

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL CON MODELOS FÍSICOS PARA
GENERACIÓN DE CRITERIOS DE PELIGRO POR INUNDACIÓN Y PARA
CARACTERIZACIÓN DE EFECTOS DEL ARRASTRE DE SÓLIDOS SOBRE
ESTRUCTURAS DE CRUCE EN RÍOS DE ZONAS URBANAS”**

CONVENIO SGT-GASIR-DF-15-17-RF-AD
CLAVE IMTA: HC-1527.3

INFORME FINAL

PARTE 1

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA LA GENERACIÓN DE CRITERIOS DE PELIGRO
POR INUNDACIÓN (NOMOGRAMAS) EN RÍOS DE ZONAS URBANAS”**

Coordinación de Hidráulica
Subcoordinación de Obras y Equipos Hidráulicos

Jefe del Proyecto:
M.I. Juan Antonio López Orozco

Participantes:
Dr. Manuel Martínez Morales
M.C. Omar Fonseca Moreno
M.I. Cecilia Millán Barrera

Supervisión:
Ing. Efrén Martínez Ramírez

Noviembre de 2015

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
I. RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	5
II. CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS QUE SE REPRESENTAN EN MODELOS.....	19
III. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE LOS MODELOS.....	55
IV. CALIBRACIÓN Y ENSAYOS PRELIMINARES.....	92
V. ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE LOS MODELOS Y MODIFICACIONES	95
VI. GENERACIÓN DE NOMOGRAMAS DE PELIGRO.....	121
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes amenazas naturales que con frecuencia afectan las zonas urbanas, entre ellas destaca las de origen hidrometeorológico, sobre todo precipitaciones intensas, de corto tiempo y las provocadas por ciclones tropicales, las cuales al vincularse con el proceso de construcción de zonas urbanas pueden causar grandes desastres al ocurrir inundaciones. Las consecuencias de esto se manifiestan en pérdidas económicas, daños materiales y humanos.

Por ello se ha realizado la búsqueda de acciones e innumerables investigaciones para intentar disminuir el impacto de las inundaciones. Diversos estudios en torno al efecto de la urbanización en una cuenca de un río debido al aumento de las zonas impermeables y a la ocupación de las llanuras de inundación del río.

México no está exento de las inundaciones, ya que se encuentra ubicado en una zona donde se presentan una serie de diversos fenómenos meteorológicos que producen condiciones extremas de precipitación, desde la acción de ciclones tropicales, hasta precipitaciones originadas por fenómenos convectivos. De los casos más catastróficos en México se pueden recordar los daños ocasionados por el huracán Gilberto en 1988 con más de 200 muertes (ver Figura 3.1), así como los provocados por el huracán Pauline en 1997, las inundaciones en Chiapas en 1998, las lluvias de invierno en Baja California y Baja California Sur en 1993, así como en Tabasco en 1999, 2003, 2007 y 2010, con esto se puede observar que todo el territorio nacional ha sufrido los efectos de las inundaciones.

En los últimos años la inversión en acciones estructurales y no estructurales para controlar y prevenir las inundaciones se ha incrementado. La CONAGUA ha trabajado arduamente para lograr ciudades seguras.

La invasión de la zona federal, la construcción de estructuras de cruce, el incremento de la impermeabilidad de las cuencas, son algunas de las causantes de las inundaciones en México.

Debido a lo anterior la CONAGUA quiere llevar a cabo un estudio experimental para generar criterios de peligro por inundación aplicado a peatones que midan los criterios alto, medio, bajo y nulo peligro, basados en la estabilidad de las personas en el cruce de calles inundadas. Tener un análisis de peligro de este tipo es importante para la prevención, planeación y manejo del uso de suelo en el país.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es generar nomogramas de vulnerabilidad por inundación aplicado a peatones para la construcción de mapas de peligro integrales que consideren tirante (y) máximo, velocidad (V) máxima, estabilidad al vuelco y estabilidad al deslizamiento. Para lo cual se evaluarán los efectos del flujo en el peatón en un módulo de una calle a escala real (1:1) variando los parámetros.

I. RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Con la finalidad de estudiar la estabilidad de personas en zonas urbanas durante inundaciones, se han propuesto modelos físicos experimentales, representando una vialidad y considerando distintas situaciones a las que puede presentar una persona durante la acción de cruzar una calle; provocando una pérdida de estabilidad por los efectos que genera el tirante y la velocidad. Se han generado nomogramas de peligro por inundación para diferentes situaciones; y dependiendo del autor, puede considerar algunas condiciones durante el estudio más relevantes que otras. A continuación en la Figura I.1, se presenta un nomograma para la evaluación del peligro por inundación.

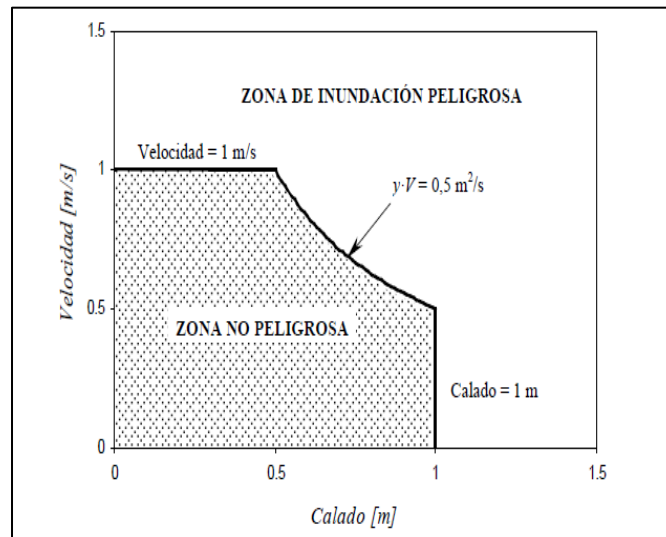


Figura I.1 Nomograma de peligro por inundación (Témez, 1992).

Muchos autores proponen criterios basados sobre la consideración conjunta de los tirantes y velocidades del flujo. De hecho, el flujo ejerce sobre los peatones que deben cruzar calles o circular por vías peatonales, una fuerza y un momento que pueden provocar fenómenos de *deslizamiento*, *arrastre* y *vuelco*. También en este caso, los modelos utilizados en los estudios analizados, en general no han tenido en cuenta el perfil real de las calles (aceras, calzadas con bombeo, etc.) proporcionando resultados más útiles para medio rural y cauces naturales que para medio urbano (Abt et Al., 1989) y (Reiter, 2000).



Figura I.2 Algunas experiencias experimentales sobre la estabilidad humana en canales (Abt et al., 1989; ARMC, 2000).

El Criterio de la Office Fédéral de l'Économie Des Eaux (OFEE). La Oficina Federal de la Economía de las Aguas, Office Fédéral de l'Économie des Eaux (OFEE por sus siglas en francés), es una dependencia del Gobierno de Suiza dependiente del Departamento del Medio Ambiente, Transportes, Energía y Comunicaciones. La OFEE, creó un criterio para evaluar los peligros generados por las inundaciones basado en tres niveles (Loat & Petrascheck, 1997). En México (Rodríguez et al., 2013) realizó una serie de mapas de peligro con este criterio enfocada a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. El criterio se basa en tres categorías:

- **Nivel Alto:** La población está en riesgo dentro y fuera de las viviendas, y las edificaciones están en peligro de colapsar.
- **Nivel Medio:** La población está en riesgo fuera de las viviendas y las edificaciones pueden sufrir daños y colapsar dependiendo de sus características estructurales.
- **Nivel bajo:** El daño que pudiera sufrir la población es bajo, aunque las edificaciones pueden sufrir daños leves; la inundación o el arrastre de sedimentos pueden llegar a afectar el interior de las edificaciones.

Estos criterios relacionan la velocidad y el tirante del flujo “ vh ”, y los daños que puede ocasionar una inundación en una infraestructura por la intrusión de agua en los predios, ver Figura I.3. (El criterio se enfoca más a los daños en infraestructura, por la intrusión del agua en los predios y se apoyó en la ecuación “ vh ” para determinar la distribución de peligro).

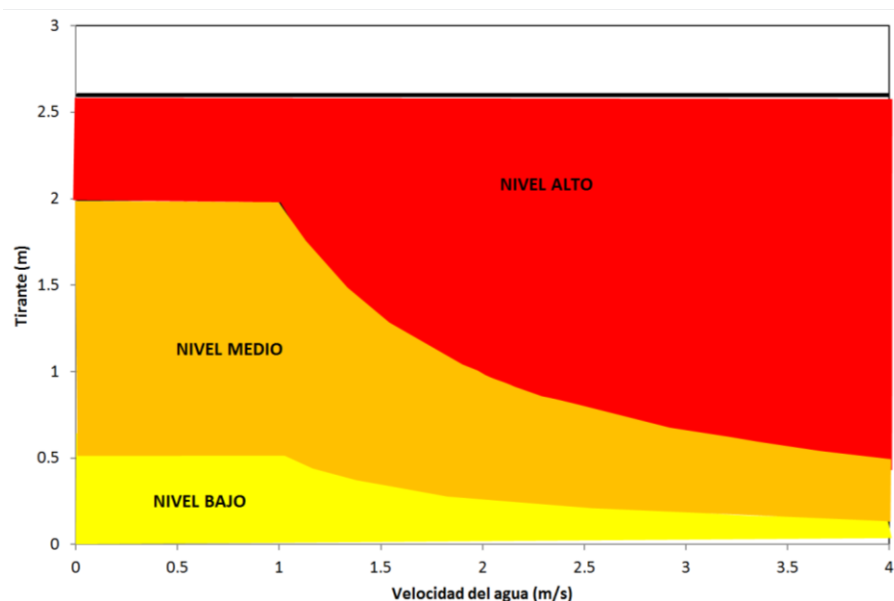


Figura I.3 Niveles de peligro que relacionan el tirante del agua (m) y la velocidad (m/s) adaptada de (OFEE).

El Criterio de la Federal Emergency Management Agency (FEMA). La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, desarrolló un criterio para la generación de mapas de peligro (FEMA, 2009), retomado de (Rodríguez et al., 2014), en el que relaciona la profundidad máxima o tirante máximo h (m) con la velocidad máxima del agua (ver Figura I.4) Con base en estas relaciones establece tres rangos de peligro: zona de nivel bajo, zona de amenaza moderada, zona de alto nivel de amenaza. En México se ha realizado mapas con este criterio (Cervantes, 2012) realizó

mapas de peligro para el río Coetan y además para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

- **Zona de alto peligro:** la vida de las personas puede estar en peligro y se tienen afectaciones estructurales de las edificaciones.
- **Zona de precaución:** se tienen daños a la integridad de las personas y afectaciones en las edificaciones.
- **Zona de bajo peligro:** no representa una afectación a la población, pero las edificaciones pueden sufrir daños ligeros.

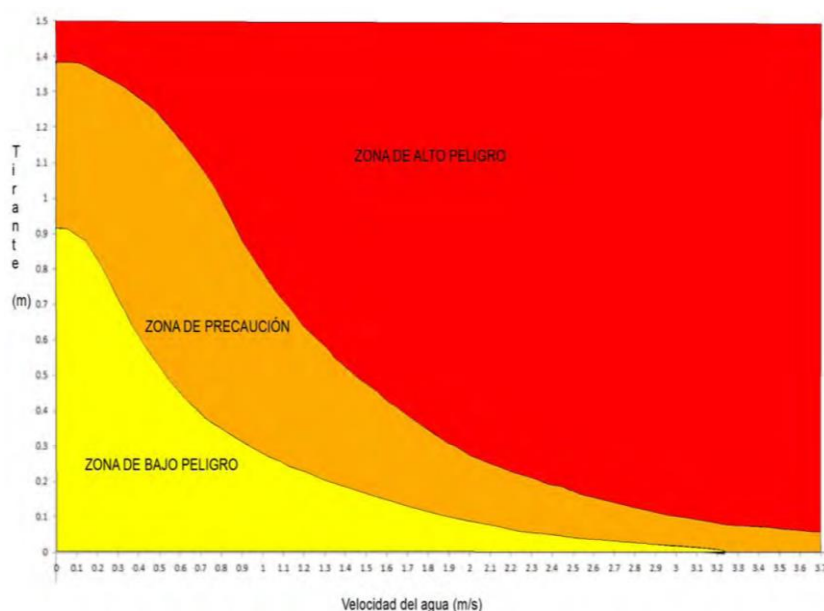


Figura I.4 Niveles de peligro que relacionan el tirante del agua (m) y la velocidad (m/s) adaptada de (FEMA, 2009).

El lugar de aplicación de este criterio fue la ciudad de Dórrigo, Australia, donde se generaron mapas de peligro con base en el criterio de profundidad y velocidad del agua como el mostrado en la Figura I.5, en el que se definen tres rangos de peligro para la zona de New South Wales (NWS, 2005) . Este criterio está basado en la inundación máxima probable y el nivel de inundación, su aplicación

ha sido utilizada en México, donde (Fuentes Mariles, 2011) genero mapas de peligro por inundación para la ciudad de Villahermosa, Tabasco.

- **Nivel alto:** Posible peligro para la seguridad de las personas, donde la evacuación por vehículos es difícil, además los adultos tiene dificultad para cruzar las calles con seguridad y existe un potencial daño estructural a las construcciones.
- **La zona de transición:** destaca por un color intermedio, donde el grado de peligro depende de la condiciones del lugar.
- **Nivel bajo:** En caso de ser necesario, los vehículos pueden evacuar a las personas y sus posesiones, los adultos pueden tener una pequeña dificultad para cruzar las avenidas con seguridad.

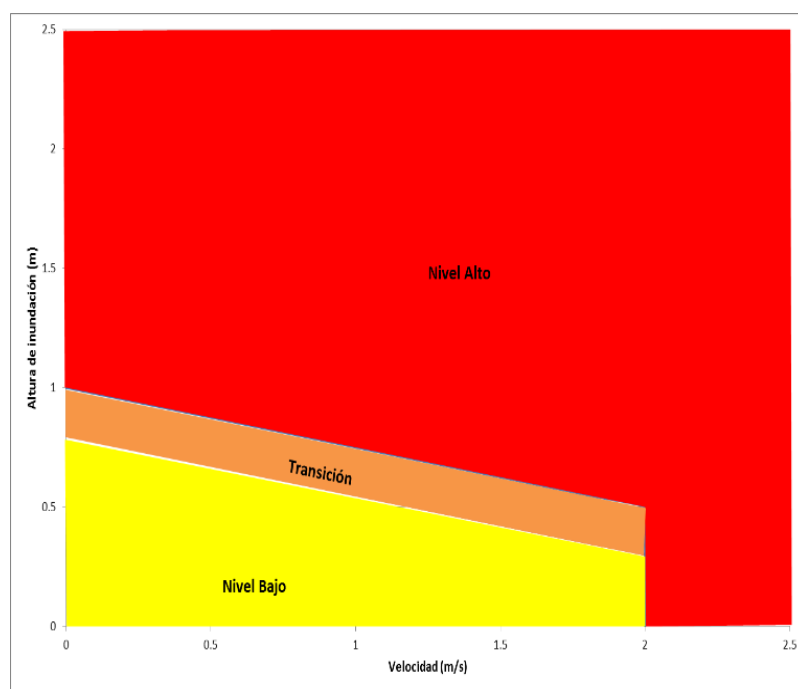


Figura I.5 Niveles de peligro aplicados en la ciudad de Dórrigo, Australia (NSW, 2005).

Un estudio de Inestabilidad humana en flujo de inundaciones (SN JONKMAN Y E. PENNING-ROUSELL, 1999). El experimento se llevó a cabo con un canal a gran escala, donde compuertas controlan la descarga en el río Lea. En épocas de inundación se abren las compuertas, para activar el canal, mientras que en circunstancias normales se cierran para mantener el flujo a través de un vertedor lateral en el río Lea, España.



Figura I.6 Se muestra al sujeto en el canal: prueba permanente (izquierda), prueba corta (derecha).

Las diferencias entre (Abt et Al., 1989) y observaciones de RESCDAM, (Desarrollo de Acciones de Rescate con Base al Análisis de Inundaciones por Falla en Presas, (Karvonen et al., 2000); podrían estar relacionados con las circunstancias de la prueba y el tipo de ropa que las personas estaban usando. Las pruebas FHRC (Centro de Investigación de Riesgo por Inundación), se vestían con ropa similar que en las pruebas por RESCDAM (es decir, un traje seco).

En particular, los datos por FHRC, confirman que, para altas velocidades y bajas profundidades, se produce la inestabilidad antes de lo que se esperaría de acuerdo con el producto de la profundidad y velocidad para el momento de inestabilidad.

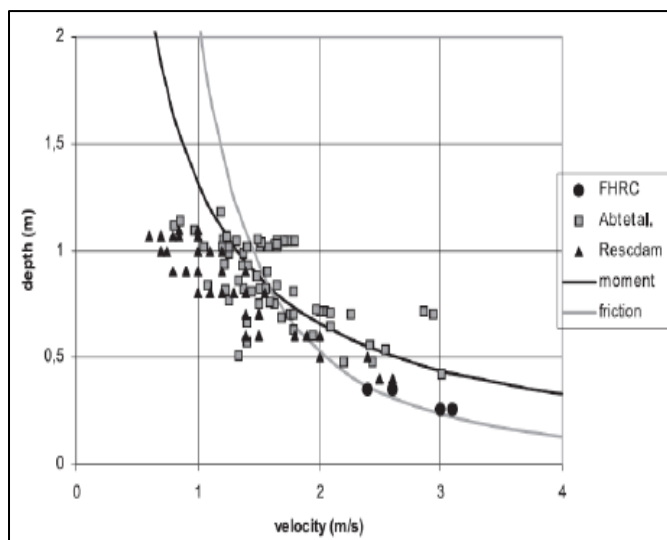


Figura I.7 Combinaciones de tirante-velocidad.

La metodología numérico – experimental para el análisis del riesgo asociado a la escorrentía pluvial en una red de calles (LEONARDO S. NANÍA ESCOBAR, TESIS DOCTORAL EN UPC, BARCELONA AGOSTO 1999). El objetivo principal es el desarrollo de un modelo numérico que permita conocer las características del flujo (velocidad, tirante) a lo largo de un conjunto de calles cuando éstas actúen como red de drenaje pluvial. Para ello se ha diseñado un modelo que simula el comportamiento hidráulico (flujo no permanente unidimensional) en las propias calles. Este modelo utiliza como condiciones de frontera en los extremos de las calles, los resultados obtenidos en un estudio experimental del comportamiento hidráulico de los cruces, supuesto régimen supercrítico en las calles de entrada y salida. A partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo numérico, se proponen unos criterios para definir el peligro por inundación.



Figura 1.8 Modelos experimentales y numéricos (distribución de tirantes y velocidades).

Consideró un tirante máximo admisible a partir del Manual de criterios de Drenaje de Denver, Colorado (Wright-McLaughlin, 1969), tirante < 0.45 m, para protección de viviendas; y (Témez, 1992) tirante < 0.3 m, ya que existe serio riesgo de pérdida de vidas humanas o graves daños personales.

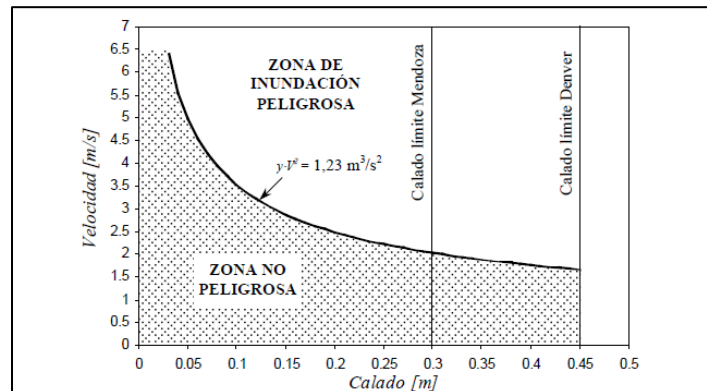


Figura 1.9 Criterios propuestos para la delimitación de la zona de inundación peligrosa.

El modelo físico para el estudio de los criterios de riesgo en zonas urbanas, (MANUEL GÓMEZ VALENTÍN, FRANCESCO MACCHIONE, BENIAMINO RUSSO, NOVIEMBRE 2009). Teniendo en cuenta el marco expuesto anteriormente, en 1997 el Grupo de Investigación FLUMEN (Instituto en Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica), de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) inició una línea de investigación en el campo de la estructura de drenaje superficial de

la hidráulica. La primera campaña experimental refiere a la caracterización hidráulica de varias entradas de uso general en Barcelona. Con este objetivo, fue diseñado un modelo físico y construido en el laboratorio de hidráulica de la UPC.

Los parámetros de las condiciones del flujo asociados a riesgo alto se han comparado con los criterios de riesgo teórico de deslizamiento y vuelco (Témez, 1992) y (Nanía, 1999), casi todos los puntos están por debajo de las gráficas de (Nanía, 1999), mientras están siempre por encima de la de (Témez, 1992), demostrándose que los criterios teóricos de estabilidad al vuelco y al deslizamiento son inadecuados para representar la realidad de la estabilidad de individuos durante inundaciones en medio urbano.

