraestructura (véase imagen 19), perfil longitudinal del puente (véase imagen 20), y secciones transversales (véase imagen 21).

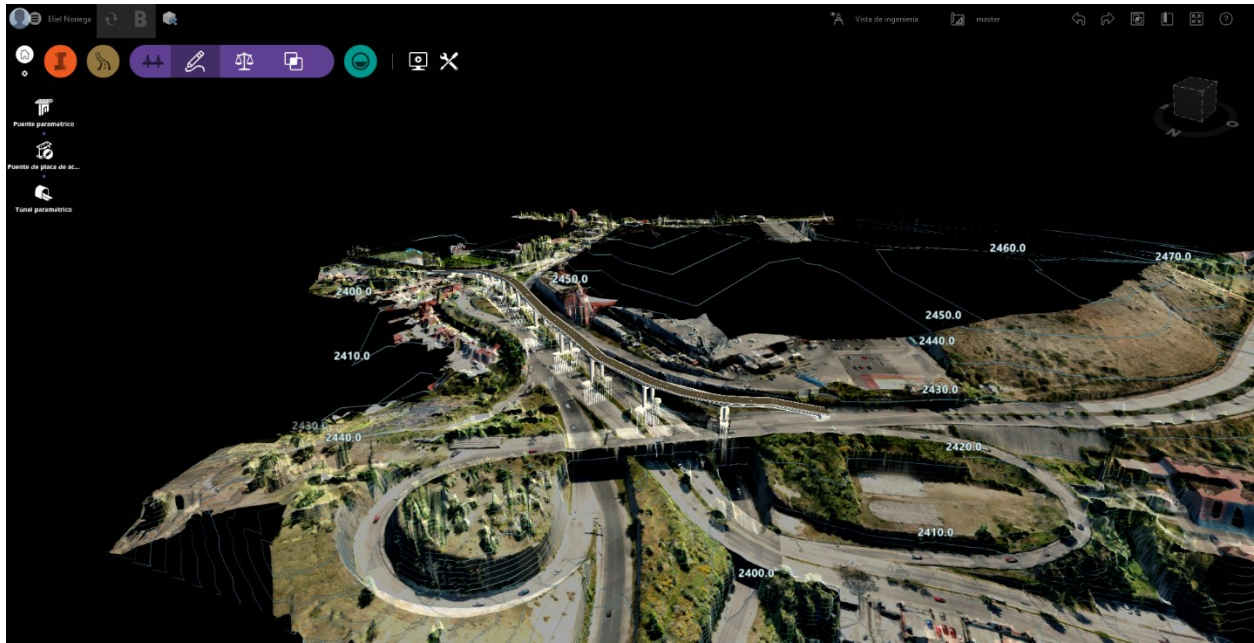


Imagen 16 - Perspectiva de puente frente al entronque Autopista Chamapa- Lechería, Avenida Lomas Verdes, Paseo Lomas Verdes, Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú y Boulevard Hernán Cortes. (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).