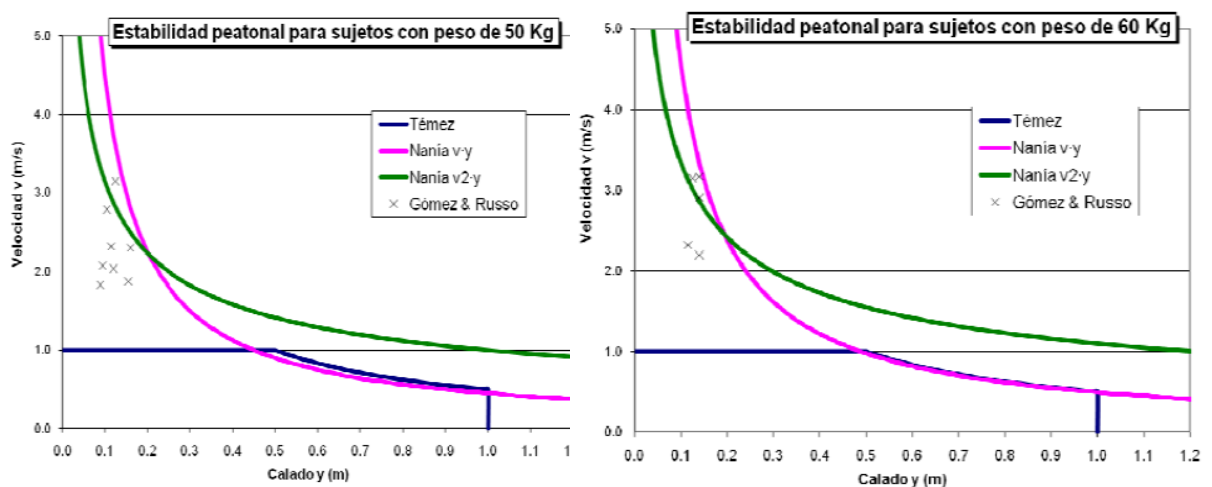


Figura I.10 Regímenes de riesgo propuesto como una función de la profundidad y la velocidad.

La estabilidad de Personas en Flujos de Agua, (E. MARTÍNEZ-GOMARIZ, M. GÓMEZ, B. RUSSO, (PONENCIA 22 DE OCTUBRE DE 2015). Se desarrolló en el laboratorio exterior del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universitat Politècnica de Catalunya, se encuentra la plataforma de ensayos que utilizó (Russo, 2009) para su investigación. Se trata de un modelo que presenta unas dimensiones suficientemente importantes para permitir ensayos a escala

real, o sea 1:1, y garantizar de esta manera que los efectos de escala no se produzcan. Presenta un ancho de 1.6 m, una longitud de 5.0 m y pendiente variable desde 0 a 10 %, dimensiones acordes con el espacio disponible en el laboratorio.



Figura I.11 Modelo físico de calle, ejemplo de pérdida de estabilidad.

La representación de la función $V \cdot Y = 0.5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, como umbral de seguridad para la estabilidad de personas habitual propuesto por diferentes autores (Abt et Al., 1989), (Gómez, 2008) y (Témez, 1992), junto a la representación de la función límite propuesta en el presente estudio (ver Figura I.12), ofrece la posibilidad de obtener conclusiones al respecto. Se representan, no solo los puntos de inestabilidad obtenidos en la actual campaña experimental, sino también los obtenidos en la campaña de (Russo, 2009).

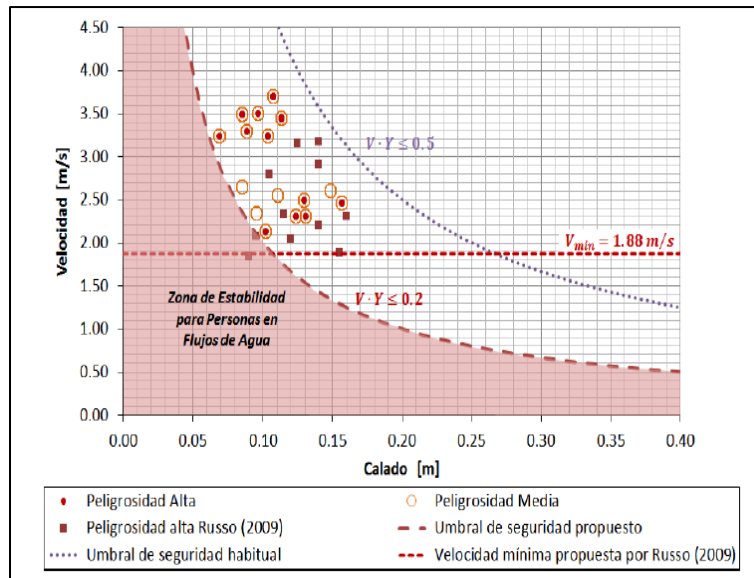


Figura I.12 Representación de las condiciones hidráulicas (velocidad y tirante) que han generado situaciones de peligro medio y alto.

Criterios de riesgo en un medio urbano. En muchos países, el valor máximo del tirante coincide con aquel valor que no permita el ingreso del agua pluvial en los comercios o viviendas particulares (CCRFCD, 1999; CADPW, 1977) (Gómez, 2008). A continuación, se propone una tabla de resumen de los valores de máximos para tirantes encontrados en la bibliografía a nivel mundial con algunas informaciones sobre la tipología y el ámbito del estudio.

Tabla I.1 Criterio de riesgo de tirante máximo: referencias a nivel mundial.

Manual de Drenaje de la Ciudad de Denver (EEUU)	Wright-Mc Laughlin, 1969	0.45	Altura máxima próxima al límite a partir del cual un vehículo empieza a perder adherencia con el pavimento y flotar en el agua	Urbano
Monografía Colegio de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)	Témez, 1992	1.00	Altura máxima para una situación de peligro para individuos en cauces naturales y llanuras de inundación	Rural
Manual de Drenaje del Contado de Clark (EEUU)	CCRFCD, 1999	0.30	Altura máxima para garantizar que la escorrentía no sobrepase el bordillo	Urbano
Criterio de Mendoza (Argentina)	Nanía, 1999	0.30	Altura máxima para evitar el ingreso de agua pluvial en viviendas y comercios	Urbano
Consejo para la Agricultura y la Gestión de los Recursos (Australia y Nueva Zelanda)	ARMC, 2000	1.20 - 1.50	Este criterio no se refiere sólo a la estabilidad de los individuos sino también a los daños generales que esta altura de inundación puede provocar	Urbano
Riesgos hidro-meteorológico (Suiza)	Belleudy, 2004	0.00 - 1.00	Este criterio propone varios tirantes máximos en función del uso del suelo y se refiere a inundaciones provocadas por desbordamiento de ríos	Urbano / Rural
Picba06: Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona	CLABSA, 2006	0.06	Para una lluvia con periodo de retorno de 10 años, tener los dos carriles laterales inundados dejando el resto de la calzada despejado	Urbano

Existen estudios, desarrollados para contextos rurales, como el de (Témez, 1992), que proponen una velocidad límite de 1 m/s . Es evidente que este valor resulta absolutamente inadecuado para estudiar el comportamiento hidráulico en calles.

Tabla I.2 Criterio de riesgo de velocidad máxima: referencias a nivel mundial.

Fuente	Referencia	vmáx (m/s)	Justificación del criterio	Ámbito de estudio
Monografía Colegio de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)	Témez, 1992	1.00	Velocidad límite para que un individuo pueda vencer a nado la resistencia del flujo	Rural
Consejo para la Agricultura y la Gestión de los Recursos (Australia y Nueva Zelanda)	ARM C, 2000	1.50	Velocidad límite, para tirantes pequeños, que supone la pérdida de capacidad por parte de un individuo de caminar por el agua	Urbano
Riesgos hidrometeorológico (Suiza)	Belleudy, 2004	0.25 - 1.00	Este criterio propone varias velocidades máximas en función del uso del suelo y se refiere a inundaciones provocadas por desbordamiento de ríos	Urbano / Rural

Otros estudios han abordado el problema bajo un punto de vista teórico (Abt et Al., 1989) y (Nanía, 1999); considerando un cierto grado de aproximación en el uso de diferentes coeficientes de seguridad y de formas.

Tabla I.3 Criterios de riesgo basados en la consideración conjunta de tirantes y velocidades.

Fuente	Referencia	$v \cdot y$ (m^2/s)	$v^2 \cdot y$ (m^3/s^2)	Justificación del criterio	Ámbito de estudio
Agencia Federal Americana para la Gestión de Emergencias (EEUU)	FEMA, 1979	0.56	-	El valor del producto representa la condición límite a partir de la cual un peatón adulto empieza a perder estabilidad (el estudio argumenta que para niños este producto bajaría sensiblemente) límite representa el comienzo	Urbano / Rural
Estudio sobre la estabilidad humana en zonas de riesgo (EEUU)	Abt, 1999	0.70 - 2.12		Los valores del producto límite hallados a través de pruebas experimentales, varían dependiendo de la altura y del peso de las personas (a mayor producto peso por altura, mayor estabilidad)	Urbano / Rural
Monografía Colegio de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)	Témez, 1992	0.50	-	Altura máxima para individuar una situación de peligro para individuos en cauces naturales y llanuras de inundación	Rural
Manual de Drenaje del Contado de Clark (EEUU)	CCRFCD, 1999	0.55		Altura máxima para garantizar que la escorrentía no sobrepase el bordo de la acera	Urbano
UPC (España)	Nanía, 1999	-	1.00	Estudio teórico de la estabilidad de un peatón frente al fenómeno del deslizamiento	Urbano
Proyecto Europeo RESCDAM (Finlandia)	Reiter, 2000	0.25 - 0.70		Este criterio se refiere a experiencias experimentales. Los dos valores presentados se refieren a pérdida de estabilidad frente al flujo para individuos adultos y niños	Rural
Curso de Hidrología Urbana (España)	Gómez et al, 2008	0.45	-	Estudio teórico de la estabilidad de un peatón frente al fenómeno del vuelco	Urbano

II. CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS QUE SE REPRESENTAN EN MODELOS

Se estudió los procesos o las variables que se van a representar en el módulo experimental para poder obtener una caracterización del efecto de las inundaciones en el peligro que ocurre en las calles urbanas cuando el peatón realiza sus actividades diarias. Las variables a caracterizar son las siguientes:

- ✓ Dimensionamiento de la vialidad.
- ✓ Coeficiente de rugosidad.
- ✓ Tipos de suela del calzado.
- ✓ Caracterización de las medidas y peso de la población mexicana.
- ✓ Identificación de zonas inundables en México para caracterizar las pendientes de las calles urbanas

Dimensionamiento de la vialidad

La caracterización del dimensionamiento de la vialidad se hará con base a dos reglamentos que son los siguientes:

- ✓ Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.
- ✓ Manual de diseño de espacio público.

Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal


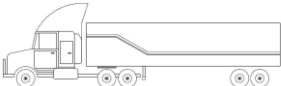
De este reglamento se tomara el tipo D de carretera el cual es similar a una calle urbana.

Carretera tipo D

Red alimentadora, son carreteras que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria, Fe de erratas publicada en el DOF 25 de marzo de 1994.

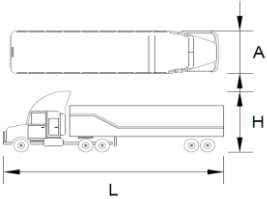
PESO. - Fuerza que ejerce sobre la superficie terrestre un vehículo expresado en kilogramos-fuerza (Kgf).

Tabla II.1 Peso bruto vehicular máximo en toneladas.

Tipo de vehículo	Configuración vehicular	No. De llantas	Peso para camino tipo D
C4		8	22
		14	31

Dimensiones de vehículos máximas autorizadas (Alto, ancho y largo máximo expresado en metros, de un vehículo en condiciones de operación incluyendo la carga).

Tabla II.2 Dimensiones máximas autorizadas (m)

Tipo de vehículo	Configuración vehicular	Dimensiones para camino tipo D
C4		L= 12.50
		A= 2.60
		H= 4.15

L= Largo en metros

A= Ancho en metros

H= Alto en metros

Manual de diseño de espacio público

Vialidad

Es la parte del espacio público destinada al movimiento de las personas, ya sea en automóvil, en bicicleta o caminando. El conjunto de las diversas vialidades que conforman el territorio forman el sistema vial, que interconecta el conjunto de unidades territoriales urbanas, permitiendo la circulación de las personas y bienes en los centros de población.

El sistema de vialidad se clasifica en:

Interurbano

Es aquel que comprende las vialidades regionales que enlazan los centros de población, y pueden ser federales, estatales y rurales.

Intraurbano

El sistema Intraurbano se refiere a las vialidades dentro de los límites del centro de población y que lo estructuran enlazando sus diferentes unidades urbanas. Se clasifican en Sistema vial primario y Sistema vial secundario.

El Sistema Vial Primario

Estructura los espacios en la totalidad del área urbana y que forma parte de su zonificación y de la clasificación general de los usos y destinos del suelo.

Se divide en:

- Vialidades de acceso controlado
- Vialidades principales.

El Sistema Vial Secundario

Destinado fundamentalmente a comunicar el primer sistema vial con todos los predios del centro de población.

Se divide en:

- Vialidades colectoras
- Vialidades colectoras menores
- Vialidades subcolectores
- Vialidades locales
- Vialidades tranquilizadas
- Vialidades peatonales
- Ciclopistas.

Tabla II.3 Local d (un sentido)

Tipo de vialidad	Derecho de vía mínimo total (m)	Sentido	Total de banqueta (mínimo en m)	Sendero (mínimo en m)	Borde (mínimo en m)
Local d	10.00	Un sentido	1.20	1.00	0.20

Propuesta de vialidad

Se considera una calle con las siguientes dimensiones, en base a los criterios mencionados anteriormente; (vialidad tipo D):

- Ancho de banqueta: 1.20 m
- Altura de banqueta: 0.20 m
- Pendiente de banqueta: 1%
- Carril de circulación: 2.75 m (un solo sentido)
- Pendiente transversal del carril de circulación hacia la banqueta: 1%

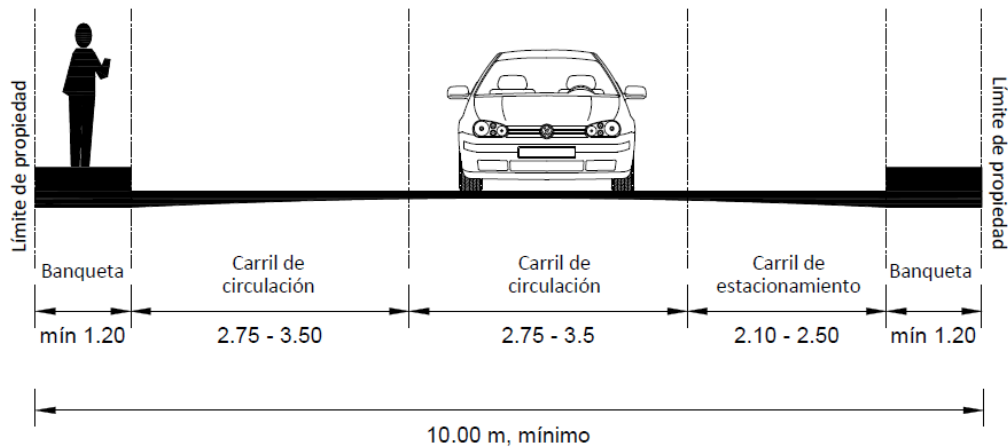


Figura II.1 Dimensiones de vialidad.

Coeficientes de rugosidad

a) Norma N PYR CAR 1 06; de la SCT (IMT)

El coeficiente de rugosidad de Manning (n), en el que define el grado de influencia sobre la velocidad del escurrimiento que tienen las condiciones del cauce y sus llanuras de inundación, tales como las características de los materiales que los constituyen, de la vegetación del uso del suelo y del tirante del agua.

Tabla II.4 Coeficientes de rugosidad de Manning (n), para canales recubiertos o en relleno.

Tipo de recubrimiento o relleno y condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
Concreto:			
Acabado con llana metálica	0.011	0.013	0.015
Mampostería:			
Junteada con mortero	0.017	0.025	0.03
Asfalto:			
Liso	0.013	0.013	--
Rugoso	0.016	0.016	--
Tierra recto y uniforme:			
Limpio, intemperizado	0.018	0.022	0.02

Tipos de suela del calzado

NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SCFI-1997, Información comercial- Etiquetado de cueros y pieles curtidas naturales y materiales sintéticos o artificiales con esa apariencia, calzado, marroquinería, así como los productos elaborados con dichos materiales.

a) Objetivo

La presente Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer la información comercial que deben contener los cueros y pieles curtidas naturales, materiales sintéticos o artificiales con esa apariencia, calzado, marroquinería y los productos elaborados total o parcialmente con dichos materiales, para ser objeto de comercialización dentro del territorio nacional.

b) Suela de cuero

Es el cuero curtido para suela. Este artículo debe denominarse invariablemente suela de cuero, pudiendo además especificarse la especie de la cual proceda.

c) ISO 20347:2004

- PU2 D: Poliuretano doble densidad inyectado
- PU: Poliuretano simple densidad inyectado o pegado
- Nitrilo: Caucho nitrilo vulcanizado
- PU/Nitrilo: Caucho nitrilo sobre PC inyectado
- Macsoles: caucho nitrilo inyectado bi-densidad
- Cosido: Caucho cosido doble montaje
- Madera/PU: Madera con patín poliuretano
- Elastómero: únicamente para calzado de ocios PVC: Poli cloruro de vinilo



Figura II.2 Tipos de suelas.

Caracterización de las medidas y peso de la población mexicana

Debido a la falta de información en dependencias como lo es INEGI, se realizó una búsqueda para obtener las estaturas promedio de hombres y mujeres en la República Mexicana. La información se encuentra en un proyecto que realizó la Cámara Nacional de la Industria del Vestido (CANAVE), el cual lleva por nombre ¿Cuánto mide México? El tamaño sí importa; con datos tomados a 17 mil 364 personas con grupos de edades a partir de los 18 años.



Figura II.3 Publicación en internet CANAIVE.



Figura II.4 Publicación en internet CANAIVE.

Marcos Cherem E., Presidente de la Cámara Nacional de la Industria del Vestido (CANAIVE), Alejandro Faes, líder del Proyecto y expresidente del organismo, y Claudia Isabel Ramos Flores, Directora General, presentaron ante los medios de

comunicación los resultados del estudio ¿Cuánto mide México? El tamaño sí importa, mismo que permitirá conocer el promedio de medidas del cuerpo y características de los mexicanos.

México es el primer País de Latinoamérica en realizar el estudio de las dimensiones antropométricas promedio de su población, a través de la toma de medidas del cuerpo entre una muestra validada estadísticamente por el INEGI.

✓ **Zona Norte:**

Monterrey, Chihuahua y Tijuana

✓ **Zona Centro:**

DF, Puebla y Toluca

✓ **Sureste:**

Mérida, Veracruz, Acapulco, Tuxtla Gutiérrez y Cancún (Sureste)

✓ **Bajío:**

Guadalajara, León y San Luis Potosí

En total, se aplicaron a una muestra de 17 mil 364 personas, 51% de mujeres y 49% de hombres, de los 18 a los 66 años y más.

Tabla II.5 Mediciones a mujeres Mexicanas

Mujeres		
Zona	Estatura Promedio (m)	Peso Promedio (Kg)
Norte	1.58	
Centro	1.62	72.62
Sureste	1.55	
Bajío		67.35

Tabla II.6 Mediciones a hombres Mexicanos

Hombres		
Zona	Estatura Promedio (m)	Peso Promedio (Kg)
Norte		86.1
Centro	1.6	72.37
Sureste		
Bajío	1.72	

Estos y otros datos podrán aprovecharse en distintas aplicaciones y sectores, estarán disponibles en su generalidad en días próximos días vía Internet, los costos para obtener la información serán variables de acuerdo a las necesidades de quien lo solicite.

Datos relevantes:

- Altura y peso promedio de mujeres: 1.60 m 62.90 kg 72.15 kg
- Altura y peso promedio de hombres: 1.67 m 70.43 kg 77.30 kg
- Altura y peso menor de mujeres: 1.58
- Altura y peso menor de hombres: 1.60
- Altura y peso mayor de mujeres: 1.62
- Altura y peso mayor de hombres: 1.72

Identificación de zonas inundables en México para caracterizar las pendientes de las calles urbanas

Entre 1980 y 2010 las lluvias intensas afectaron a más de ocho millones de personas y ocasionaron daños económicos superiores a 214 mil millones de pesos.

En la Figura II.5 se muestra el índice de impacto de inundaciones. El mayor impacto histórico y la propensión de inundaciones se concentra en 17 entidades federativas que albergan al 62 por ciento de la población.

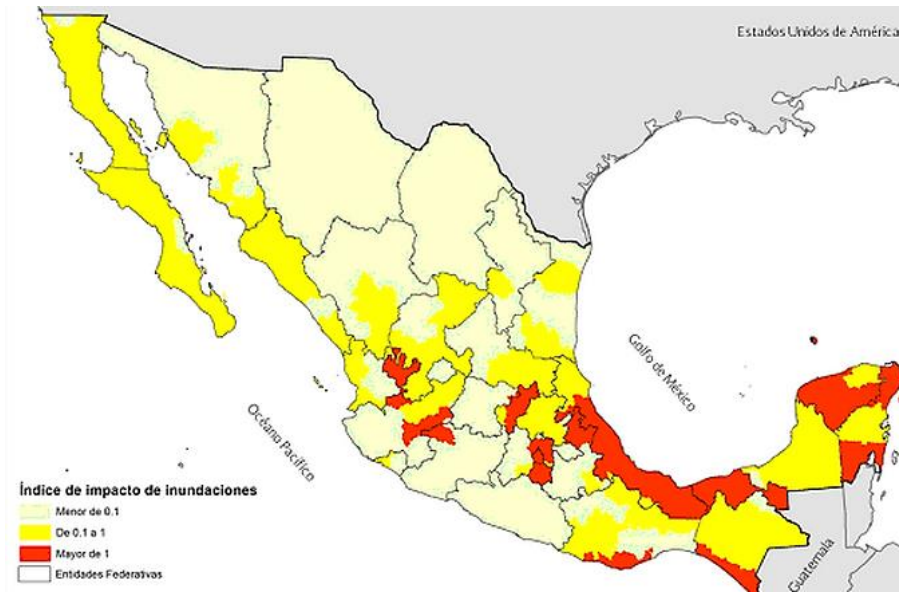


Figura II.5 Índices de impacto de inundaciones (Fuente: CONAGUA).

Con el apoyo de la siguiente figura se identificaron las ciudades más vulnerables a inundaciones:

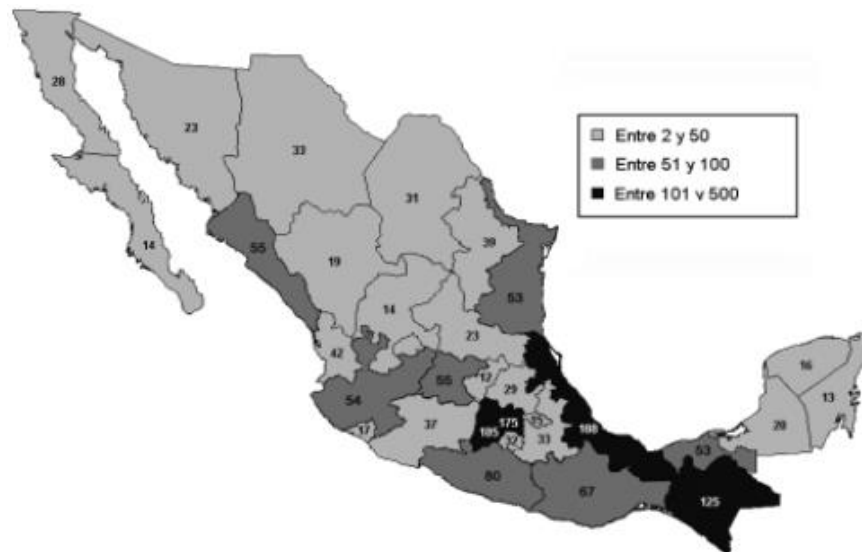


Figura II.6 Inundaciones registradas entre 1950 y 2000 (Fuente: Base de datos del área de Riesgos Hidrometeorológicos, CENAPRED).

Tabla II.7 Resumen de eventos por inundación (CENAPRED).

Año	Evento	Estado	Muertes	Población Afectada
1943	Lluvias de invierno	Sinaloa	27	600
1949	Lluvias de invierno	Sinaloa y Sonora	10	159,000
1955	Huracanes Gladys, Hilda y Janet	Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Yucatán y Quintana Roo	110	
1959	Ciclón de Manzanillo	Colima y Jalisco	1500	1,600
1960	Lluvias de invierno	Sonora, Sinaloa y Chihuahua	3	96,000
1967	Huracán Beulah	Tamaulipas, Nuevo León, Yucatán y Quintana R.		

Tabla II.8 Resumen de eventos por inundación (CENAPRED).

Año	Evento	Estado	Muertes	Población afectada
1967	Huracán Katrina	Guerrero, Península de Baja California, Sonora y Nayarit	15	30,000
1968	Huracán Naomi	Colima, Sinaloa, Durango, Coahuila, Sonora y Chihuahua	10	50,000
1976	Huracán Liza	Baja California Sur y Sonora	600	10,000
1982	Huracán Paul	Sinaloa	0	256,800
1985	Lluvias de invierno	Nayarit	0	47,927

1988	Huracán	Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila	225	139.374
	Gilbert			
1990	Lluvias de invierno	Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Chihuahua		40
	Huracán Diana	Veracruz e Hidalgo	139	50
1992	Lluvias de invierno	Nayarit	64	100.000,00
1993	Lluvias de invierno	Baja California	33	10
	Lluvias de invierno	Baja California Sur	3	10
	Huracán Gert	Veracruz, Hidalgo, San Luis Potosí y Tamaulipas	40	97.943
1995	Huracán Ismae	Sonora, Sinaloa y Baja California Sur	200	24,111
	Huracán Opal	Veracruz, Campeche, Tabasco y Quintana Roo	23	26,874
	Huracán Roxanne	Veracruz, Campeche, Tabasco y Quintana Roo		13860*
1997	Huracán Pauline	Guerrero y Oaxaca	228	8,500
1998	Lluvias	Chiapas Baja California	229	28,753
			92	3,000
1999	Depresión Tropical 11	Veracruz, Puebla, Hidalgo y Tabasco	387	1,904,000

Tabla II.9 Resumen de eventos por inundación (CENAPRED).

Año	Evento	Estado	Muertes	Población afectada
2000	Huracán Keith	Quintana Roo, Chiapas, Tamaulipas y Nuevo León	9	
2001	Huracán Juliette	Sonora y Baja California Sur	9	38,730
	Lluvias	Varios estados	95	126,954
2002	Huracán Isidore	Yucatán, Campeche	4	500,000
	Huracán Kenna	Nayarit, Jalisco	2	374,500
2003	Lluvias de verano	Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Zacatecas	14	256,301
2004	Frente Frío no. 49	Coahuila	38	6,692

Tabla II.10 Comparación de registro de inundaciones por CENAPRED

Estado	1943 – 2004	1950 - 2000
Baja California Sur	3	14
Sonora	8	23
Sinaloa	7	55
Veracruz	6	100
Guerrero	2	80
Distrito Federal	-	175
Oaxaca	1	67
Tabasco	3	53
Chiapas	2	125

De la información anterior se registran Estados con mayor afectación por inundaciones; con el siguiente mapa (*Atlas Nacional de Riesgos*); se delimitan las zonas de estudio con una mayor precisión; contemplando las zonas más afectadas por inundaciones según el CENAPRED. Con ayuda de las planimetrías de INEGI, se evaluaron 9 municipios considerando una división por zonas:

✓ **Zona Norte:**

Culiacán, Sinaloa.

Monterrey, Nuevo León.

La Paz, Baja California Sur.

✓ **Zona Centro:**

Tlalpan, D.F.

Acapulco de Juárez, Guerrero.

Orizaba, Veracruz.

✓ **Zona Sur:**

Huatulco, Oaxaca.

Tapachula, Chiapas.

Villahermosa, Tabasco.

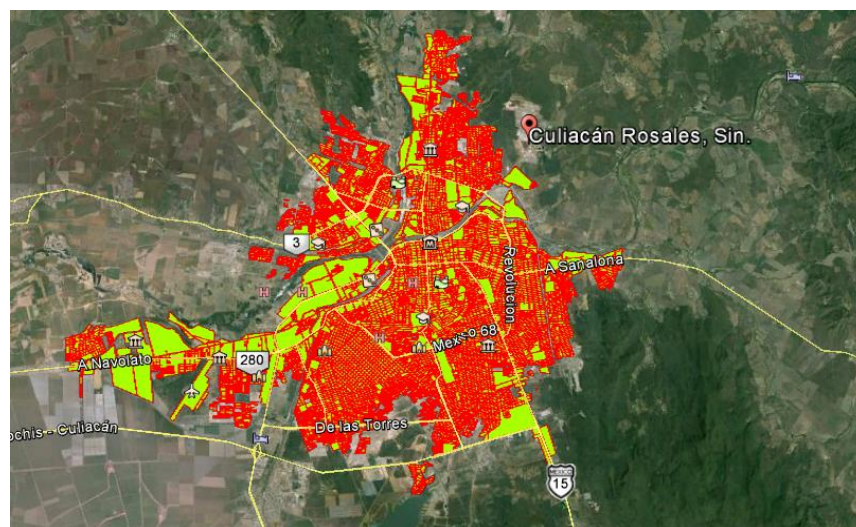


Figura II.7 Culiacán, Sinaloa.

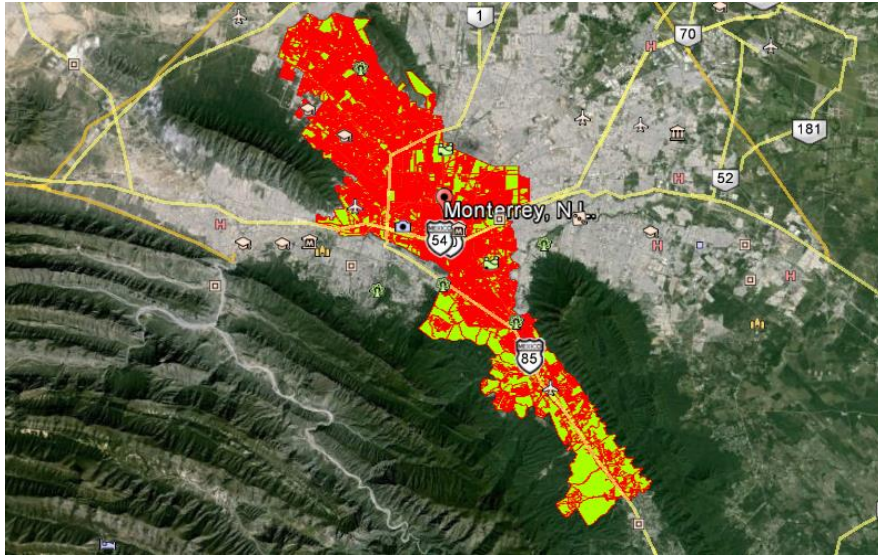


Figura II.8 Monterrey, Nuevo León.

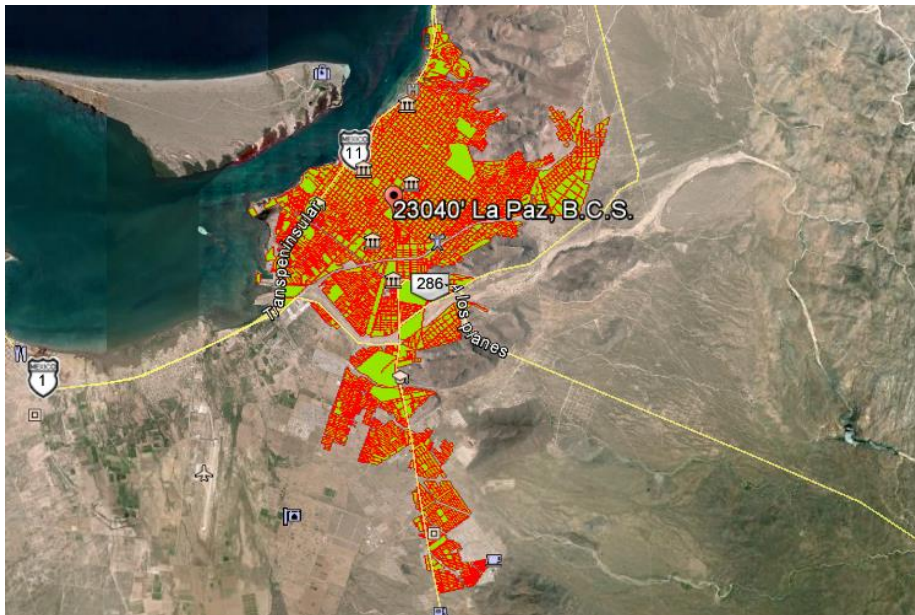


Figura II.9 La Paz, Baja California.

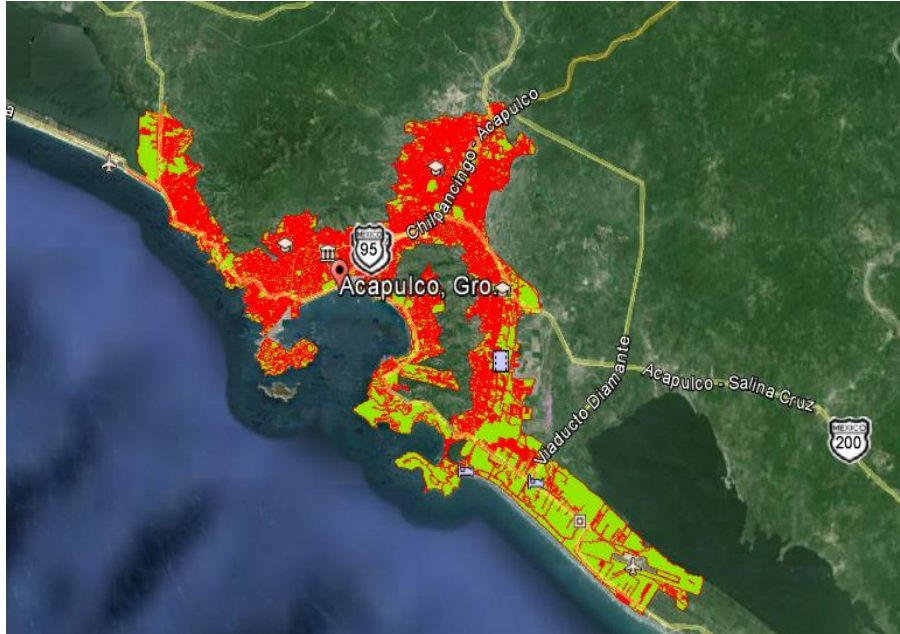


Figura II.10 Acapulco de Juárez, Guerrero.

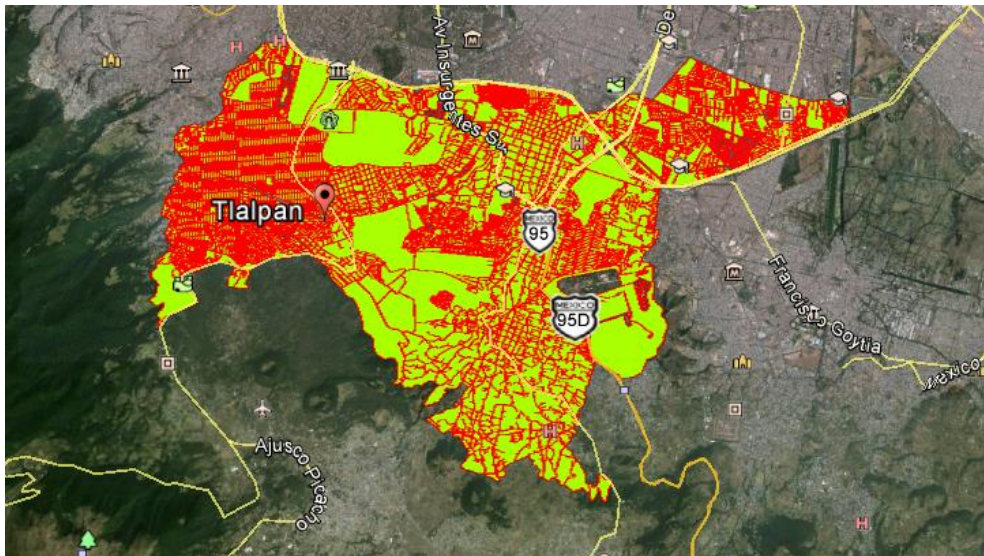


Figura II.11 Tlalpan, Distrito Federal.

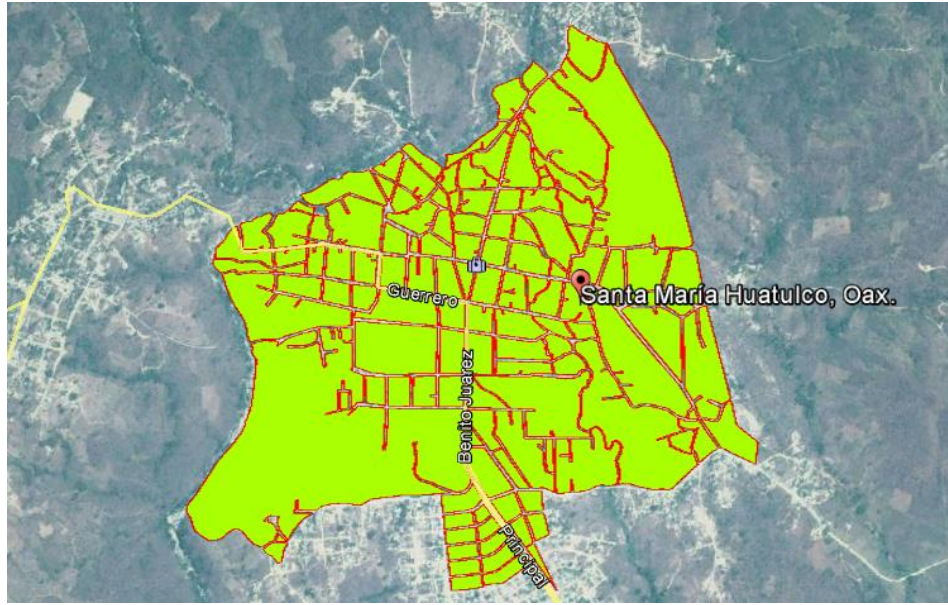


Figura II.14 Huatulco, Oaxaca.

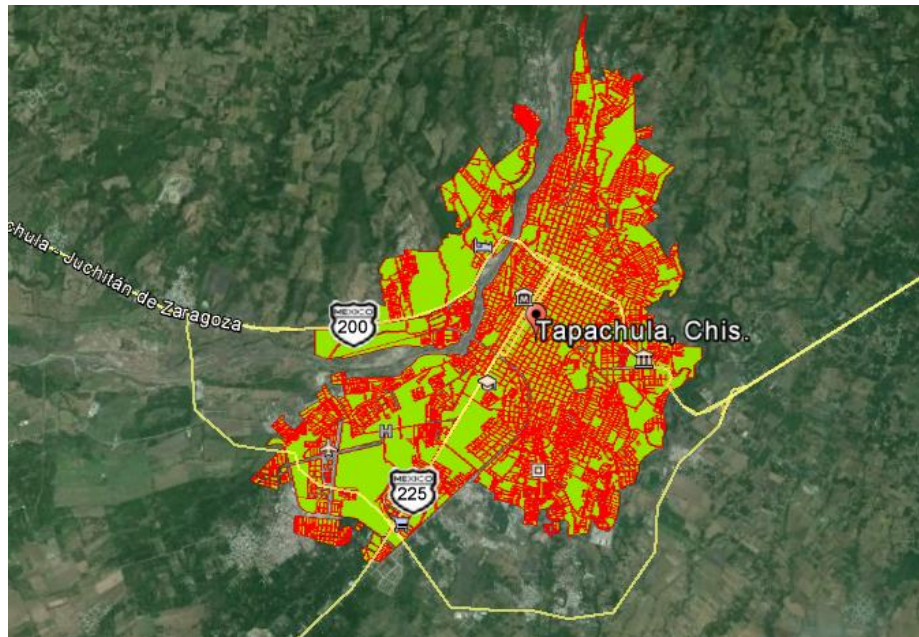


Figura II.15 Tapachula, Chiapas.

Con las planimetrías de INEGI y con la ayuda de Google Earth (Figura II.16) se obtienen las evaluaciones de calles propuestas:



Figura II.16 Obtención de pendientes (Google Earth).

Vialidades consideradas por zona propuesta

- Vialidades Culiacán, Sinaloa

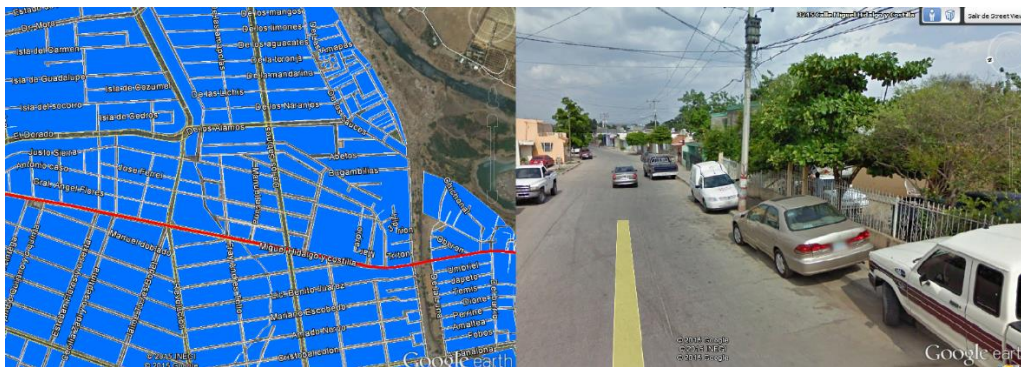


Figura II.17 Calle Miguel Hidalgo y costilla.



Figura II.18 Calle Pedro María Anaya.



Figura II.19 Av. Enrique Félix Castro.

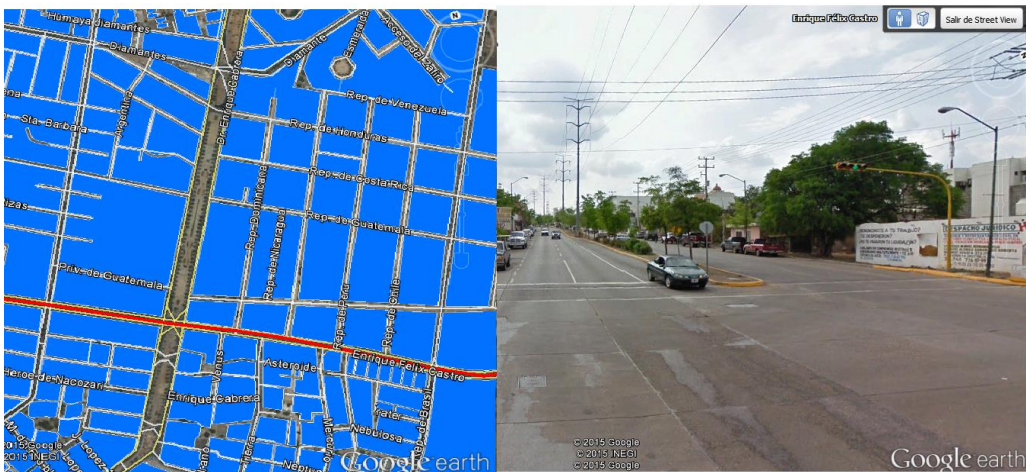


Figura II.20 Av. Álvaro Obregón.