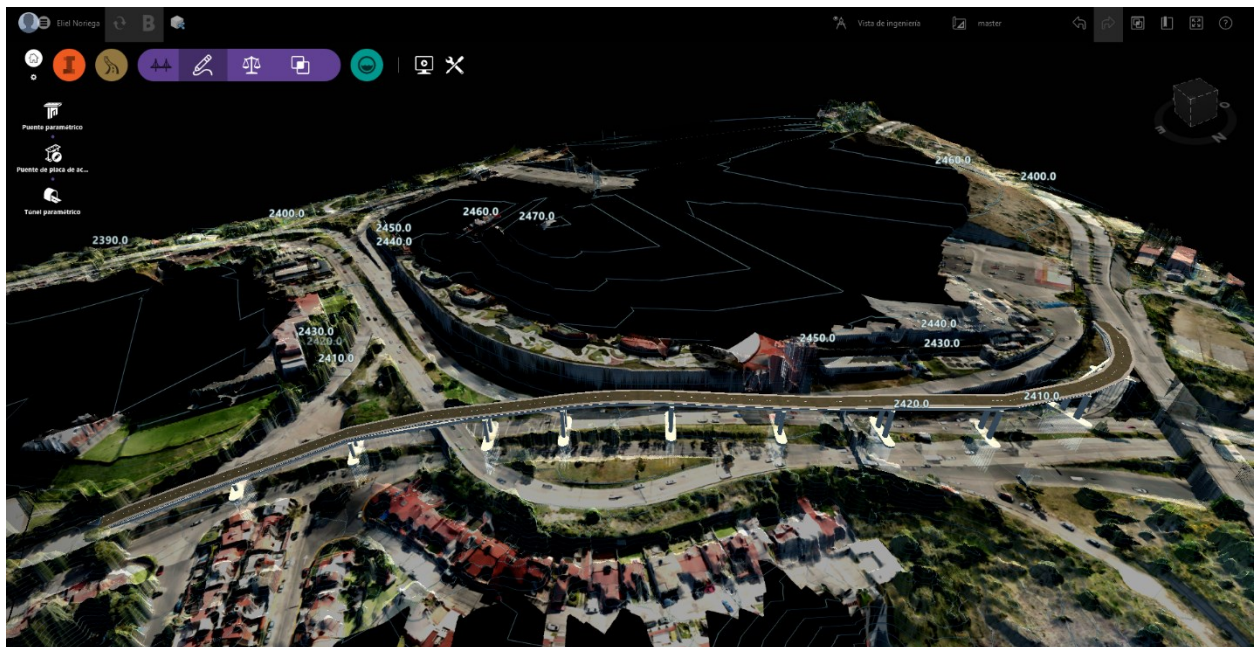


Imagen 17 - Perspectiva de puente frente al entronque Autopista Chamapa- Lechería, Avenida Lomas Verdes, Paseo Lomas Verdes, Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú y Boulevard Hernán Cortes. (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).

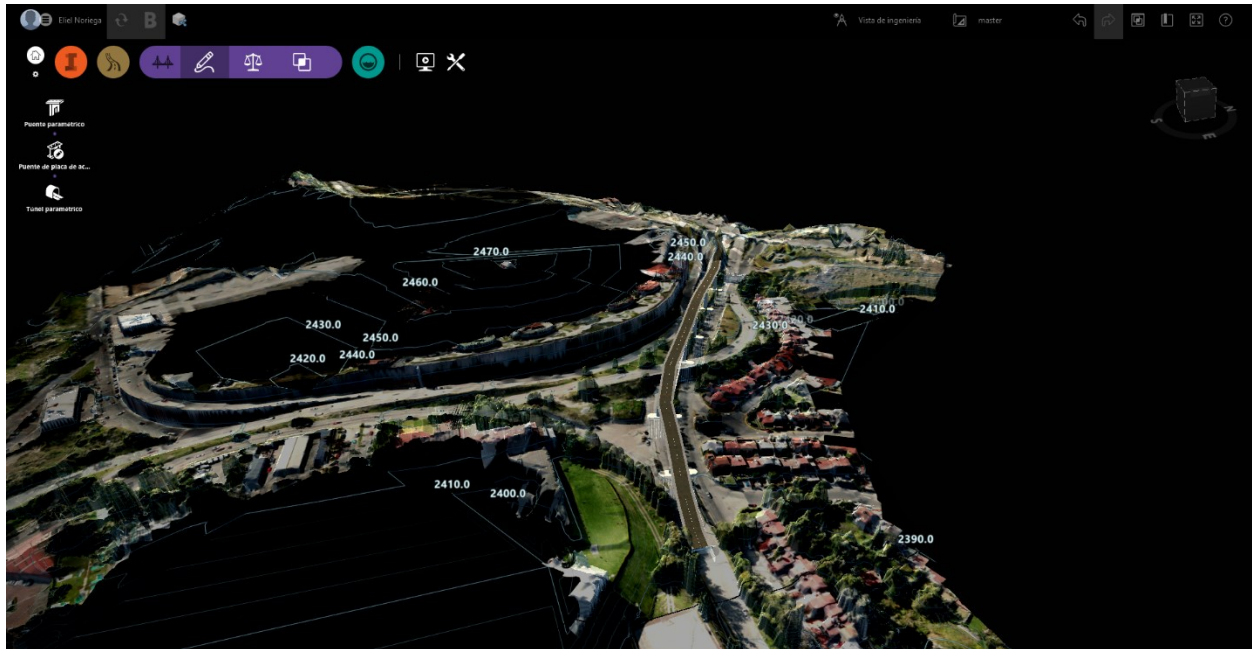


Imagen 18 - Perspectiva de puente frente salida en Paseo Lomas Verdes (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).

**Cantidades de material**

Carretera compuesta 1  
Intervalo de P.K.: 0+000.000 - 0+564.671

▼ Puente					
▼ Puente 1	Hormigón prefabricado (m <sup>3</sup> )	Hormigón moldeado in situ (m <sup>3</sup> )	Acero (estructural) (MT)	Acero (refuerzo) (MT)	
Total	1540.571	5671.042	0.000	0.000	
Superestr...	1540.571	1672.754	0.000	0.000	
Subestruc...	0.000	3998.288	0.000	0.000	
▼ Componente ...					
▼ Carril			Longitud (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Surfa...			1129.342	4065.631	813.126
▼ Arcén			Longitud (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Surfa...			1129.342	1694.013	338.803

\* Algunos elementos no se incluyen en los cálculos de cantidades, consulte [documentación de ayuda](#) para obtener más información.

**Generar informe**

Imagen 19 - Cantidades de materiales (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión 19.3.32.0).



Perfil longitudinal [Carretera compuesta 1]

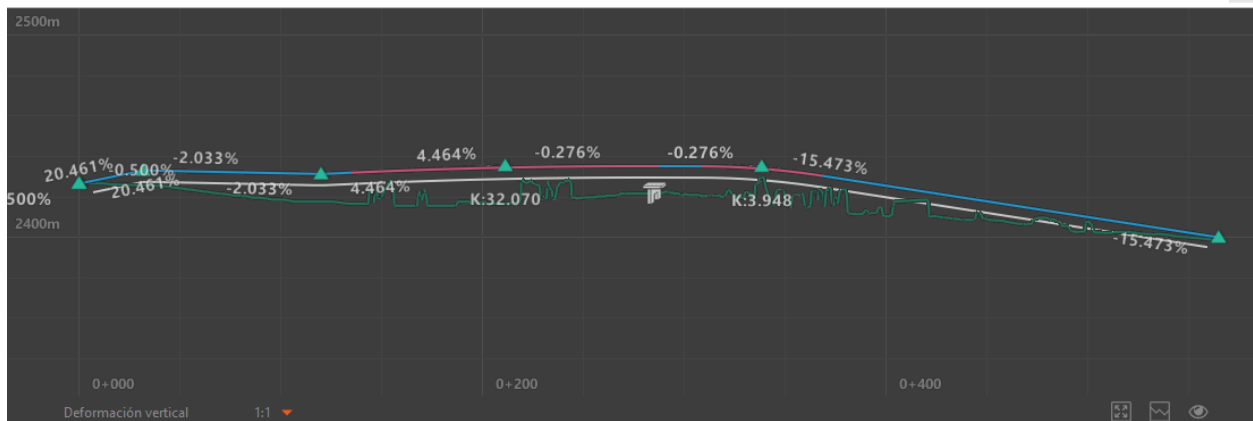


Imagen 20 - Perfil longitudinal del puente (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión 19.3.32.0).

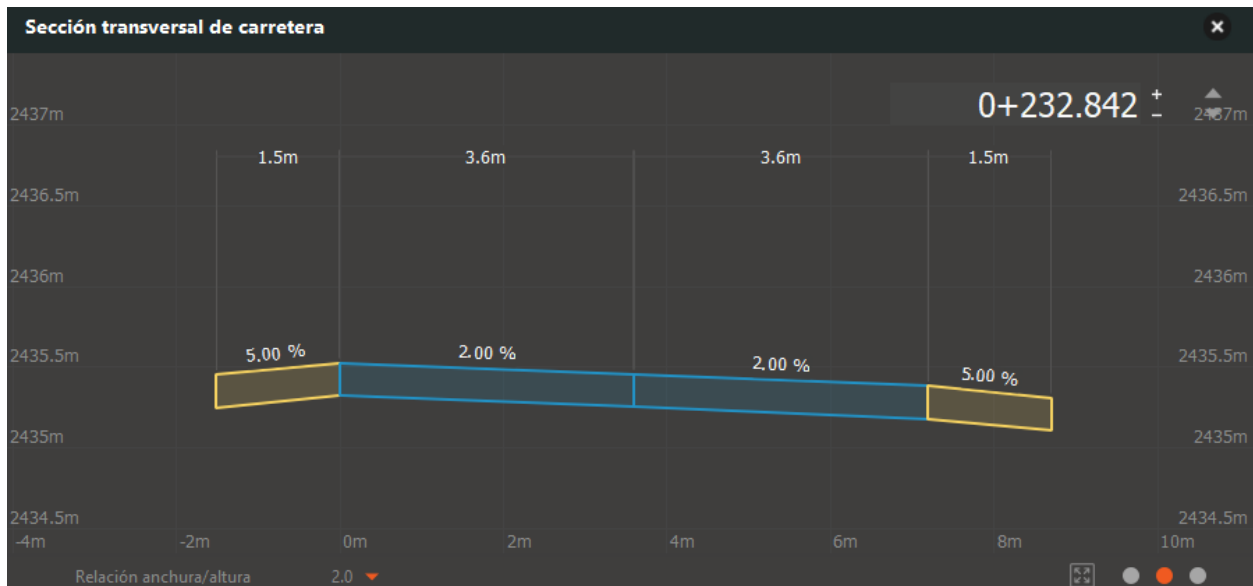


Imagen 21 - Una Sección transversal del puente (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión 19.3.32.0).