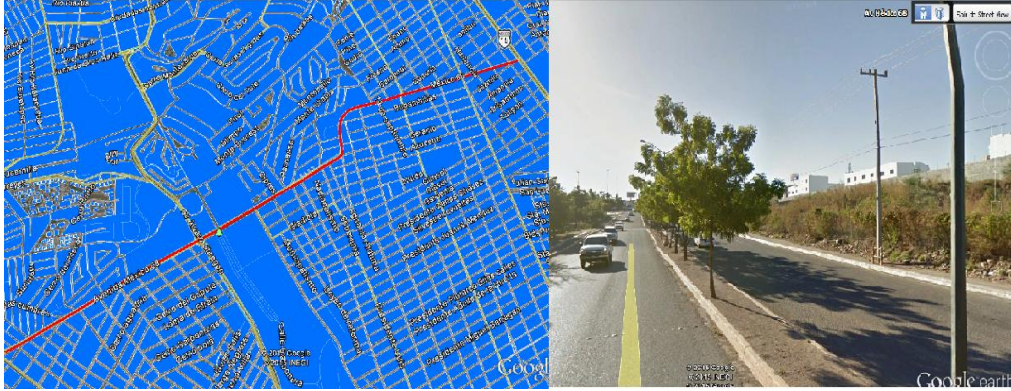


Figura II.21 Av. México 68.

➤ Vialidades Monterrey, Nuevo León



Figura II.22 Av. Revolución.

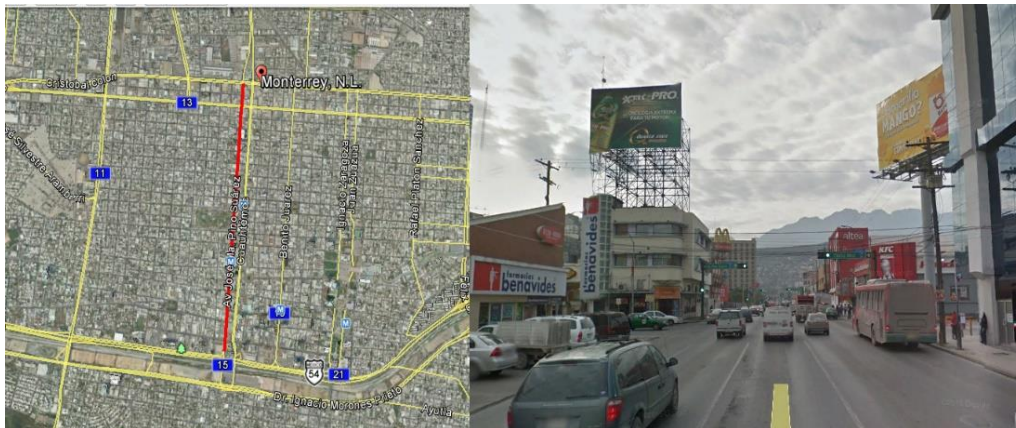


Figura II.23 Av. José ma. Pino Suárez.



Figura II.24 Av. Abraham Lincoln.

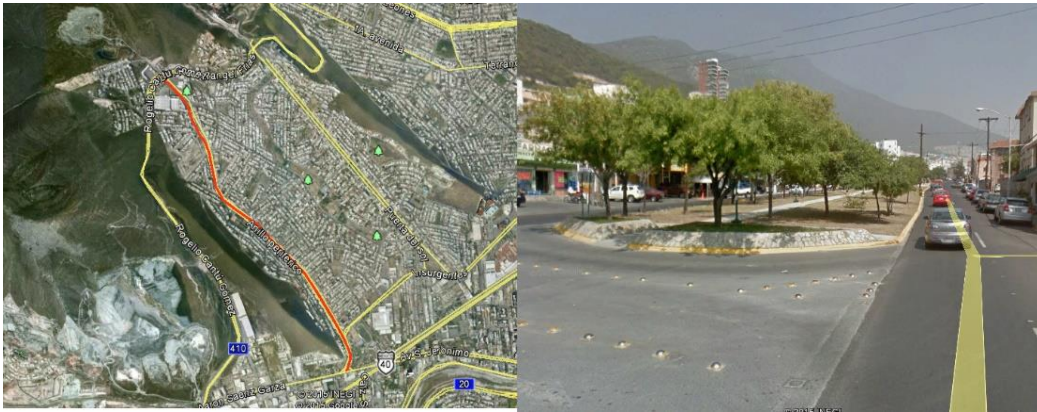


Figura II.25 Anillo Periférico.

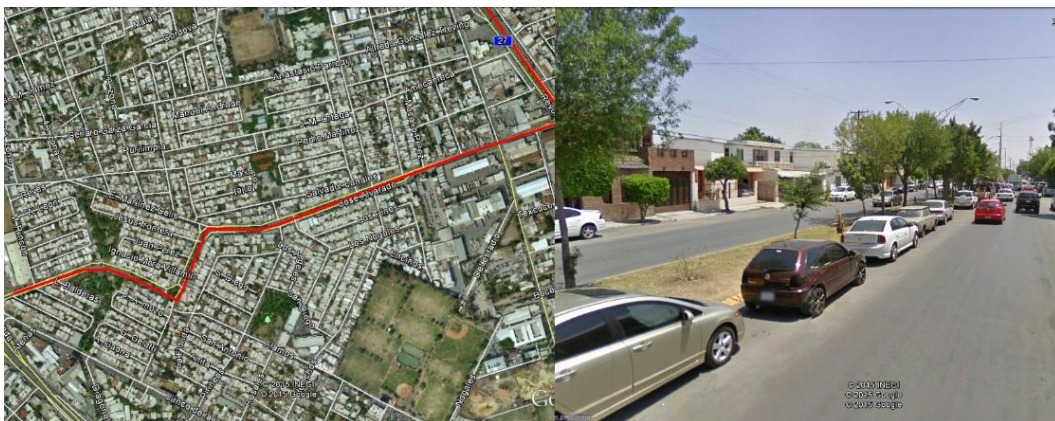


Figura II.26 Av. José Alvarado.

➤ Vialidades BCS, La Paz



Figura II.27 Av. 5 de febrero.



Figura II.28 Av. General Manuel Márquez de León.



Figura II.29 Calle Fco. King Rondero



Figura II.30 Calle Mangle.

➤ Vialidades Acapulco de Juárez, Guerrero

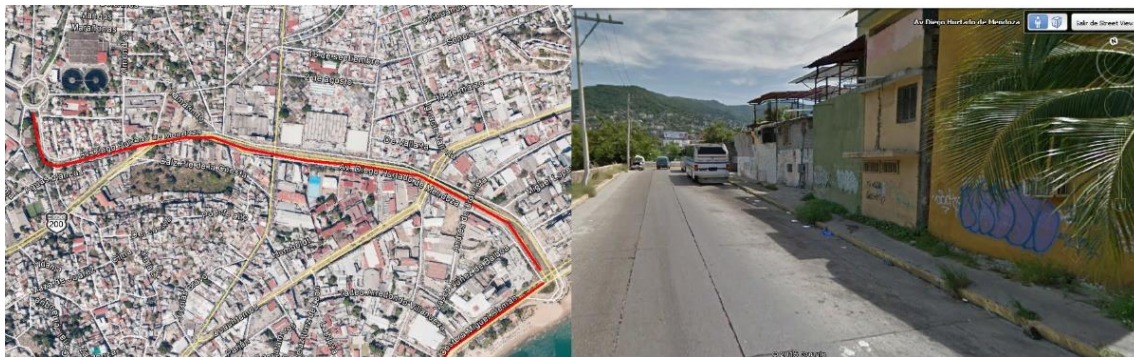


Figura II.31 Av. Diego Hurtado de Mendoza.

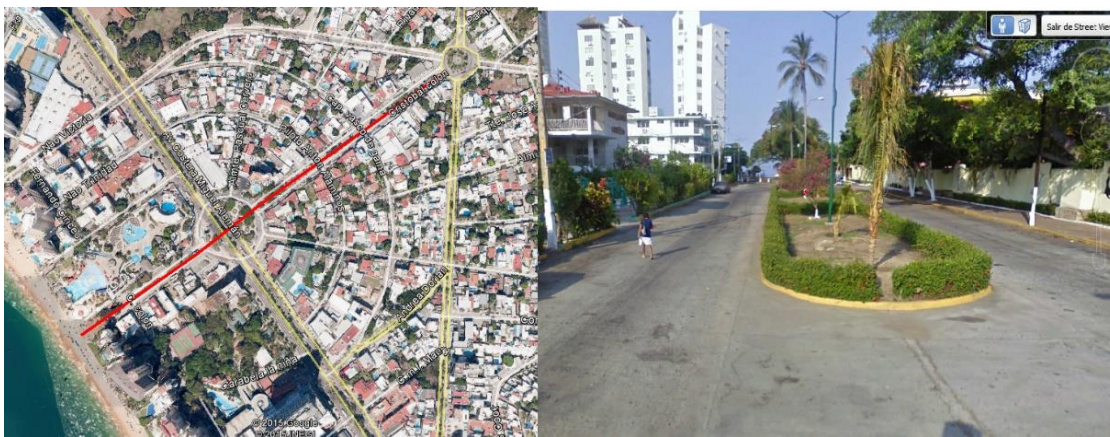


Figura II.32 Av. Almirante Cristóbal Colón.

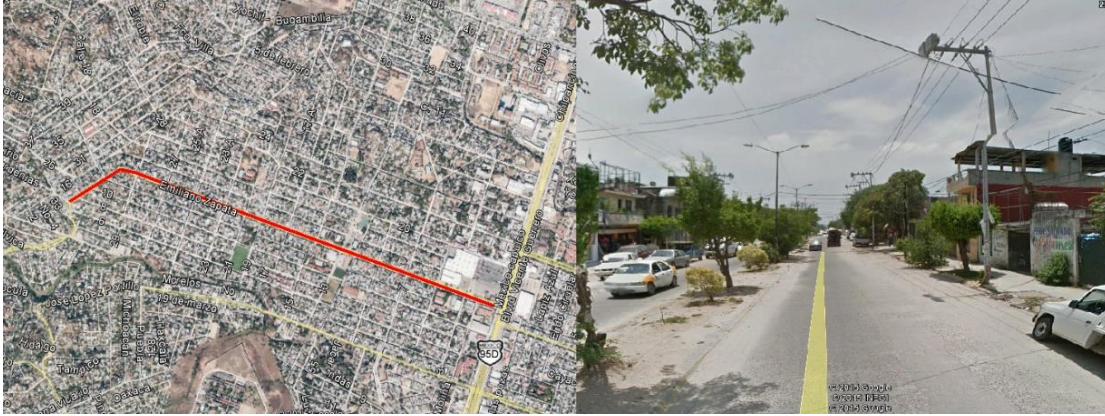


Figura II.33 Av. Emiliano Zapata.



Figura II.34 Niños Héroes.

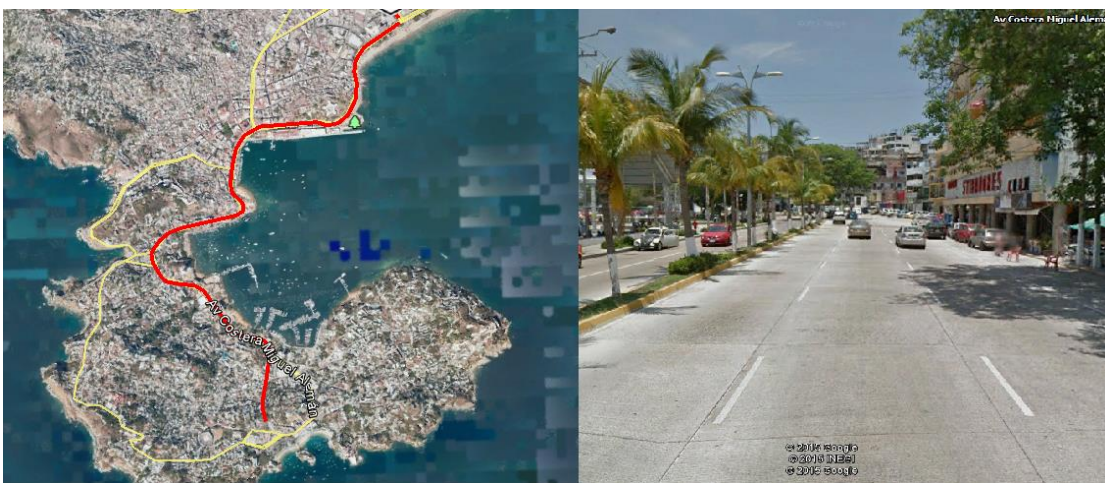


Figura II.35 Av. Costera Miguel Alemán

➤ Vialidades Tlalpan, D.F.



Figura II.36 Calle Tepeximilpa.



Figura II.37 Eje 2 Ote Calzada de la Viga.

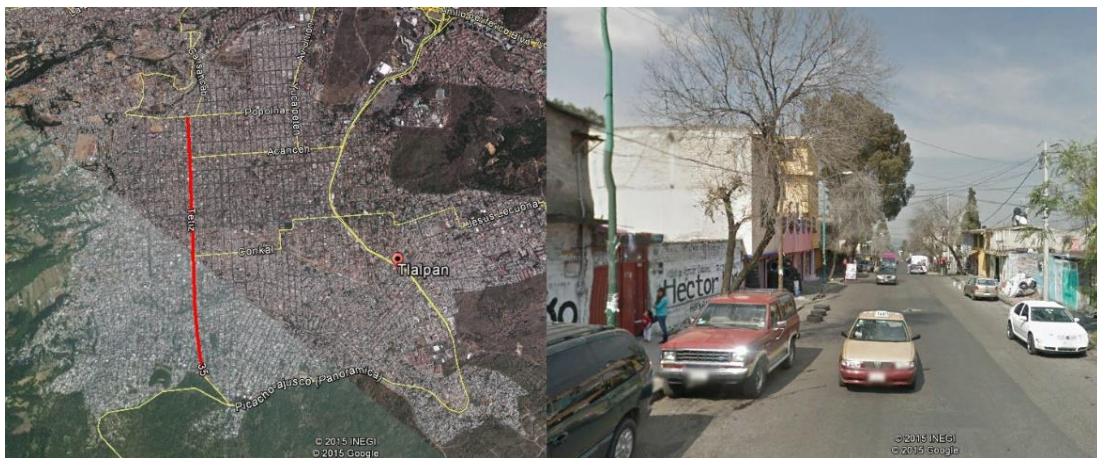


Figura II.38 Calle Telitz.

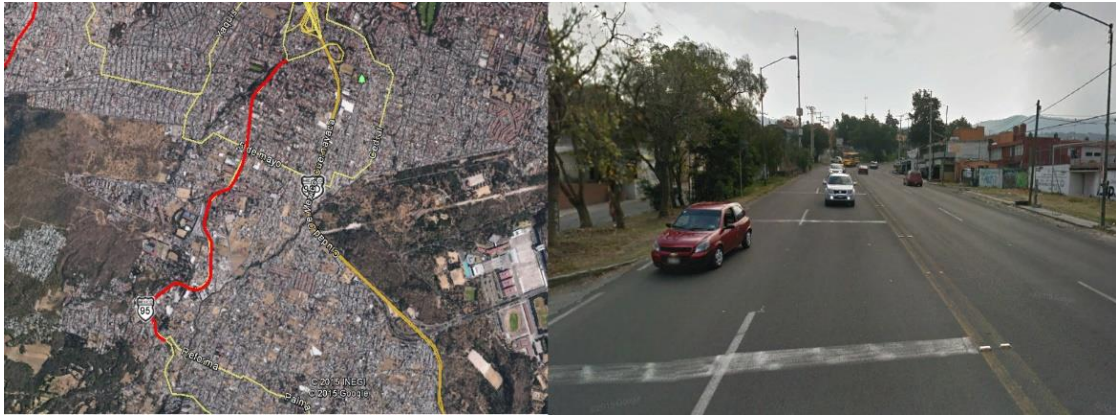


Figura II.39 Federal a Cuernavaca.

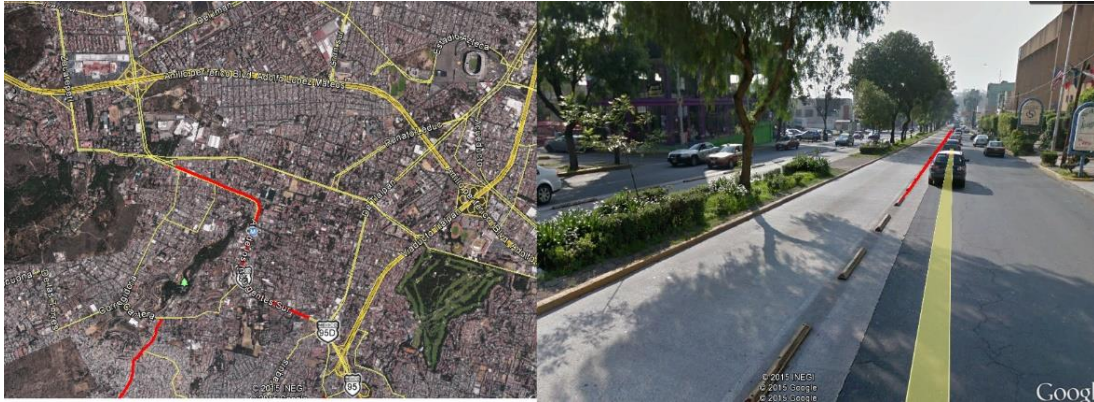


Figura II.40 Av. De los Insurgentes Sur.

➤ Vialidades Orizaba, Veracruz

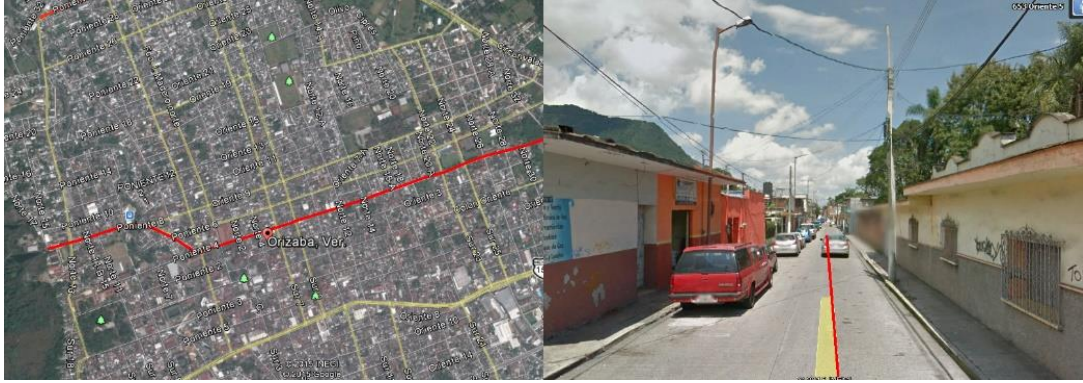


Figura II.41 Calle Norte 5 – Calle Oriente 5.

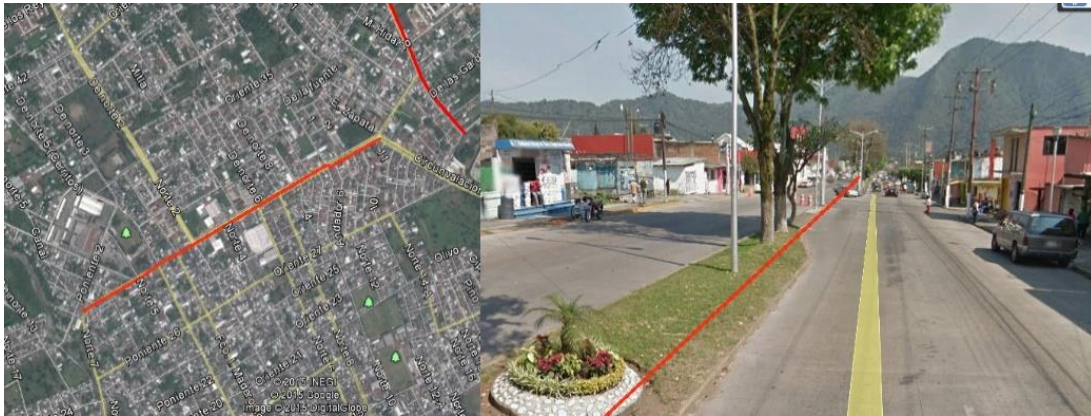


Figura II.42 Calle Oriente 31.



Figura II.43 Calle 20 de Noviembre.