Este diseño conceptual producto de InfraWorks se puede considerar un insumo en las etapas de ingeniería siguientes del proyecto ejecutivo. Para ello es necesario dar paso a compartir el modelo en un servicio de almacenamiento de información en la nube como A360 drive propio de Autodesk, OneDrive en el caso de Microsoft o GoogleDrive de Google, entre otros, además puede compartirse en el formato propio del programa InfraWorks o con otras extensiones con la facilidad de ser compatible con otros programas especializados y que pueden interconectarse entre ellos para manipular o modificar obras de infraestructura, por ejemplo, AutoCAD Civil 3D (véase imagen 22), AutoCAD Map 3D (véase imagen 23) y Revit (véase imagen 24).

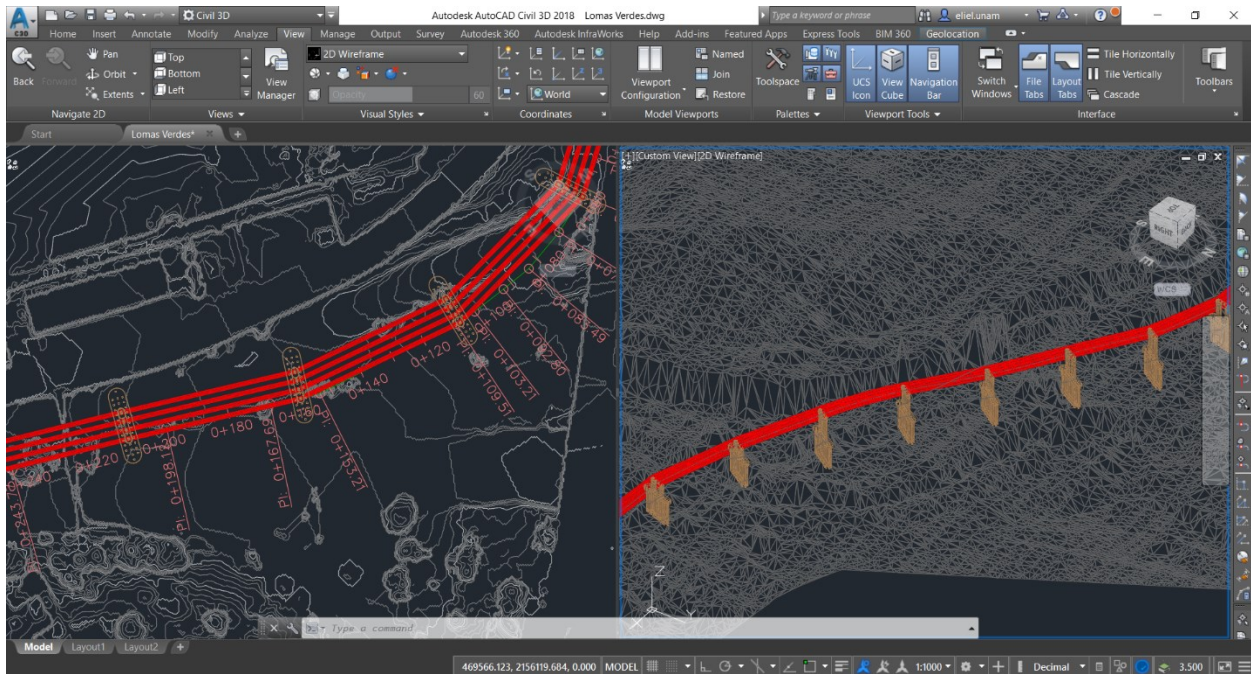


Imagen 22 – Modelo tridimensional compartido en BIM visualizado en AutoCAD Civil 3D 2018 (Elaboración propia en AutoCAD Civil 3D 2018).

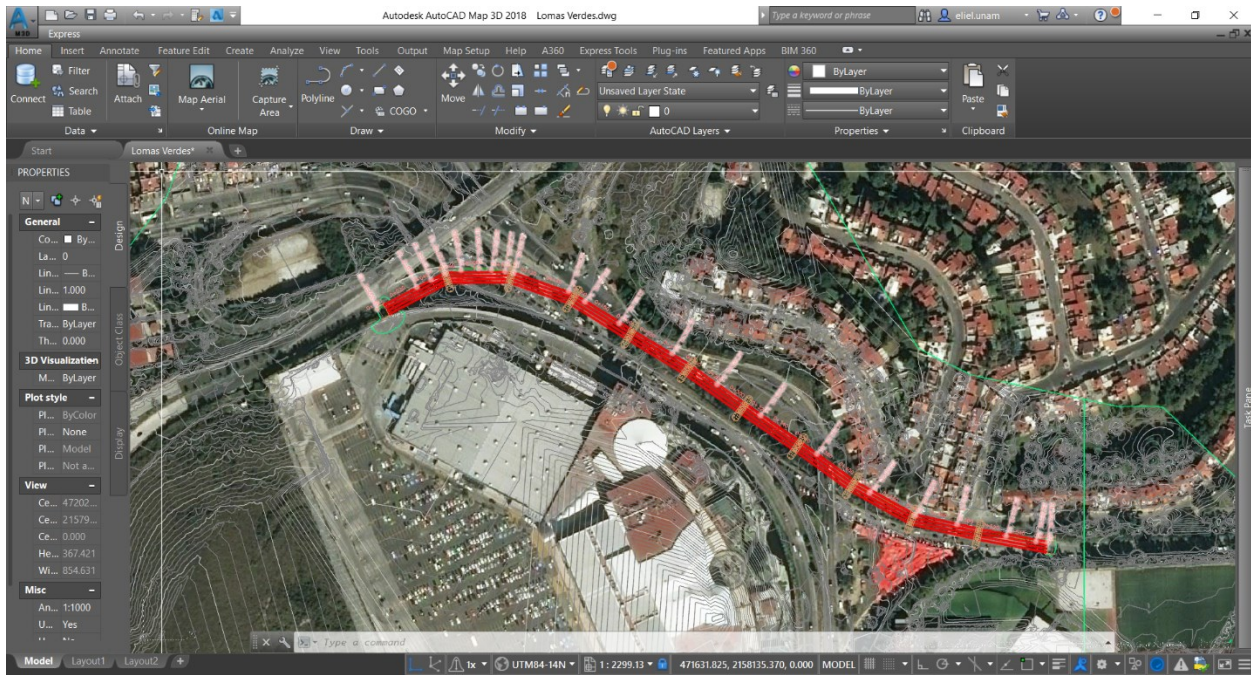
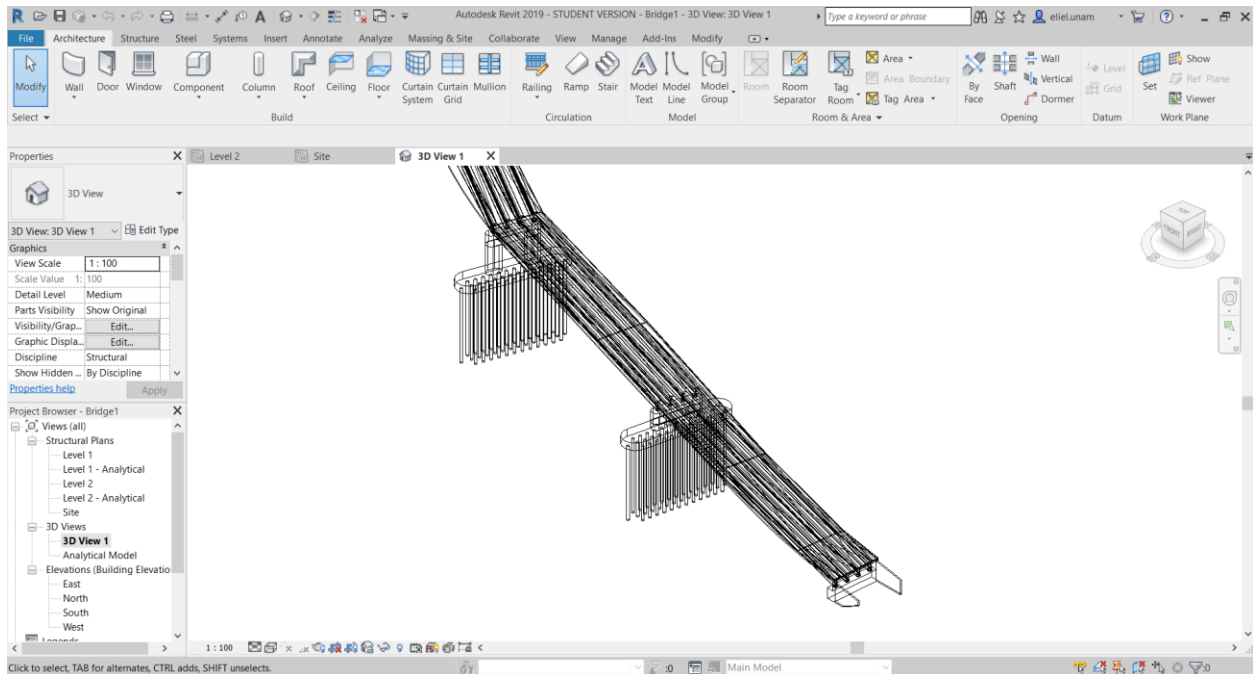


Imagen 23 - Modelo tridimensional compartido en BIM visualizado en AutoCAD Map 3D 2018 (Elaboración propia en AutoCAD Map 3D 2018).