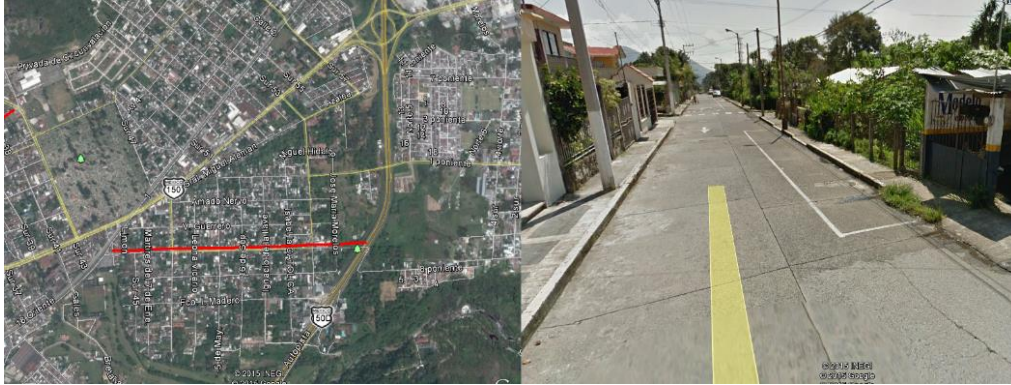


Figura II.44 Av. Independencia.



Figura II.45 Calle De los Censos.

➤ Vialidades Villahermosa, Tabasco

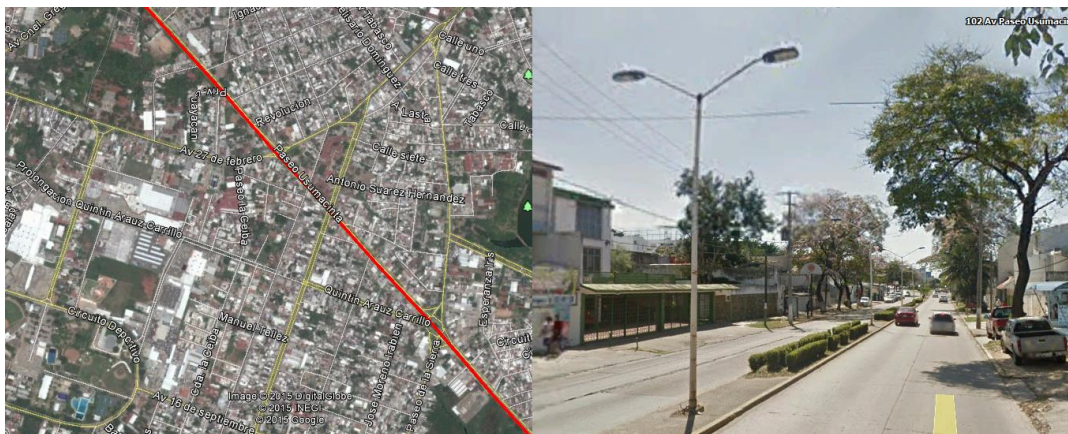


Figura II.46 Paseo Usumacinta.



Figura II.47 Av. México.



Figura II.48 Av. Paseo Tabasco.

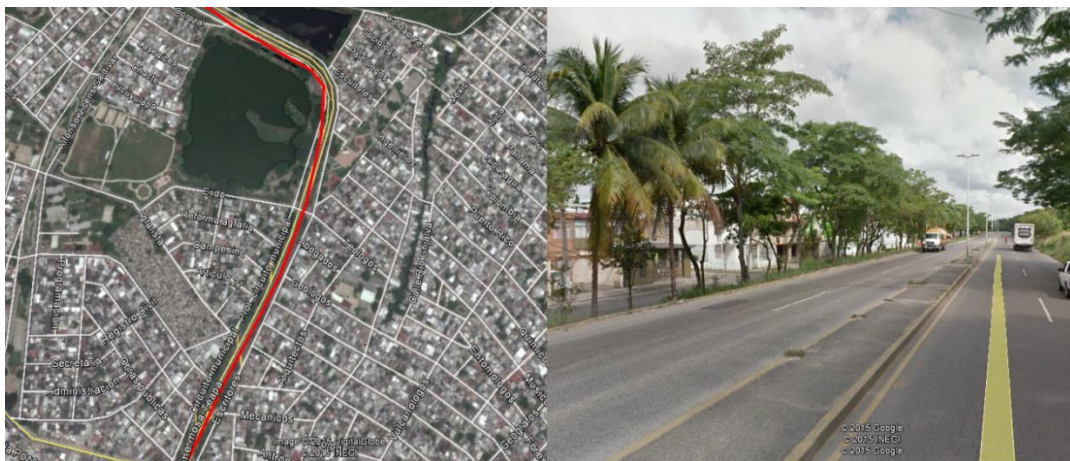


Figura II.49 Prolongación Circuito Municipal

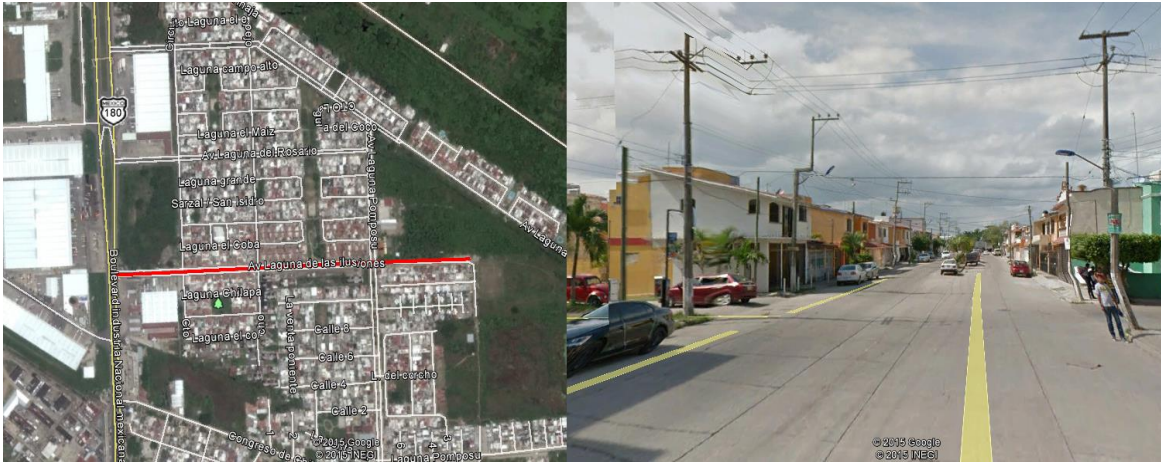


Figura II.50 Av. Laguna de Ilusiones.

➤ Vialidades Tapachula, Chiapas



Figura II.51 19ª Poniente – 19ª Oriente.

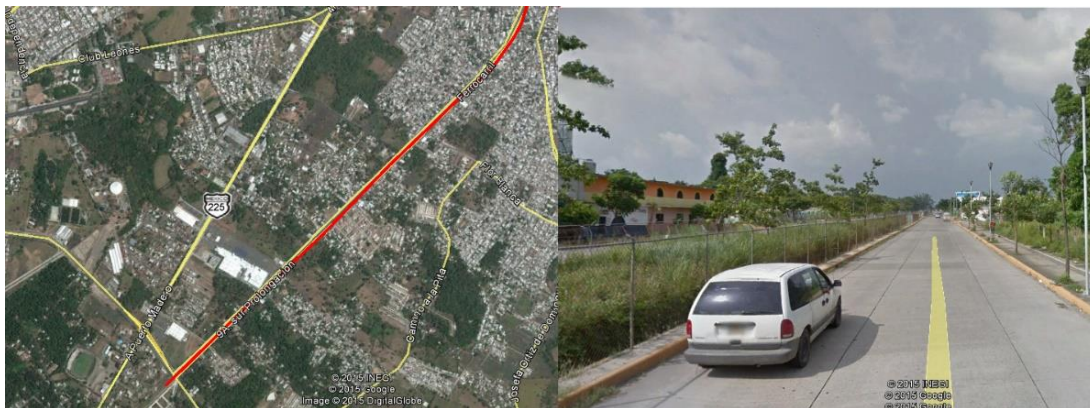


Figura II.52 19ª Sur Prolongación.



Figura II.53 28° Oriente.



Figura II.54 1° Oriente.



Figura II.55 29° Poniente.

➤ Vialidades Huatulco, Oaxaca



Figura II.56 Calle Juan de la Barrera.



Figura II.57 Calle Guerrero.

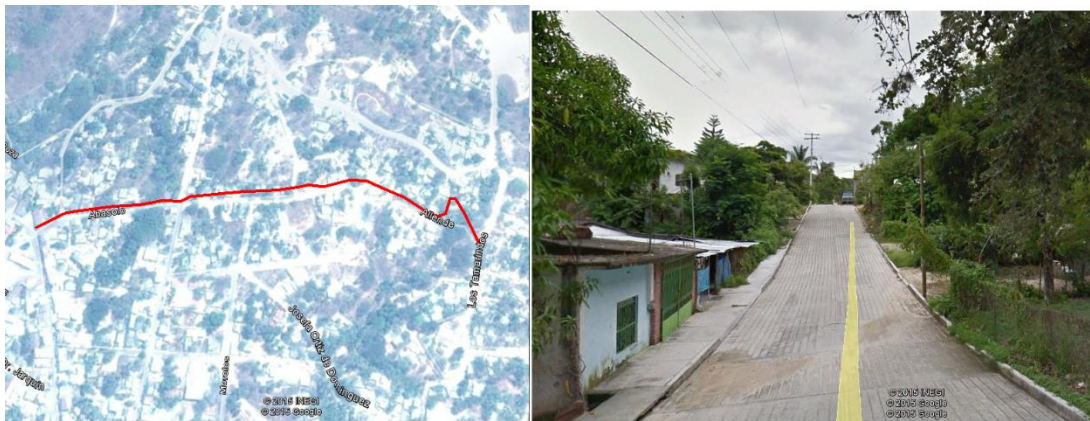


Figura II.58 Calle Abasolo-Calle allende.

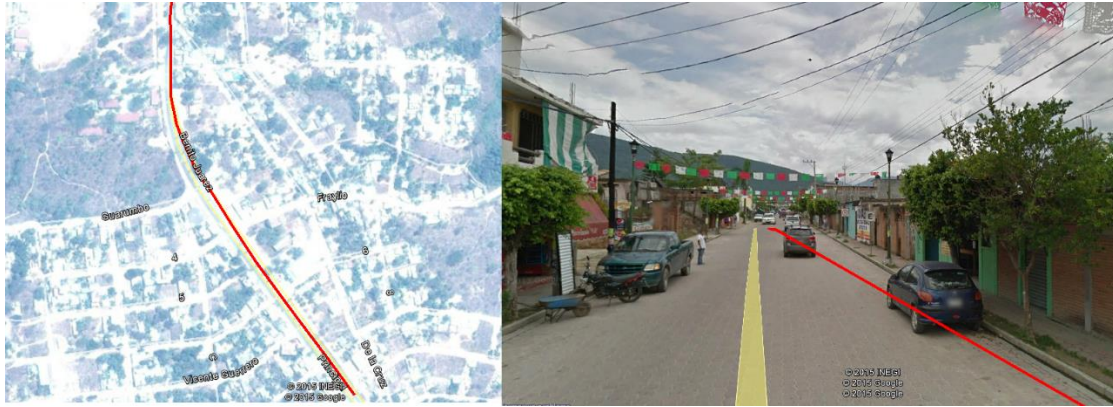


Figura II.59 Av. Benito Juárez.



Figura II.60 Calle Juan Escutia.

Del estudio que se realizó con ayuda de los modelos digitales de elevación de INEGI, se obtienen los siguientes resultados que generalizan el tipo de vialidades para las tres zonas propuestas en el país:

Tabla II.11 Ancho promedio y pendiente en la zona norte.

Zona Norte		
Pendiente Promedio	1.36	%
Ancho Promedio	11.72	m

Tabla II.12 Ancho promedio y pendiente en la zona centro.

Zona Centro		
Pendiente Promedio	3.47	%
Ancho Promedio	13.40	m

Tabla II.13 Ancho promedio y pendiente en la zona sur.

Zona Sur		
Pendiente Promedio	1.47	%
Ancho Promedio	11.00	m

Se concluye que la tendencia de las calles o avenidas en el país, presentan una gran semejanza, sin embargo, para la zona Centro las pendientes resultan mayores que en las zonas Sur y Norte del país.

III. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE LOS MODELOS

En el Laboratorio de Hidráulica Enzo Levi del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua se realizan estudios de funcionamiento, comportamiento y revisión de diseños de obras, equipos y fenómenos hidráulicos mediante la modelación física a escala reducida o sin escala, esto es, la representación del fenómeno en un tamaño tal que pueda ser reproducido considerando la capacidad del laboratorio y las condiciones de similitud requeridas.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), solicitó al IMTA el estudio experimental con modelos físicos para generación de criterios de peligro por inundación y para caracterización de efectos del arrastre de sólidos sobre estructuras de cruce en ríos de zonas urbanas, donde se desprendió el estudio experimental para la generación de criterios de peligro por inundación (nomogramas) en ríos de zonas urbanas.

Las dimensiones del módulo experimental se diseñaron tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Gasto máximo del laboratorio
- ✓ Características de una calle en ciudades urbanas de la República Mexicana (Ancho de calle, ancho de banquetta, altura de banquetta, pendiente)
- ✓ Tirantes
- ✓ Velocidades

El modulo experimental para su estudio se dividió en las siguientes secciones:

- ✓ Calle de pendiente
- ✓ Tanque de almacenamiento
- ✓ Tanque amortiguador
- ✓ Transición
- ✓ Canal de aforo

Calle de pendiente

En el capítulo de la caracterización de los procesos que se representan en el módulo físico se definió una calle con las siguientes dimensiones: Ancho de banqueta (1.20 m), Altura de banqueta (0.20 m), Pendiente de banqueta (1 %) y ancho de carril de circulación (2.75 m), pendientes longitudinal (5%). Ver Figura III.1.

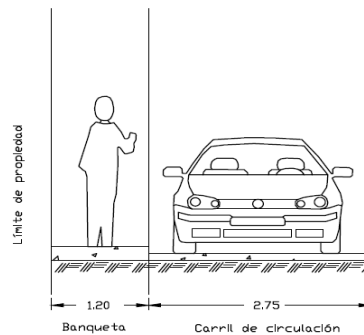


Figura III.1 Calle propuesta.

Para poder obtener la longitud de la calle es necesario tener en cuenta cual es el gasto que se necesita para poder obtener los tirantes y las velocidades con los cuales se va realizar el estudio, en la Figura III.2 se muestra el margen de acción (Tirante y Velocidad).

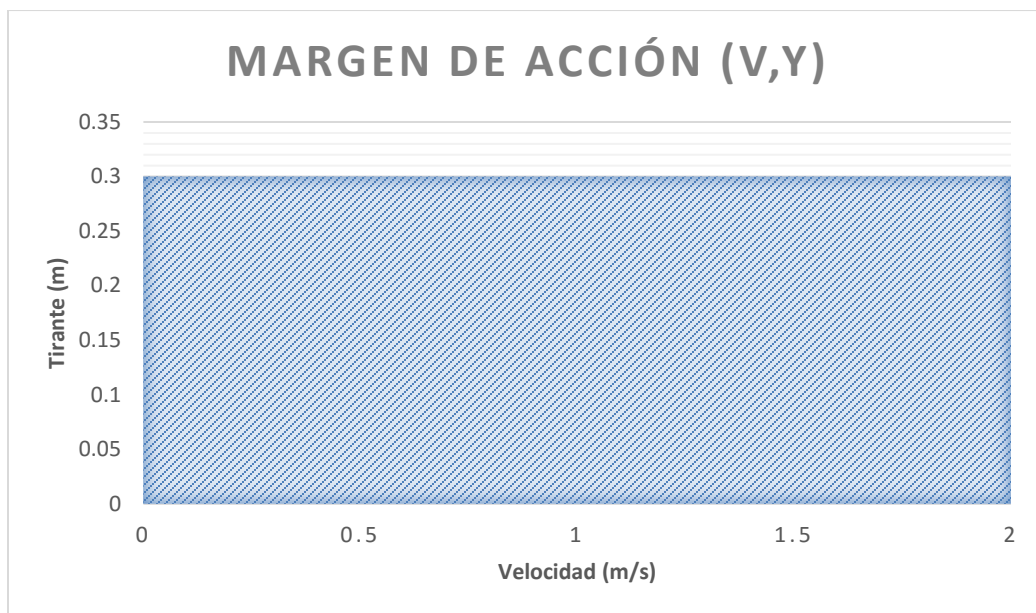


Figura III.2 Margen de accion.

Teniendo el margen de acción y si consideramos una longitud de 5 m de la calle (esto debido al espacio con que se cuenta para la instalación del módulo experimental, fue necesario usar el programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) para poder obtener el gasto que se necesita para representar los tirantes y velocidades seleccionados.

El programa HEC-RAS el cuál fue desarrollado en el Centro de Ingeniería Hidrológica por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers). Es un programa de hidráulica para modelizar el comportamiento de un caudal en un canal artificial (calle) o en un cauce natural; sirve para saber si dicho caudal se desborda del cauce o no.

Bases teóricas del modelo unidimensional (HEC-RAS)

Los perfiles de la superficie del agua son calculados de una sección transversal a la siguiente sección resolviendo la ecuación de la energía, mediante el proceso iterativo del método del paso estándar.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

Z_1, Z_2 son las elevaciones de cada sección (carga de posición) en metros.

Y_1, Y_2 son los tirantes de cada sección en metros.

V_1, V_2 son las velocidades medias de cada sección en m/s.

α_1, α_2 son coeficientes de Coriolis, para considerar el efecto de la distribución irregular de la velocidad de cada sección, adimensional.

g es la aceleración de la gravedad en m/s^2 .

h_e es la pérdida de energía entre las dos secciones en metros.

A su vez, la pérdida de carga total entre dos secciones (h_e) se compone de las pérdidas de fricción o las pérdidas de contracción o expansión y se representa con la ecuación.

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Donde:

L es la longitud de descarga.

S es la pendiente de fricción entre dos secciones.

C es el coeficiente de pérdida de contracción o expansión.

A partir de los resultados de una sección se procesa a calcular la siguiente sección, y así sucesivamente, hasta contar con los parámetros hidráulicos necesarios. Se subdivide cada sección transversal para calcular la velocidad y el gasto que transporta. En la Figura III.3 se muestra el diagrama de flujo que describe el procedimiento de cálculo general que desarrolla el HEC-RAS para cada sección transversal.

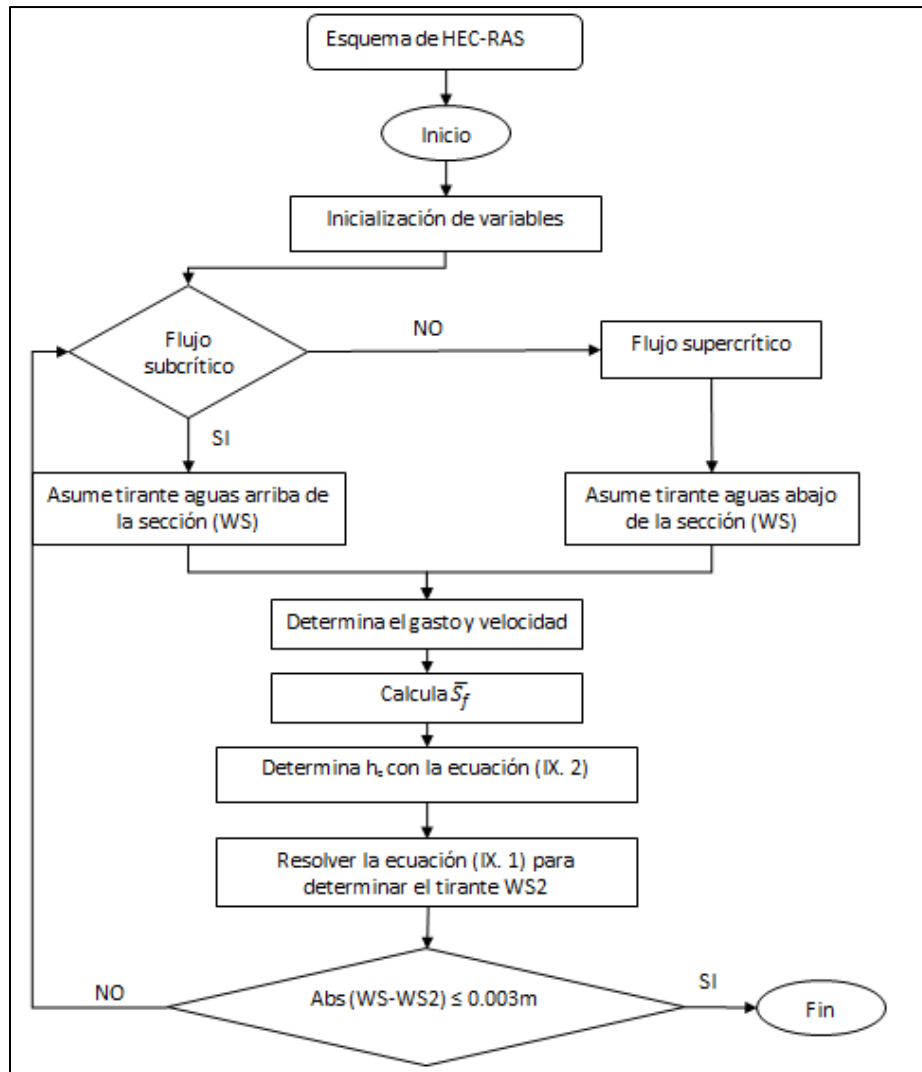


Figura III.3 Diagrama de flujo.

Se realizaron Simulaciones hidráulicas para diferentes escenarios:

- Para una pendiente de 2% se presenta un tirante de 0.12 m, y números de Froude de 1 hasta 1.51, gasto de 400 l/s.