**Imagen 24 - Modelo tridimensional compartido en BIM visualizado en Revit 2019 (Elaboración propia en Revit 2019).**

Al terminar de compartir la información con otros especialistas de un equipo de trabajo multidisciplinario, se espera una retroalimentación del modelo tridimensional conceptual montado en un sistema de almacenamiento en la nube cumpliendo con el Modelado de Información de Construcción (BIM), y con ello pasar a la ejecución los procesos de ingeniería a detalle y cumplir con las normal de diseño de las dependencias de gobierno y autoridades correspondientes en la aprobación y ejecución de la obra.

## Conclusiones

Este trabajo se propuso realizar un levantamiento fotogramétrico con vehículos aéreos no tripulados que está de acuerdo con un reglamento vigente y fue capaz de obtener la información de una manera rápida, segura y con un costo menor en comparación de otros métodos como el levantamiento topográfico

También se pudo comprobar que el uso de nuevas tecnologías y programas con métodos innovadores como BIM nos permiten manipular y compartir un modelo tridimensional de la zona de estudio en internet mediante un almacenamiento en la nube y con ello facilitando la edición y generación de una propuesta de infraestructura vial.

La recomendación para lugares de estudio con cambios de pendiente abruptos y con altos flujos vehiculares similares a la zona La Cúspide es utilizar el levantamiento fotogramétrico con vehículos aéreos no tripulados para disminuir riesgos por accidentes, además de siempre revisar las condiciones meteorológicas antes de volar para optimizar resultados. Este tipo de trabajos también es recomendable para casos donde la precisión sea suficiente para generar modelos tridimensionales de la realidad y generar modelos conceptuales de infraestructura cuyos propósitos sean planear futuras obras de que pueden ser viales o de cualquier otro tipo como: infraestructuras férreas, aeroportuarias, centros comerciales, estadios, viviendas, industrias, hospitales y centros educativos incluyendo universidades.

En comparación con el levantamiento fotogramétrico aun a pesar de la mejora en tecnologías de captura y procesamiento de la información, el levantamiento topográfico sigue teniendo una mayor precisión, por lo cual es recomendable que al concluir la etapa de planeación, sea necesario realizar un levantamiento topográfico para obtener nuevos datos con la precisión necesaria para iniciar los procesos constructivos y sumar estos resultados a los levantamientos fotogramétricos y viceversa en el caso de darle seguimiento a la etapa constructiva.

De forma similar la elección de programas para realizar este trabajo es una recomendación ya que existen otros que pueden generar resultados similares en cuanto a la generación de datos, manipulación y creación de proyectos viales, estos programas pueden ser libres o de paga con altos costos para su adquisición, lo cual dependerá de los usuarios y de los recursos económicos con los que se cuenten.

De igual importancia si bien esta planeación se apegó a la reglamentación en México y los compromisos asumidos para cumplir la Nueva Agenda Urbano ONU-Habitat y los aspectos relacionados con el diseño de espacio público, movilidad y planeación, así como la normativa propia de nuestro país no se mencionaron los aspectos del contexto político y económico que no necesariamente responden a los mismos intereses y sean estos últimos en quienes recaen las decisiones que en algunas ocasiones son poco consensadas.

Finalmente dentro del campo de estudio de la geografía y el uso de las técnicas adquiridas en la academia, así como la experiencia profesional en el análisis, resolución de problemas sociales y planeación de estrategias oportunas como fue el caso de zona de La Cúspide en el municipio de Naucalpan de Juárez en el Estado de México durante el 2019, se obtuvo como resultado un modelo tridimensional que cuenta con una propuesta de infraestructura vial a nivel conceptual que contribuye en la mitigación de los conflictos del tránsito vehicular, así como en el aumento de oferta vial que optimice la movilidad cotidiana y mejore la calidad de vida de los habitantes de la zona de estudio con impacto regional y metropolitano del Valle de México.

Concluyendo que, si es posible realizar mediante el uso de la fotogrametría generada con Vehículos Aéreos No Tripulados, una planeación de la infraestructura vial, a partir del Modelado de Información de Construcción (BIM) en la optimización de la movilidad cotidiana mejorando la calidad de vida de los habitantes de la Cúspide en el municipio de Naucalpan de Juárez en el Estado de México en el 2019.

Recomendando para futuros trabajos ampliar el modelo tridimensional con una simulación de la realidad y poder pronosticar escenarios e integrarlos a escenarios aún más extensos de las ciudades

## Fuentes de Consulta.

- (Autodesk.Inc). (2018). COMIENZA A USAR BIM PARA INGENIERÍA CIVIL. *Autodesk*, 14.
- (EUBIM). (2017). Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo. *EUBIM TASKGROUP*, 80.
- Acuña Correa, F. X. (2016). *APLICACIÓN DE MODELO BIM PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Aguirre Gómez, R. (2009). *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*. México: UNAM.
- Caire Lomelí, J. (2003). *Fotogrametría Aérea*. México: UNAM.
- Fonrouge, S. (2015). Ondas Electromagnéticas, 1–13. Retrieved from <https://sites.google.com/site/ondaselecmag/anexos>
- Moizo Marrubio, P. (2004). LA PERCEPCIÓN REMOTA Y LA TECNOLOGÍA SIG: UNA APLICACIÓN EN ECOLOGÍA DE PAISAJE, 1–24.
- Mora Serrano, F. J., & Valero López, I. (2018). *Una aproximación de la fotogrametría a la dinámica BIM*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Naucalpan de Juárez, M. de J. (2016). Plan de desarrollo municipal naucalpan de Juárez 2016 - 2018, 396.
- Niño Chico, R. (2008). *Procesamiento de fotografías aéreas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nueva Agenda Urbana*. (2016).
- Operación, R. De, Fomento, D., & Territorial, O. (2019). Reglas de Operación del Programa de Fomento a la Planeación Urbana, Metropolitana y Ordenamiento Territorial (PUMOT). *Diario Oficial de La Federación*, 41.
- Quintino Zepeda, A. (2018). *Movilidad accesibilidad y planeación constitucional CDMX*. (S. A. de C. V. Arquinsa, Ed.). Ciudad de México.
- Ramírez Sáenz, J. A., Gómez Sánchez, J. M., Ponz Tienda, J. L., Romero Cortés, J. P., & Gutiérrez Bucheli, L. (2018). Requisitos para un plan de ejecución de BIM (BEP): propuesta de aplicación en Colombia. *Escuela Técnica Superior de Edificación Universidad Politécnica de Madrid*, 2(2), 14.
- Rosete, F., & Bocco, G. (2001). Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales. *Gaceta Ecológica*, 43–54.
- Sánchez Sobrino, J. A. (2007). *Introducción a la fotogrametría*. Madrid: E. T. S. I. Caminos, Canales y Puertos.
- Vasquez, J. C., & Backhoff, M. A. (2017). Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte. *Publicacion Tecnica Instituto Mexicano Del Transporte*, (490), 92.

# Índice de Diagramas, Gráficas, Ilustraciones, Imágenes y Tablas.

## Diagramas

Diagrama 1 – Aeronaves por tipo (Elaboración propia).....	12
Diagrama 2 – Aeronaves por peso según la circular CO AV 23/10 R2 publicada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con fecha de 25 de julio de 2017 (Elaboración propia). ....	13
Diagrama 3 - Marco legal de la Planeación Municipal (Naucalpan de Juárez, 2016). ....	31
Diagrama 4 - Propuesta de proceso de planeación en la readecuación geométrica de vialidades en la zona de la cúspide, Naucalpan Estado de México en el 2019. ....	33
Diagrama 5 - Control Remoto Mavic Pro (Manual de usuario Mavic Pro 2017). ....	57
Diagrama 6 - Aeronave Mavic Pro (Manual de usuario Mavic Pro 2017).....	58

## Gráficas

Gráfica 1 - Crecimiento de población y hogares en Naucalpan de Juárez de 1990 al 2015 (Elaboración propia con datos INEGI).....	35
Gráfica 2 - Pirámide poblacional de Naucalpan de Juárez en el 2020 (Elaboración y estimación propia con datos INEGI). ....	36
Gráfica 3 - Los 15 distritos con mayor número de viajes entre semana con el distrito 108 CC Lomas Verdes - Cerro de Moctezuma, Encuesta Origen Destino ZMVM 2017 INEGI (Elaboración propia con datos de la Encuesta Origen Destino Hogares ZMVM 2017 INEGI). ....	41

## Ilustraciones

Ilustración 1 – Fases de la Percepción Remota (Elaboración Propia en Microsoft Visio). ....	10
Ilustración 2 - Espectro electromagnético (Fonrouge, 2015). ....	11
Ilustración 3 - Flujo de trabajo BIM (Autodesk.Inc).....	20
Ilustración 4 - Encuesta Origen Destino Hogares 2017-ZMVM (Elaborado por Instituto de Ingeniería de la UNAM a partir de datos de la Encuesta Origen Destino 2017 INEGI). ....	41
Ilustración 5 – Aforos en la intersección con Avenida Lomas Verdes (Elaboración propia en AutoCAD Map 3D). ....	49
Ilustración 6 - Aforos en la salida a Paseo Lomas Verdes (Elaboración propia en Autocad Map 3D).....	49
Ilustración 7 - Aforos en la salida de Avenida Lomas Verdes (Elaboración propia en Autocad Map 3D). ....	50