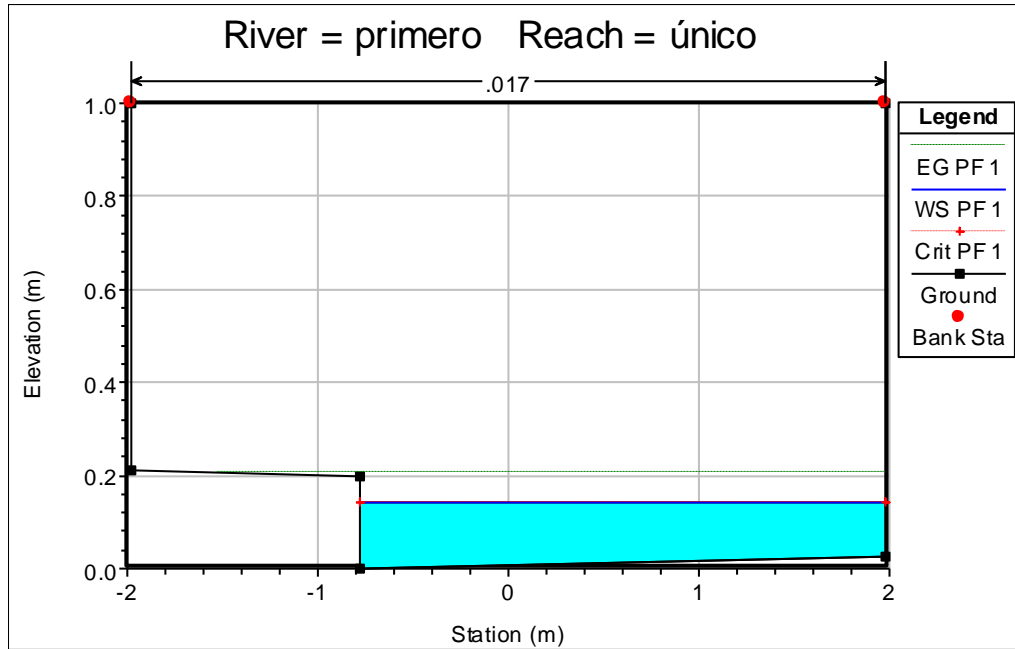


Figura III.4 Sección transversal de la calle propuesta.

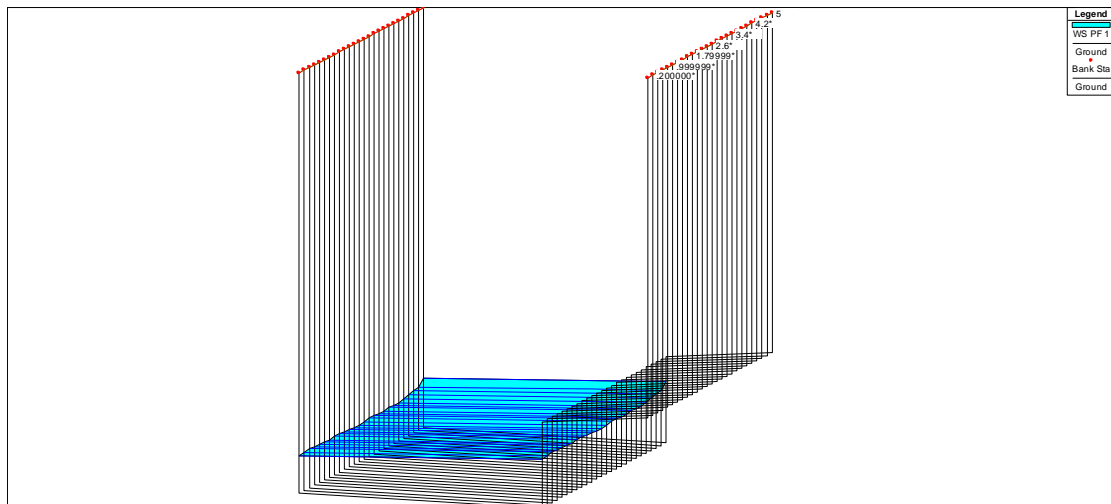


Figura III.5 Perfil longitudinal de la calle propuesta.

Tabla III.1 Tabla de resultados de las variables hidráulicas.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
único	5	PF 1	0.40	0.00	0.14	0.14	0.21	0.006373	1.13	0.35	2.75	1.00
único	4.8*	PF 1	0.40	0.00	0.12	0.14	0.21	0.009298	1.27	0.32	2.75	1.20
único	4.6*	PF 1	0.40	-0.01	0.12	0.13	0.20	0.009807	1.29	0.31	2.75	1.23
único	4.4*	PF 1	0.40	-0.01	0.11	0.13	0.20	0.011358	1.35	0.30	2.75	1.31
único	4.2*	PF 1	0.40	-0.02	0.10	0.13	0.20	0.012337	1.38	0.29	2.75	1.36
único	4.*	PF 1	0.40	-0.02	0.10	0.12	0.20	0.013591	1.43	0.28	2.75	1.43
único	3.8*	PF 1	0.40	-0.02	0.09	0.12	0.19	0.013468	1.42	0.28	2.75	1.42
único	3.6*	PF 1	0.40	-0.03	0.09	0.11	0.19	0.012945	1.41	0.28	2.75	1.39
único	3.4*	PF 1	0.40	-0.03	0.08	0.11	0.19	0.014455	1.45	0.28	2.75	1.47
único	3.2*	PF 1	0.40	-0.04	0.08	0.11	0.18	0.013827	1.43	0.28	2.75	1.44
único	3.*	PF 1	0.40	-0.04	0.08	0.10	0.18	0.013336	1.42	0.28	2.75	1.41
único	2.8*	PF 1	0.40	-0.04	0.07	0.10	0.17	0.012824	1.40	0.29	2.75	1.39
único	2.6*	PF 1	0.40	-0.05	0.07	0.09	0.17	0.014352	1.45	0.28	2.75	1.46
único	2.4*	PF 1	0.40	-0.05	0.06	0.09	0.17	0.015399	1.48	0.27	2.75	1.51
único	2.2*	PF 1	0.40	-0.06	0.06	0.09	0.17	0.014905	1.47	0.27	2.75	1.49
único	2.*	PF 1	0.40	-0.06	0.05	0.08	0.16	0.014458	1.45	0.28	2.75	1.47
único	1.79999*	PF 1	0.40	-0.06	0.05	0.08	0.16	0.013987	1.44	0.28	2.75	1.45
único	1.59999*	PF 1	0.40	-0.07	0.05	0.07	0.15	0.013431	1.42	0.28	2.75	1.42
único	1.39999*	PF 1	0.40	-0.07	0.05	0.07	0.15	0.012924	1.40	0.28	2.75	1.39
único	1.19999*	PF 1	0.40	-0.08	0.04	0.07	0.15	0.014432	1.45	0.28	2.75	1.47
único	.99999*	PF 1	0.40	-0.08	0.03	0.06	0.14	0.013870	1.44	0.28	2.75	1.44
único	.79999*	PF 1	0.40	-0.08	0.03	0.06	0.14	0.013728	1.43	0.28	2.75	1.43
único	.6*	PF 1	0.40	-0.09	0.03	0.05	0.13	0.013214	1.41	0.28	2.75	1.41
único	.40000*	PF 1	0.40	-0.09	0.03	0.05	0.13	0.012699	1.40	0.29	2.75	1.38
único	.20000*	PF 1	0.40	-0.10	0.02	0.05	0.12	0.014259	1.45	0.28	2.75	1.46
único	0	PF 1	0.40	-0.10	0.01	0.04	0.12	0.015119	1.47	0.27	2.75	1.50

- Para una pendiente de 3% se presenta un tirante de 0.14 m, y números de Froude de 1 hasta 1.94, gasto de 400 l/s.

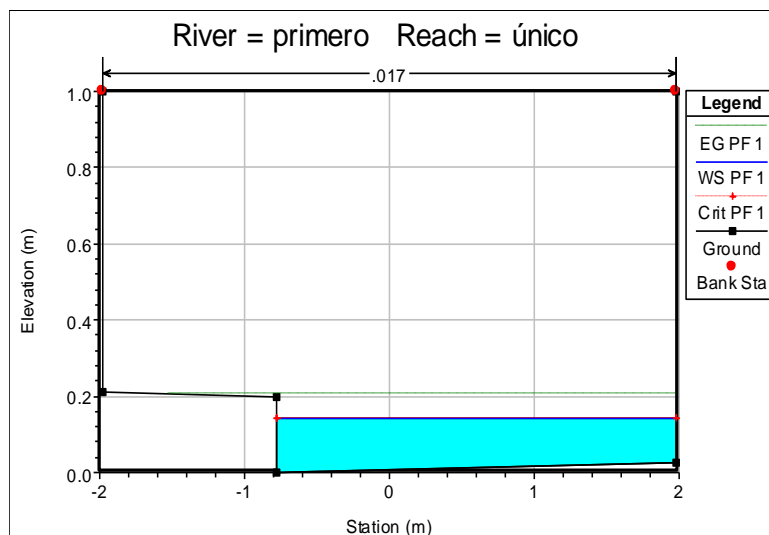


Figura III.6 Sección transversal de la calle propuesta.

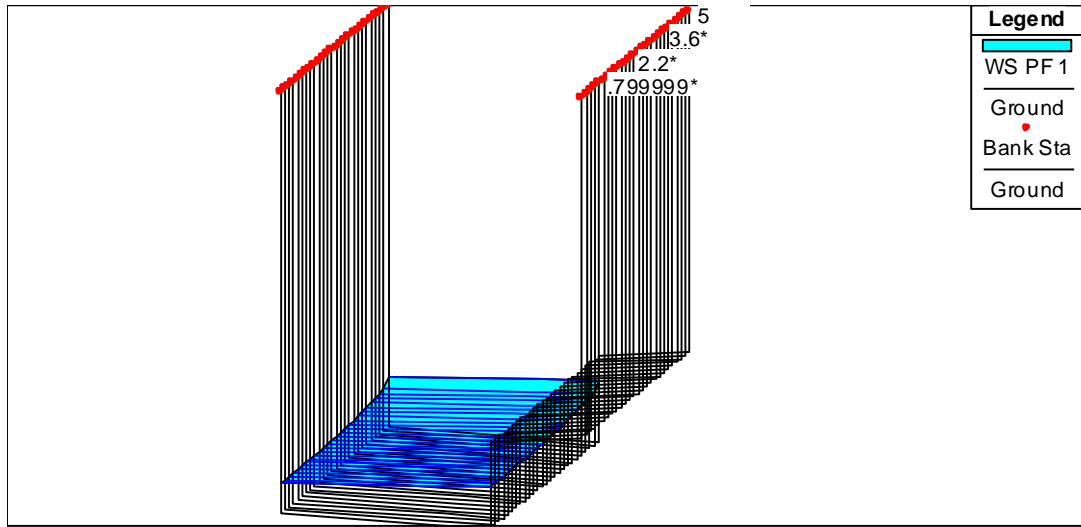


Figura III.7 Perfil longitudinal de la calle propuesta.

Tabla III.2 Tabla de resultados de las variables hidráulicas.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
único	5	PF 1	0.40	0.00	0.14	0.14	0.21	0.006373	1.13	0.35	2.75	1.00
único	4.8*	PF 1	0.40	-0.01	0.12	0.14	0.21	0.010871	1.33	0.30	2.75	1.29
único	4.6*	PF 1	0.40	-0.01	0.11	0.13	0.20	0.011935	1.37	0.29	2.75	1.34
único	4.4*	PF 1	0.40	-0.02	0.10	0.12	0.20	0.012324	1.38	0.29	2.75	1.36
único	4.2*	PF 1	0.40	-0.02	0.09	0.12	0.19	0.013533	1.42	0.28	2.75	1.42
único	4.*	PF 1	0.40	-0.03	0.08	0.11	0.19	0.014446	1.45	0.28	2.75	1.47
único	3.8*	PF 1	0.40	-0.04	0.08	0.11	0.19	0.015350	1.48	0.27	2.75	1.51
único	3.6*	PF 1	0.40	-0.04	0.07	0.10	0.19	0.017315	1.54	0.26	2.75	1.60
único	3.4*	PF 1	0.40	-0.05	0.06	0.09	0.18	0.018931	1.58	0.25	2.75	1.66
único	3.2*	PF 1	0.40	-0.05	0.05	0.09	0.18	0.020403	1.62	0.25	2.75	1.72
único	3.*	PF 1	0.40	-0.06	0.04	0.08	0.18	0.021507	1.64	0.24	2.75	1.76
único	2.8*	PF 1	0.40	-0.07	0.03	0.08	0.18	0.022564	1.67	0.24	2.75	1.80
único	2.6*	PF 1	0.40	-0.07	0.03	0.07	0.17	0.023353	1.69	0.24	2.75	1.83
único	2.4*	PF 1	0.40	-0.08	0.02	0.06	0.17	0.024032	1.70	0.24	2.75	1.86
único	2.2*	PF 1	0.40	-0.08	0.01	0.06	0.16	0.024729	1.72	0.23	2.75	1.88
único	2.*	PF 1	0.40	-0.09	0.01	0.05	0.16	0.025234	1.73	0.23	2.75	1.90
único	1.79999*	PF 1	0.40	-0.10	0.00	0.05	0.15	0.025676	1.74	0.23	2.75	1.91
único	1.59999*	PF 1	0.40	-0.10	-0.01	0.04	0.15	0.026160	1.75	0.23	2.75	1.93
único	1.39999*	PF 1	0.40	-0.11	-0.01	0.03	0.14	0.025397	1.73	0.23	2.75	1.90
único	1.19999*	PF 1	0.40	-0.11	-0.02	0.03	0.13	0.024635	1.71	0.23	2.75	1.88
único	.999999*	PF 1	0.40	-0.12	-0.02	0.02	0.13	0.025221	1.73	0.23	2.75	1.90
único	.799999*	PF 1	0.40	-0.13	-0.03	0.02	0.12	0.025666	1.74	0.23	2.75	1.91
único	.6*	PF 1	0.40	-0.13	-0.03	0.01	0.12	0.026057	1.74	0.23	2.75	1.93
único	.400000*	PF 1	0.40	-0.14	-0.04	0.00	0.11	0.026495	1.75	0.23	2.75	1.94
único	.200000*	PF 1	0.40	-0.14	-0.05	0.00	0.11	0.025790	1.74	0.23	2.75	1.92
único	0	PF 1	0.40	-0.15	-0.05	-0.01	0.10	0.026239	1.75	0.23	2.75	1.93

- Para una pendiente de 4% se presenta un tirante de 0.14 m, y números de Froude de 1 hasta 2.19, gasto de 400 l/s.

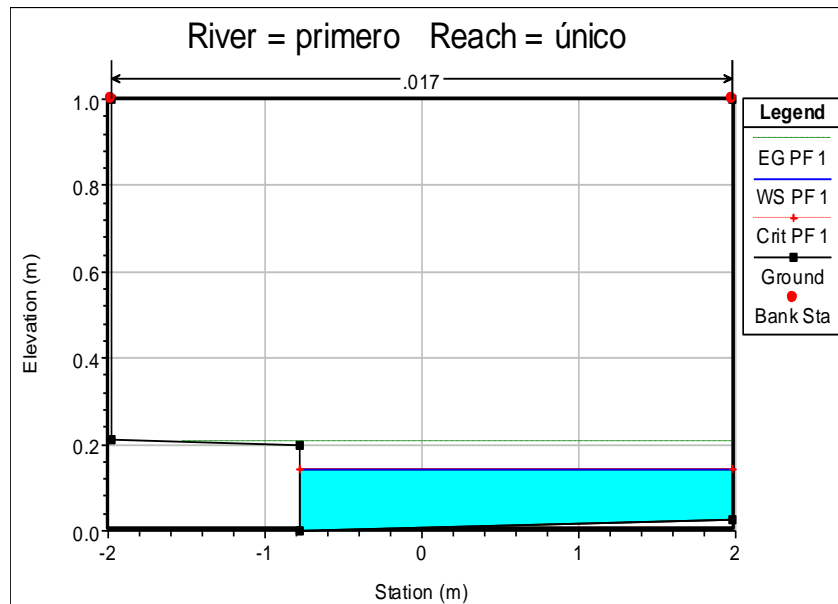


Figura III.8 Sección transversal de la calle propuesta.

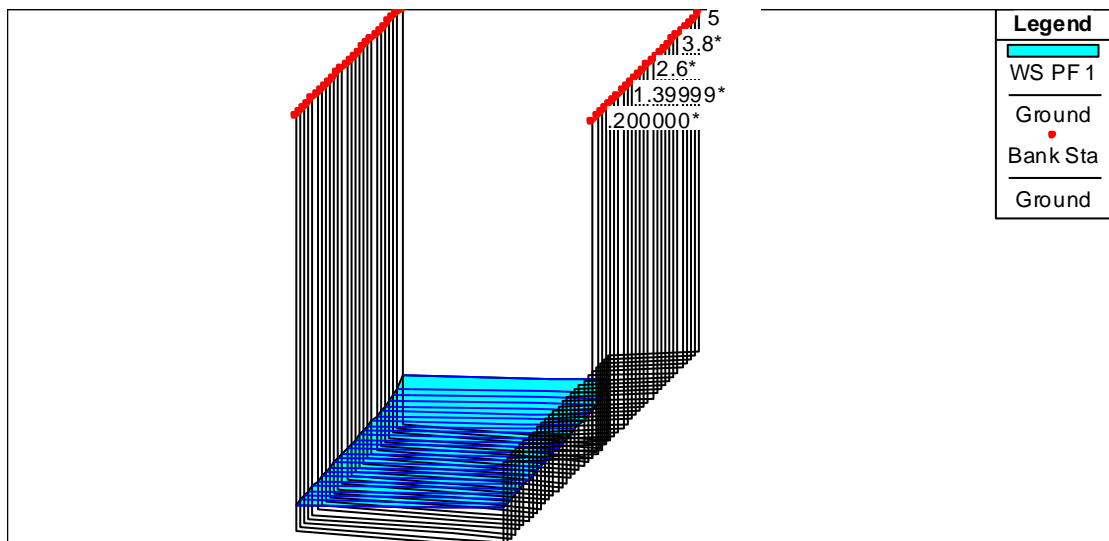


Figura III.9 Perfil longitudinal de la calle propuesta.

Tabla III.3 Tabla de resultados de las variables hidráulicas.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
único	5	PF 1	0.40	0.00	0.14	0.14	0.21	0.006373	1.13	0.35	2.75	1.00
único	4.8*	PF 1	0.40	-0.01	0.11	0.13	0.21	0.011398	1.35	0.30	2.75	1.31
único	4.6*	PF 1	0.40	-0.02	0.10	0.13	0.20	0.013206	1.41	0.28	2.75	1.41
único	4.4*	PF 1	0.40	-0.02	0.09	0.12	0.20	0.014943	1.47	0.27	2.75	1.49
único	4.2*	PF 1	0.40	-0.03	0.08	0.11	0.20	0.016635	1.52	0.26	2.75	1.57
único	4.*	PF 1	0.40	-0.04	0.07	0.10	0.19	0.017277	1.54	0.26	2.75	1.59
único	3.8*	PF 1	0.40	-0.05	0.06	0.09	0.18	0.017931	1.55	0.26	2.75	1.62
único	3.6*	PF 1	0.40	-0.06	0.05	0.09	0.18	0.018599	1.57	0.25	2.75	1.65
único	3.4*	PF 1	0.40	-0.06	0.04	0.08	0.17	0.019320	1.59	0.25	2.75	1.68
único	3.2*	PF 1	0.40	-0.07	0.03	0.07	0.16	0.020041	1.61	0.25	2.75	1.71
único	3.*	PF 1	0.40	-0.08	0.02	0.06	0.16	0.020729	1.62	0.25	2.75	1.73
único	2.8*	PF 1	0.40	-0.09	0.01	0.05	0.15	0.021420	1.64	0.24	2.75	1.76
único	2.6*	PF 1	0.40	-0.10	0.01	0.05	0.15	0.022137	1.66	0.24	2.75	1.79
único	2.4*	PF 1	0.40	-0.10	0.00	0.04	0.14	0.022848	1.67	0.24	2.75	1.81
único	2.2*	PF 1	0.40	-0.11	-0.01	0.03	0.13	0.023532	1.69	0.24	2.75	1.84
único	2.*	PF 1	0.40	-0.12	-0.02	0.02	0.13	0.024212	1.70	0.23	2.75	1.86
único	1.79999*	PF 1	0.40	-0.13	-0.03	0.01	0.12	0.024901	1.72	0.23	2.75	1.89
único	1.59999*	PF 1	0.40	-0.14	-0.04	0.01	0.12	0.025578	1.73	0.23	2.75	1.91
único	1.39999*	PF 1	0.40	-0.14	-0.05	0.00	0.11	0.026237	1.75	0.23	2.75	1.93
único	1.19999*	PF 1	0.40	-0.15	-0.06	-0.01	0.10	0.026888	1.76	0.23	2.75	1.95
único	.999999*	PF 1	0.40	-0.16	-0.06	-0.02	0.10	0.027529	1.77	0.23	2.75	1.98
único	.799999*	PF 1	0.40	-0.17	-0.07	-0.03	0.09	0.029427	1.81	0.22	2.75	2.04
único	.6*	PF 1	0.40	-0.18	-0.08	-0.03	0.09	0.031233	1.84	0.22	2.75	2.09
único	.400000*	PF 1	0.40	-0.18	-0.09	-0.04	0.09	0.032675	1.87	0.21	2.75	2.14
único	.200000*	PF 1	0.40	-0.19	-0.10	-0.05	0.08	0.033658	1.89	0.21	2.75	2.17
único	0	PF 1	0.40	-0.20	-0.11	-0.06	0.07	0.034450	1.90	0.21	2.75	2.19

- Para una pendiente de 5% se presenta un tirante de 0.14 m, y números de Froude de 1 hasta 2.27, gasto de 400 l/s.