## Imágenes

Imagen 1 - Captura de imagen de satélite 2003 (Google Earth).....	46
Imagen 2 - Captura de imagen de satélite 2018 (Google Earth).....	47
Imagen 3 - Captura de imagen de satélite con tráfico típico del día martes a las 07:50 horas del 2018 (Google Earth).....	47
Imagen 4 – Tipos de vuelo en Pix4D Capture (Versión 4.5.0, 2018). ....	59
Imagen 5 – Configuración en Pix4D Capture (Versión 4.5.0, 2018).....	59

Imagen 6 – Configuración de vuelo Pix4D Capture (Versión 4.5.0, 2018).....	60
Imagen 7 - Líneas de vuelo y supervisión de fotografías (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).....	61
Imagen 8 - Calidad del levantamiento fotogramétrico (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).....	62
Imagen 9 - Orientación de imágenes y estimación de error (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).....	63
Imagen 10 - Calibración de la cámara (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).....	63
Imagen 11 - Ortomosaico (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).....	65
Imagen 12 - Modelo digital de elevación (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).....	66
Imagen 13 - Nube de puntos (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1).....	67
Imagen 14 – Interfaz del programa InfraWorks (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).....	68
Imagen 15 - Interfaz del programa InfraWorks (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).....	69
Imagen 16 - Perspectiva de puente frente al entronque Autopista Chamapa- Lechería, Avenida Lomas Verdes, Paseo Lomas Verdes, Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú y Boulevard Hernán Cortes. (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).....	70
Imagen 17 - Perspectiva de puente frente al entronque Autopista Chamapa- Lechería, Avenida Lomas Verdes, Paseo Lomas Verdes, Vía Dr. Jorge Jiménez Cantú y Boulevard Hernán Cortes. (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).....	70
Imagen 18 - Perspectiva de puente frente salida en Paseo Lomas Verdes (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión: 19.3.32.0).....	71
Imagen 19 - Cantidades de materiales (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión 19.3.32.0).....	71
Imagen 20 - Perfil longitudinal del puente (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión 19.3.32.0).....	72
Imagen 21 - Una Sección transversal del puente (Elaboración propia en InfraWorks 2019.3 Versión 19.3.32.0).....	72
Imagen 22 – Modelo tridimensional compartido en BIM visualizado en AutoCAD Civil 3D 2018 (Elaboración propia en AutoCAD Civil 3D 2018).....	73
Imagen 23 - Modelo tridimensional compartido en BIM visualizado en AutoCAD Map 3D 2018 (Elaboración propia en AutoCAD Map 3D 2018).....	73
Imagen 24 - Modelo tridimensional compartido en BIM visualizado en Revit 2019 (Elaboración propia en Revit 2019).....	74

## Tablas

Tabla 1 - Clasificación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (la circular CO AV 23/10 R2 publicada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con fecha de 25 de julio de 2017).....	14
Tabla 2 - Límites de velocidad del RPAS (la circular CO AV 23/10 R2 publicada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con fecha de 25 de julio de 2017).....	14



Tabla 3 - Jeraquización de Vialidades (Elaboración propia).....	43
Tabla 4 - Clasificación Vehicular Utilizada (Elaboración propia a partir del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018 SCT). .....	48
Tabla 5 - Simplificación de la clasificación vehicular (Elaboración propia a partir del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018 SCT) .....	48
Tabla 6 - Resultados de la estación Autopista Chamapa Lechería antes del entronque con avenida Lomas Verdes (Elaboración propia). .....	51
Tabla 7 - Resultados de la estación Avenida Lomas Verdes, entre Bosque Alto y Paseo de las Naciones (Elaboración propia).....	52
Tabla 8 - Nivel de servicio (Elaboración propia a partir del Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, edición 1991) .....	54
Tabla 9 – Resultados del vuelo fotogramétrico (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1). .....	64
Tabla 10 - Resultados de la generación de nube de puntos (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1). Dentro de los resultados del vuelo fotogramétrico se generó el modelo digital de elevación donde se muestra en tono azul las zonas de menor elevación en el modelo y en tono rojo las zonas que tienen mayor, lo cual es gran ayuda conocer y visualizar para la propuesta de obras de infraestructura. 65	
Tabla 11 - Resultado del modelo tridimensional (Elaboración propia en Agisoft MetaShape Professional Versión 1.5.1) .....	66