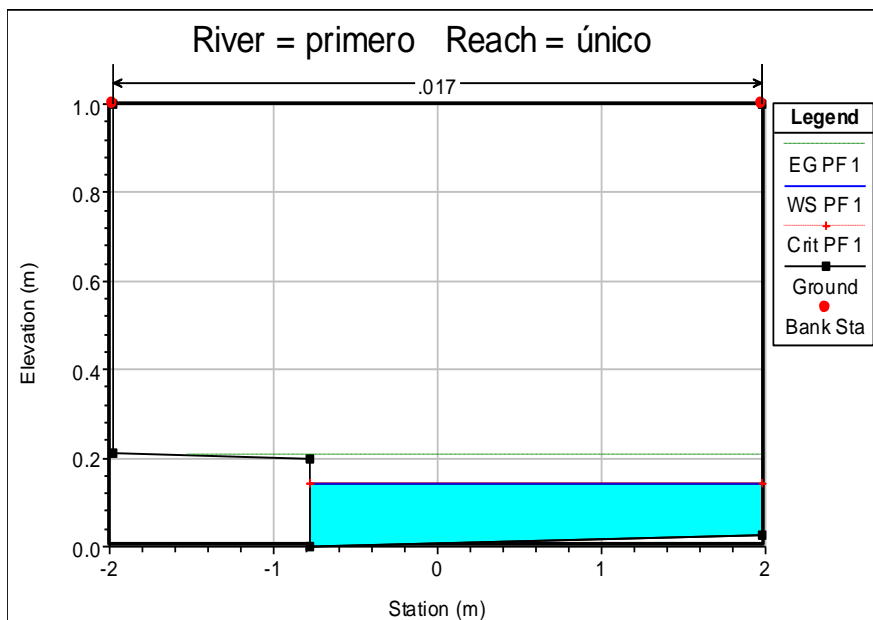


Figura III.10 Sección transversal de la calle propuesta.

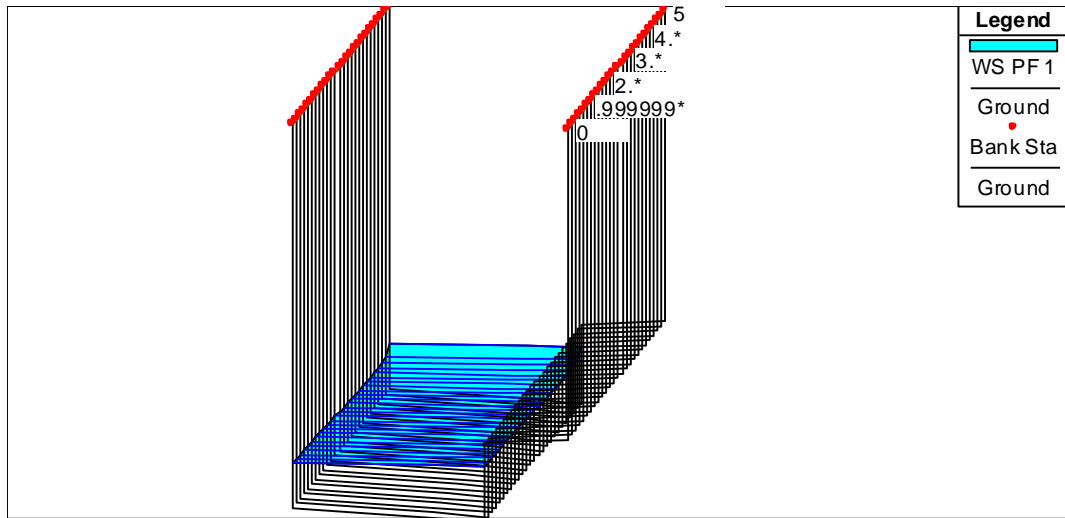


Figura III.11 Perfil longitudinal de la calle propuesta.

Tabla III.4 Tabla de resultados de las variables hidráulicas.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
único	5	PF 1	0.40	0.00	0.14	0.14	0.21	0.006373	1.13	0.35	2.75	1.00
único	4.8*	PF 1	0.40	-0.01	0.11	0.13	0.21	0.011398	1.35	0.30	2.75	1.31
único	4.6*	PF 1	0.40	-0.02	0.10	0.13	0.20	0.013206	1.41	0.28	2.75	1.41
único	4.4*	PF 1	0.40	-0.02	0.09	0.12	0.20	0.014943	1.47	0.27	2.75	1.49
único	4.2*	PF 1	0.40	-0.03	0.08	0.11	0.20	0.016635	1.52	0.26	2.75	1.57
único	4.*	PF 1	0.40	-0.04	0.07	0.10	0.19	0.017277	1.54	0.26	2.75	1.59
único	3.8*	PF 1	0.40	-0.05	0.06	0.09	0.18	0.017931	1.55	0.26	2.75	1.62
único	3.6*	PF 1	0.40	-0.06	0.05	0.09	0.18	0.018599	1.57	0.25	2.75	1.65
único	3.4*	PF 1	0.40	-0.06	0.04	0.08	0.17	0.019320	1.59	0.25	2.75	1.68
único	3.2*	PF 1	0.40	-0.07	0.03	0.07	0.16	0.020041	1.61	0.25	2.75	1.71
único	3.*	PF 1	0.40	-0.08	0.02	0.06	0.16	0.020729	1.62	0.25	2.75	1.73
único	2.8*	PF 1	0.40	-0.09	0.01	0.05	0.15	0.021420	1.64	0.24	2.75	1.76
único	2.6*	PF 1	0.40	-0.10	0.01	0.05	0.15	0.022137	1.66	0.24	2.75	1.79
único	2.4*	PF 1	0.40	-0.10	0.00	0.04	0.14	0.022848	1.67	0.24	2.75	1.81
único	2.2*	PF 1	0.40	-0.11	-0.01	0.03	0.13	0.023532	1.69	0.24	2.75	1.84
único	2.*	PF 1	0.40	-0.12	-0.02	0.02	0.13	0.024212	1.70	0.23	2.75	1.86
único	1.79999*	PF 1	0.40	-0.13	-0.03	0.01	0.12	0.024901	1.72	0.23	2.75	1.89
único	1.59999*	PF 1	0.40	-0.14	-0.04	0.01	0.12	0.025578	1.73	0.23	2.75	1.91
único	1.39999*	PF 1	0.40	-0.14	-0.05	0.00	0.11	0.026237	1.75	0.23	2.75	1.93
único	1.19999*	PF 1	0.40	-0.15	-0.06	-0.01	0.10	0.026888	1.76	0.23	2.75	1.95
único	.99999*	PF 1	0.40	-0.16	-0.06	-0.02	0.10	0.027529	1.77	0.23	2.75	1.98
único	.79999*	PF 1	0.40	-0.17	-0.07	-0.03	0.09	0.029427	1.81	0.22	2.75	2.04
único	.6*	PF 1	0.40	-0.18	-0.08	-0.03	0.09	0.031233	1.84	0.22	2.75	2.09
único	.40000*	PF 1	0.40	-0.18	-0.09	-0.04	0.09	0.032675	1.87	0.21	2.75	2.14
único	.20000*	PF 1	0.40	-0.19	-0.10	-0.05	0.08	0.033658	1.89	0.21	2.75	2.17
único	0	PF 1	0.40	-0.20	-0.11	-0.06	0.07	0.034450	1.90	0.21	2.75	2.19

El tirante máximo alcanzado con un gasto de 400 l/s fue de 0.14 m, se requiere un tirante mínimo de 0.50 m. Considerando diferentes gastos se alcanza un tirante de 0.50 m con un gasto de 3,500 l/s, para una pendiente de 2%. Se tienen números de Froude mayores a 1; es decir; se presenta un flujo supercrítico.

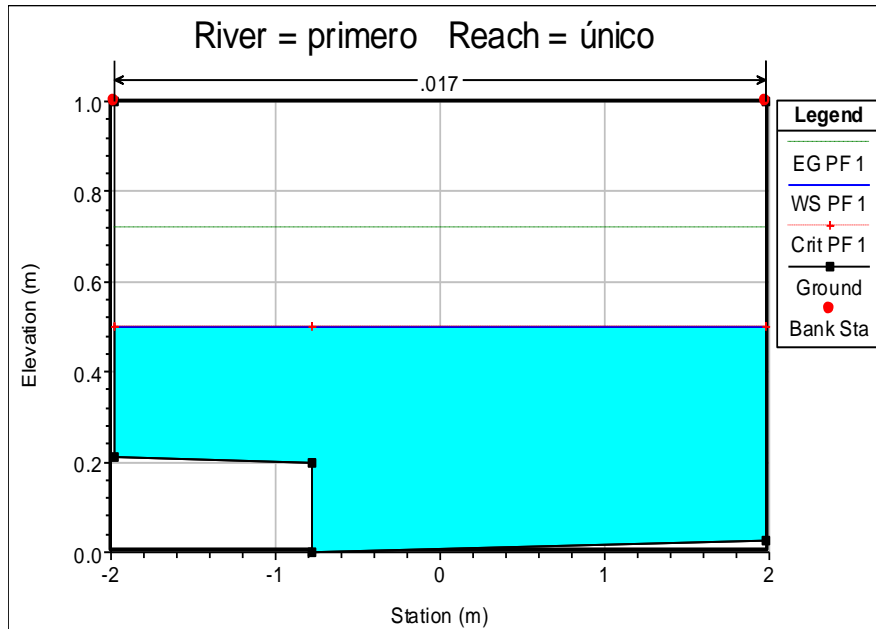


Figura III.12 Sección transversal de la calle propuesta.

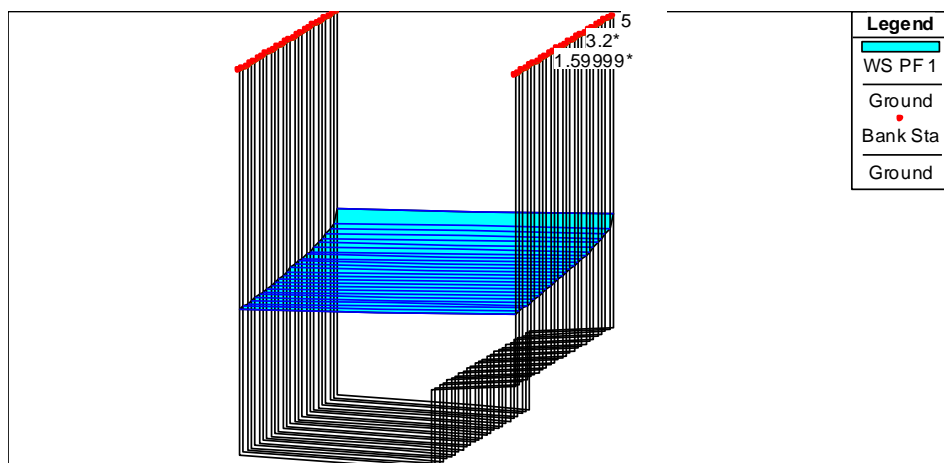


Figura III.13 Perfil Longitudinal de la calle propuesta.

Tabla III.5 Tabla de resultados de las variables hidráulicas.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
único	5	PF 1	3.50	0.00	0.50	0.50	0.72	0.005108	2.07	1.69	3.95	1.01
único	4.8*	PF 1	3.50	0.00	0.47	0.50	0.72	0.006443	2.23	1.57	3.95	1.13
único	4.6*	PF 1	3.50	-0.01	0.45	0.49	0.72	0.006840	2.27	1.54	3.95	1.16
único	4.4*	PF 1	3.50	-0.01	0.44	0.49	0.72	0.007213	2.31	1.52	3.95	1.19
único	4.2*	PF 1	3.50	-0.02	0.43	0.48	0.71	0.007552	2.34	1.49	3.95	1.22
único	4.*	PF 1	3.50	-0.02	0.43	0.48	0.71	0.007831	2.37	1.48	3.95	1.24
único	3.8*	PF 1	3.50	-0.02	0.42	0.48	0.71	0.008207	2.41	1.45	3.95	1.27
único	3.6*	PF 1	3.50	-0.03	0.41	0.47	0.71	0.008605	2.44	1.43	3.95	1.30
único	3.4*	PF 1	3.50	-0.03	0.40	0.47	0.71	0.008724	2.45	1.43	3.95	1.30
único	3.2*	PF 1	3.50	-0.04	0.39	0.46	0.71	0.008932	2.47	1.42	3.95	1.32
único	3.*	PF 1	3.50	-0.04	0.39	0.46	0.70	0.009123	2.49	1.41	3.95	1.33
único	2.8*	PF 1	3.50	-0.04	0.38	0.46	0.70	0.009307	2.51	1.40	3.95	1.34
único	2.6*	PF 1	3.50	-0.05	0.38	0.45	0.70	0.009485	2.52	1.39	3.95	1.36
único	2.4*	PF 1	3.50	-0.05	0.37	0.45	0.70	0.009779	2.55	1.38	3.95	1.38
único	2.2*	PF 1	3.50	-0.06	0.36	0.44	0.70	0.010049	2.57	1.36	3.95	1.39
único	2.*	PF 1	3.50	-0.06	0.35	0.44	0.70	0.010301	2.59	1.35	3.95	1.41
único	1.79999*	PF 1	3.50	-0.06	0.35	0.44	0.69	0.010544	2.61	1.34	3.95	1.43
único	1.59999*	PF 1	3.50	-0.07	0.34	0.43	0.69	0.010804	2.63	1.33	3.95	1.44
único	1.39999*	PF 1	3.50	-0.07	0.33	0.43	0.69	0.011030	2.64	1.32	3.95	1.46
único	1.19999*	PF 1	3.50	-0.08	0.33	0.42	0.69	0.011249	2.66	1.32	3.95	1.47
único	.99999*	PF 1	3.50	-0.08	0.32	0.42	0.69	0.011462	2.68	1.31	3.95	1.49
único	.79999*	PF 1	3.50	-0.08	0.32	0.42	0.69	0.011639	2.69	1.30	3.95	1.50
único	.6*	PF 1	3.50	-0.09	0.31	0.41	0.68	0.011803	2.70	1.30	3.95	1.51
único	.40000*	PF 1	3.50	-0.09	0.31	0.41	0.68	0.011960	2.71	1.29	3.95	1.52
único	.20000*	PF 1	3.50	-0.10	0.30	0.40	0.68	0.012112	2.72	1.28	3.95	1.52
único	0	PF 1	3.50	-0.10	0.30	0.40	0.68	0.012278	2.74	1.28	3.95	1.53

Como resultado de la simulación las dimensiones de la calle de pendiente variable considerando los tirantes las velocidades y el gasto de 1 m³/s se presentan en la Tabla III.7.

Tanque de almacenamiento

Para el diseño de las dimensiones del tanque de almacenamiento se toma en consideración que el deposito va ser capaz de proporcionar 1 m³/s durante un tiempo estimado de 4.37 minutos, esto debido a las limitaciones que presenta el laboratorio de hidráulica de proporcionar un gasto mayor a su capacidad máxima la cual es de 0.4 m³/s. para lo cual se realiza el siguiente calculo dando como resultado las dimensiones del tanque las cuales se muestran en la Tabla III.6.

$$Q_{salida} = 1 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (para 4.37 minutos requeridos)}$$

$$\text{Volumen} = 262.2 \text{ m}^3$$

Tabla III.6 Dimensiones del tanque propuesto.

B (m)	h (m)	L (m)
11.6	2.0	11.3

Las dimensiones finales para el modulo experimental se muestran en la Tabla III.7 y en la Figura III.14. En la Figura III.15 se puede observar el modulo experimental en 3 dimensiones.

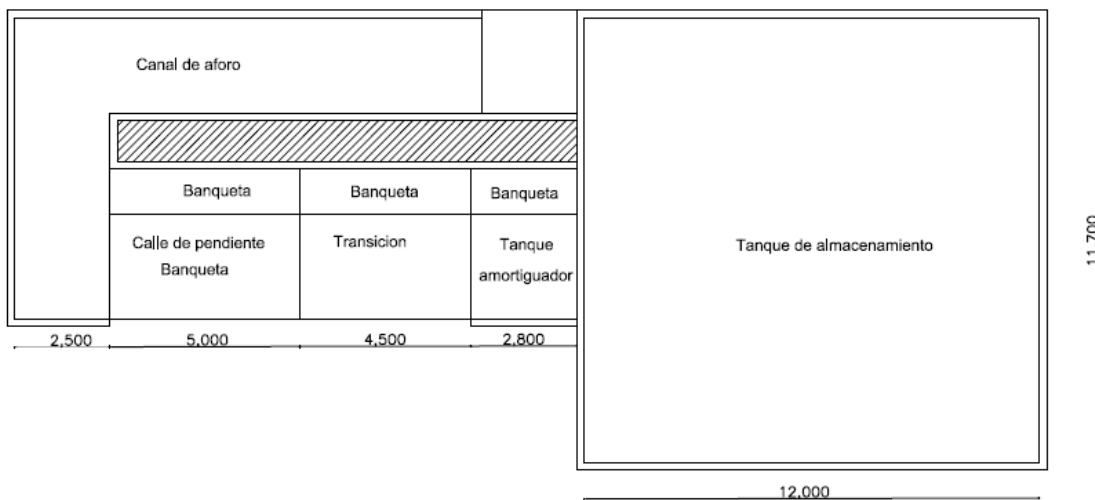


Figura III.14 Dimensiones del módulo experimental.

Tabla III.7 Características y dimensiones del módulo experimental.

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	CANTIDAD
ANCHO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	m	11.7
LARGO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	m	12
PROFUNDIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	m	2
ANCHO DEL TANQUE AMORTIGUADOR	m	4.95
LARGO DEL TANQUE AMORTIGUADOR	m	2.8
ANCHO DE TRANSICIÓN	m	4.95
LARGO DE TRANSICIÓN	m	4.5
LONGITUD DE LA CALLE DE PENDIENTE VARIABLE	m	5
ANCHO DE CARRIL DE CIRCULACIÓN	m	2.75
ANCHO DE BANQUETA	m	1.2
PENDIENTES LONGITUDINALES DE LA CALLE DE PENDIENTE VARIABLE	%	5

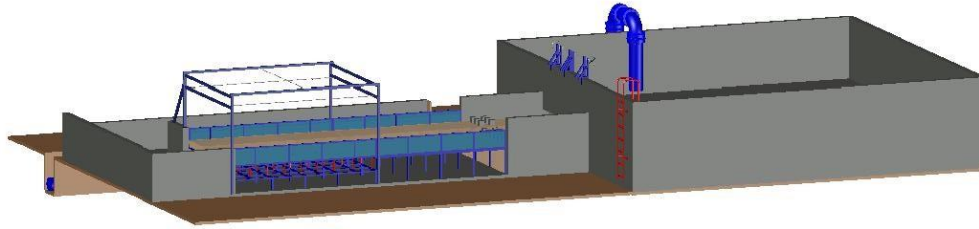


Figura III.15 Módulo experimental en 3D.

Configuración del modelo

Para la implementación del módulo experimental en el laboratorio, se buscó un espacio donde se colocará, sin embargo las dimensiones del módulo resultaron de gran tamaño por lo que se ubicó en la parte trasera del laboratorio ver Figura III.16.

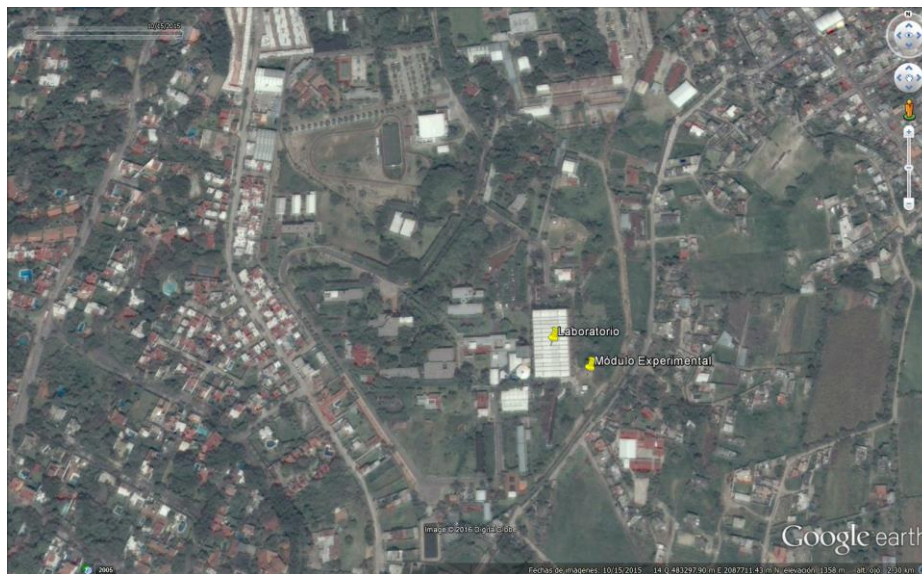


Figura III.16 Vista satelital de la ubicación del módulo experimental.

Inicialmente se escavo y se construyó la cimentación del tanque de almacenamiento que consta de muros de mampostería con material de relleno

para dar el nivel de desplante, en la figura se muestra la compactación del terreno.



Figura III.17 Compactación del terreno de desplante del tanque de almacenamiento.

En las Figura III.18 a Figura III.20 se muestra el armado y cimbrado del tanque de almacenamiento conforme las dimensiones de diseño el cual se va construir de losa y muros de concreto hidráulico armado.



Figura III.18 Armado con acero de refuerzo en losa y muros del tanque de almacenamiento.



Figura III.19 Cimbrado del tanque del almacenamiento.



Figura III.20 Cimbrado del tanque de almacenamiento.

En la Figura III.21 se muestra el armado del firme de concreto que va soportar al tanque amortiguador, la transición y la calle de pendiente variable.



Figura III.21 Armado del firme de concreto para el tanque amortiguador, transición y calle.

En la Figura III.22 se muestra el armado del firme para el canal del aforo.



Figura III.22 Armado del firme para el canal.

En las Figura III.23 a Figura III.57 se muestra el colado del tanque de almacenamiento el cual fue con concreto premezclado para poder tener construido el tanque.



Figura III.23 Esparcimiento de concreto para el firme del tanque de almacenamiento.



Figura III.24 Trabajador de Cemex realizando el colado del tanque de almacenamiento.



Figura III.25 Pulido del firme del tanque de almacenamiento.



Figura III.26 Hidratación del concreto del tanque de almacenamiento.

En las siguientes figuras se muestra el desarrollo de la configuración del módulo experimental el cual consiste en un tanque de almacenamiento, tanque amortiguador, transición, calle de pendiente variable, canal de aforo.



Figura III.27 Construcción de muros del canal aforador.



Figura III.28 acabado de muros en tanque de almacenamiento.



Figura III.29 Construcción de tanque amortiguador.



Figura III.30 Repellado de los muros del canal de aforo.



Figura III.31 Nivelación de muros del canal de aforo.



Figura III.32 Armado de estructura de soporte a base de PTR.



Figura III.33 Cadena de cierre de muros del tanque amortiguador.



Figura III.34 Colocación de estructura de soporte de la transición.



Figura III.35 Emboquillado en muros de canal.



Figura III.36 Anclaje de la transición.



Figura III.37 Armado de firme de concreto de tanque amortiguador.



Figura III.38 Colado de firme en tanque amortiguador.



Figura III.39 Habilitado de estructura de soporte de la tubería de alimentación y adaptación en PVC.



Figura III.40 Colocación de estructura de soporte móvil.



Figura III.41 Construcción de muro de mampostería.



Figura III.42 Soldadura de estructura de soporte lateral.



Figura III.43 Colocación y nivelación de la estructura de soporte lateral.



Figura III.44 Pintura en estructura de soporte.



Figura III.45 Pintura del modelo.



Figura III.46 Pintura del modelo.



Figura III.47 Pintura del canal del aforo.



Figura III.48 Especial para superficies en contacto con el agua.



Figura III.49 Colocación de triplay en calle y transición.



Figura III.50 Colocación de muro de acrílico transparente en el módulo.



Figura III.51 Colocar lo de lona para entrada al canal de salida.



Figura III.52 Habilitación de la compuerta.



Figura III.53 *Habilitado de la compuerta terminado.*



Figura III.54 *Colocación de la banqueta.*



Figura III.55 Habilitado de piezómetro para medición de tirantes.



Figura III.56 Colocación de estructura de soporte y guías para línea de vida.



Figura III.57 Módulo de una calle terminado.

IV. CALIBRACIÓN Y ENSAYOS PRELIMINARES

Cuando se terminó el proceso constructivo del módulo experimental, se realizaron las pruebas del funcionamiento general y detección de anomalías.

Se realizó la calibración y ensayos preliminares, donde se pudo constatar fugas en la compuerta principal del tanque de almacenamiento y el desbordamiento del canal de aforo donde se tiene el vertedor de pared delgada, En la Figura IV.1 se muestra el funcionamiento.



Figura IV.1 ensayo preliminar del tanque de almacenamiento.

Para poder operar el módulo experimental fue necesario controlar la compuerta, en la Tabla IV.1 se muestra las aberturas que se lograban obtener al hacer girar los engranes de la compuerta, con ayuda de esta información se hicieron calibraciones para poder medir los tirantes y las velocidades que se obtenían

con las diferentes aberturas, en la Tabla IV.2 se puede observar los tirantes y velocidades obtenidos al realizar una abertura de la compuerta de 0.066 m.

Tabla IV.1 Abertura de la compuerta para operación del tanque de almacenamiento.

Engranés	Abertura (m)
6	0.013
7	0.019
8	0.032
9	0.04
10	0.048
11	0.056
12	0.066
13	0.077
14	0.086
15	0.097
16	0.106
17	0.117
18	0.127
19	0.136
20	0.146
21	0.156
22	0.166
23	0.177
24	0.187
25	0.197
26	0.206
27	0.216
28	0.226
29	0.236
30	0.245

Tabla IV.2 Valores de las variables en la calibración con abertura de 0.066 m.

1 vuelta- 12 Dientes. Abertura de 0.066m						
Carga en el tanque	Velocidad m/s	Tirantes (cm)				
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
2	2.5	4	2	1.5	1.5	11
1.58	2.08	7	4.5	6	6	18.5
1.46	1.85	9	6	8.5	8.5	22
1.34	1.77	10	7	10.5	9.5	24.5
1.17	1.8	11	7	12	10	25.5
1.03	1.79	11	7.5	12	10	25.5
0.86	1.66	11.5	7.5	11.5	10	25.5
0.75	1.64	11	7	11	9	23.5
0.69	1.61	10.5	7	10	8.5	22.8
0.57	1.57	10	6.5	9.5	7.5	21.3

V. ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE LOS MODELOS Y MODIFICACIONES

Se llevó a cabo la metodología para realizar los ensayos del módulo experimental que consta de los siguientes pasos:

- Criterios de evaluación de peligrosidad considerando tirante y velocidades.
- Casos de estudio y perfil de personas ensayadas.
- Instrumentación de medición de las variables, tirante y velocidad.
- Campaña experimental y protocolo de ensayos.

Criterios de evaluación de peligrosidad considerando tirante y velocidades

En la Tabla VI.1 se muestra la margen de acción (tirante y velocidad) anteriores publicaciones de criterios de evaluación de peligro.

Tabla V.1 Margen de acción de las variables hidráulicas de las publicaciones anteriores.

Id	Fuente	Ref.	$Y_{m\acute{a}x}$	$v_{m\acute{a}x}$ (m.s ⁻¹)	$f(v,y)$	Aplicabilidad
1	Federal Emergency Management Agency (FEMA). The floodway: a guide for community permit officials. (USA)	(Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1979)	0.91	0.61	$v.y \leq 0.56$	
2	Human Stability in a High Flood Hazard Zone. AWRA Water Resources Bulletin. (USA)	(Abt <i>et al.</i> , 1989)	1.20	3.05	$0.71 \leq v.y \leq 2.13$	Cuencas urbanas y rurales
3	Control de desarrollo urbano en la zonas inundables (España)	(Témez, 1992)	1.00	1.00	$v.y \leq 0.50$	-
4	Basin Plan for the hydraulic and hydrogeological protection of the land (Italia)	(Regione Liguria. Autorità di Bacino Regionale. Ambito di Bacino No. 7, 1993)	0.30-0.70	1.00-2.00	-	Cuencas rurales
5	Clasificación de presas en función del riesgo potencial (España)	(Ministerio de Medio Ambiente de España 1996)	0.00-1.75	0.00-7.00	-	Cuencas rurales
6	Clark County Regional Flood Control District (CCRFC). Hydrological criteria and drainage design manual. Clark County (USA)	(Clark County Regional Flood Control District (CCRFC), 1999)	0.30	-	$v.y \leq 0.55$	Cuencas urbanas
7	Tesis Doctoral de Nania, 1999. Universitat Politècnica de Catalunya.	(Nania, 1999)	-	1.00	-	Cuencas urbanas
8	Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMC). Floodplain Management in Australia (Australia and New Zealand).	(Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMC), 2000)	1.20-1.50	1.50	-	Cuencas urbanas
9	EU-Project RESCDAM: Helsinki PR Water Consulting (Finland)	(Reiter, 2000)	-	-	$0.25 \leq v.y \leq 0.70$	Cuencas rurales
10	Curso de Hidrología Urbana. Universitat Politècnica de Catalunya.	(Gómez, 2008)	-	-	$v.y \leq 0.45$	Cuencas urbanas
11	Tesis Doctoral de Kelman. University of Cambridge	(Kelman, 2002)	1.25	5.00	-	Cuencas urbanas
12	Flood risks to people: Phase 1. R&D Technical Report FD 2317. Flood risks to people: Phase 2 R&D Technical Report FD 2321. Department of the Environment, Food and Rural Affairs and Environment Agency, London.	(Ramsbottom <i>et al.</i> , 2006)	-	-	$HR = y(v + 0.5) + DF$	Cuencas urbanas
13	Risques Hydro-météorologiques, crues et inondations/ risqué, aléa et vulnérabilité/ DDS-TUE364/9 (Switzerland)	(Belleudy, 2004)	0.00-1.00	0.25-1.00	-	Cuencas urbanas y rurales
14	Floodplain Development Manual. The management of flood liable land	(Department of Infrastructure Planning and Natural Resources. New South Wales Government, 2005)	2.00	2.00	-	Cuencas urbanas y rurales
15	PICBA06: Pla Integral de Clavegueram de Barcelona, 2006 (España)	(Clavegueram de Barcelona S.A. (CLABSA), 2006)	0.06	1.50	-	-
16	Tesis Doctoral de Russo. Universitat Politècnica de Catalunya	(Russo, 2009)	0.16	1.88	$(v.y)^{1/2} = [0.0063.(H.P')^3] - 0.0726$	Cuencas urbanas
17	Australian Rainfall and Runoff. Project 10. Report for the Appropriate Safety Criteria for People	(Cox <i>et al.</i> , 2010)	1.20	3.20	-	Cuencas urbanas y rurales

Tabla V.2 Margen de acción de las variables hidráulicas para este estudio.

Fuente	Y máx.	V máx. (m.s ⁻¹)	f(v,y)	Aplicabilidad
ESTUDIO EXPERIMENTAL CON MODELOS FISICOS PARA GENERACIÓN DE CRITERIOS DE PELIGRO POR INUNDACIÓN Y PARA CARACTERIZACIÓN DE EFECTOS DEL ARRASTRE DE SÓLIDOS SOBRE ESTRUCTURAS DE CRUCE EN RÍOS DE ZONAS URBANAS	0.3	2	0.6	ZONAS URBANAS

Casos de estudio y perfil de personas ensayadas

La elección de la talla de las personas se realizó conforme a un estudio realizado por la CANAIVE la cual representa una muestra significativa posible, en cuanto a género, edad, peso y altura.

Tabla V.3 Rango de edades, peso y altura de los peatones.

Género	Edad (años)	Peso P (kg)	Altura H (m)
Femenino	21 - 40	62.9 - 72.15	1.58 - 1.62
Masculino	21 - 40	70.43 - 77.3	1.60 - 1.72



Figura V.1 Ejemplo de un peatón realizando ensayos



Figura V.2 Calzado usado para las pruebas.

El quipo empleado para realizar los ensayos consta de: impermeables, arnés de alto impacto y línea de vida.



Figura V.3 Arnés de seguridad.

Instrumentos de medición de las variables, tirante y velocidad

Compuerta instalada en el tanque de almacenamiento, operada conforme se pide la carga en el tanque de almacenamiento (ver Tabla V.5), dicha operación se dará con ayuda de un limnómetro instalado, ver Figura V.4.



Figura V.4 limnmetro instalado en el tanque de almacenamiento.

Se instaló un sistema de piezómetros, donde se miden los tirantes para cada escenario en la calle de pendiente variable, ver Figura V.5.



Figura V.5 Sistema de piezómetros.

Se instaló un vertedor aforador de pared delgada donde se mide el caudal generado para cada escenario, ver Figura V.6.



Figura V.6 Vertedor de pared delgada.

La medición de velocidades se realiza con el FLOWTRACKER, de funcionamiento acústico con tres componentes, ver Figura V.7.



Figura V.7 Flow Tracker.

Protocolo de campaña de medición y ensayos

Se probarán dos tipos de textura en la calle de pendiente variable, las cuales son muy comunes en las zonas urbanas de la República Mexicana:

- Asfalto

Cada escenario se realizará con pendientes:

- 5 %

Las cual fue obtenida de un estudio realizado considerando la pendiente más fuerte de las calles principales de las diferentes ciudades de la República Mexicana.

Cada peatón ensayado (ver Tabla V.4) debe caminar por el agua que circula por la calle de pendiente variable en tres direcciones, transversal, diagonal y longitudinalmente según el sentido del flujo a partir de un punto de origen (en la Figura V.8 se muestra con líneas punteadas de color rojo).

Tabla V.4 Características de los peatones que realizaron las pruebas.

Peatón	Masculino	Femenino	Peso	Altura
1	x		56.9	1.7
2	x		62.2	1.65
3	x		57.8	1.76
4		x	51	1.43
5		x	72	1.56
6	x		72.6	1.65
7		x	59	1.54
8	x		73	1.63
9	x		94.1	1.84
10	x		99.5	1.72
11	x		60	1.68
12		x	75	1.53
13	x		92.1	1.73
14		x	52	1.55

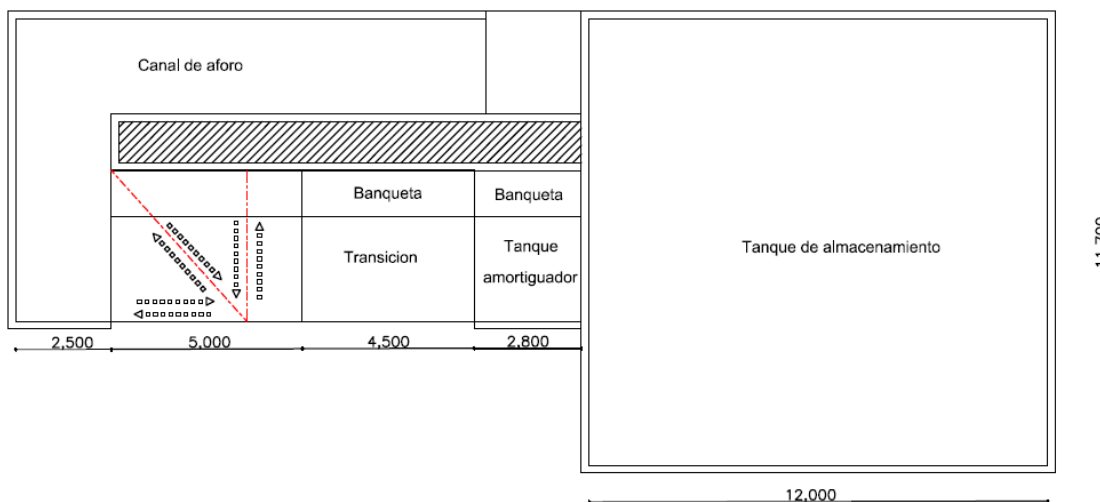


Figura V.8 Recorrido realizado por el peatón

Tabla V.5 Escenarios (pruebas) propuestos para hacer transitar al peatón.

Prueba	Descripción una vuelta	Abertura de Compuerta (m)	Carga de Tanque (m)
1	6 dientes	0.013	1.88
2	6 dientes	0.013	1.77
3	6 dientes	0.013	1.68
4	7 dientes	0.019	1.77
5	7 dientes	0.019	1.57
6	7 dientes	0.019	1.38
7	7 dientes	0.019	1.21
8	7 dientes	0.019	1.05
9	7 dientes	0.019	0.9
10	7 dientes	0.019	0.76
11	7 dientes	0.019	0.63
12	8 dientes	0.032	2
13	8 dientes	0.032	1.71
14	8 dientes	0.032	1.68
15	8 dientes	0.032	1.54

Tabla V.5 Escenarios (pruebas) propuesta para hacer transitar al peatón (continuación).

Prueba	Descripción una vuelta	Abertura de Compuerta (m)	Carga de Tanque (m)
16	8 dientes	0.032	1.42
17	8 dientes	0.032	1.3
18	8 dientes	0.032	1.17
19	8 dientes	0.032	1.06
20	8 dientes	0.032	0.95
21	8 dientes	0.032	0.85
22	8 dientes	0.032	0.76
23	8 dientes	0.032	0.68
24	9 dientes	0.040	1.76
25	9 dientes	0.040	1.39
26	9 dientes	0.040	0.92
27	10 dientes	0.480	1.68
28	10 dientes	0.480	1.22
29	10 dientes	0.480	0.845
30	11 dientes	0.056	1.73

Tabla V.5 Escenarios (pruebas) propuesta para hacer transitar al peatón (continuación).

Prueba	Descripción una vuelta	Abertura de Compuerta (m)	Carga de Tanque (m)
31	11 dientes	0.056	1.21
32	11 dientes	0.056	0.81
33	12 dientes	0.066	1.58
34	12 dientes	0.066	1.17
35	12 dientes	0.066	0.86
36	13 dientes	0.077	1.67
37	13 dientes	0.077	1.27
38	13 dientes	0.077	0.8
39	14 dientes	0.086	1.58
40	14 dientes	0.086	1.13
41	14 dientes	0.086	0.79
42	15 dientes	0.097	1.58
43	15 dientes	0.097	1.13

44	15 dientes	0.097	0.76
45	16 dientes	0.106	1.45

Tabla V.5 Escenarios (pruebas) propuesta para hacer transitar al peatón (continuación).

Prueba	Descripción una vuelta	Abertura de Compuerta (m)	Carga de Tanque (m)
46	16 dientes	0.106	0.99
47	17 dientes	0.117	1.8
48	17 dientes	0.117	0.9
49	18 dientes	0.127	1.8
50	18 dientes	0.127	0.9
51	19 dientes	0.136	1.8
52	19 dientes	0.136	0.9
53	20 dientes	0.146	1.8
54	20 dientes	0.146	0.9
55	21 dientes	0.156	1.8
56	21 dientes	0.156	0.9
57	22 dientes	0.166	1.8
58	22 dientes	0.166	0.9
59	23 dientes	0.177	1.8
60	23 dientes	0.177	0.9

Tabla V.5 Escenarios (pruebas) propuesta para hacer transitar al peatón (continuación).

Prueba	Descripción una vuelta	Abertura de Compuerta (m)	Carga de Tanque (m)
61	24 dientes	0.187	1.8
62	24 dientes	0.187	0.9
63	25 dientes	0.197	1.8
64	25 dientes	0.197	0.9
65	26 dientes	0.206	1.8
66	26 dientes	0.206	0.9
67	27 dientes	0.216	1.8
68	27 dientes	0.216	0.9
69	27 dientes	0.226	1.8
70	28 dientes	0.226	0.9

Las pruebas se realizaron por cada individuo con distintas cargas en el tanque y aberturas de la compuerta (ver Tabla V.4), con la finalidad de obtener diversos tirantes y velocidades. En la Figura V.9 a Figura V.36 se muestra a cada uno de los peatones seleccionados realizando la prueba donde no pudieron terminar su trayectoria en el módulo experimental debido a su caída. En la Tabla V.6 se muestran los resultados de las variables hidráulicas para cada uno de los peatones realizando la prueba donde cedieron al vuelco, el resto de las imágenes, videos y variables hidráulicas de cada una de las pruebas se puede analizar en el anexo digital.



Figura V.9 prueba realizada por el peatón 1 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.10 prueba realizada por el peatón 1 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.11 prueba realizada por el peatón 2 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.12 prueba realizada por el peatón 2 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.13 prueba realizada por el peatón 3 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.14 prueba realizada por el peatón 3 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.15 prueba realizada por el peatón 4 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.16 prueba realizada por el peatón 4 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.17 prueba realizada por el peatón 5 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.18 prueba realizada por el peatón 5 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.19 prueba realizada por el peatón 6 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.20 prueba realizada por el peatón 6 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.21 prueba realizada por el peatón 7 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.22 prueba realizada por el peatón 7 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.23 prueba realizada por el peatón 8 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.24 prueba realizada por el peatón 8 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.25 prueba realizada por el peatón 9 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.26 prueba realizada por el peatón 9 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.27 prueba realizada por el peatón 10 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.28 prueba realizada por el peatón 10 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.29 prueba realizada por el peatón 11 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.30 prueba realizada por el peatón 11 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.31 prueba realizada por el peatón 12 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.32 prueba realizada por el peatón 12 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.33 prueba realizada por el peatón 13 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.34 prueba realizada por el peatón 13 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.



Figura V.35 prueba realizada por el peatón 14 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco.



Figura V.36 prueba realizada por el peatón 14 donde se presentó su límite máximo de resistencias al vuelco, provocando su caída.

Tabla V.6 Resultados de las variables hidráulicas de los peatones.

Peatón	Velocidad (m/s)	Tirante (cm)	Pendiente de calle (%)
1	3.25	23.00	5
2	2.74	17.00	5
3	3.06	26.00	5
4	2.76	18.00	5
5	2.89	22.00	5
6	2.48	28.00	5
7	2.85	21.00	5
8	2.82	21.00	5
9	3.03	26.50	5
10	2.89	21.00	5
11	2.44	15.00	5
12	2.94	22.00	5
13	2.80	25.00	5
14	2.90	20.00	5

VI. GENERACIÓN DE NOMOGRAMAS DE PELIGRO

Se realizaron los criterios para la generación de nomogramas considerando la siguiente tabla.

Tabla VI.1 Casos para considerar peligro Alto, Medio, Bajo y Nulo

PELIGRO	CASO
ALTO	La persona perdió por completo la estabilidad y se realizó un vuelco, sin concluir el recorrido completo.
MEDIO	La persona mostró dificultad para llevar a cabo el recorrido completo, se observan tropiezos, inestabilidad, lentitud.
BAJO	La persona mostró pequeñas inestabilidades, lentitud y pequeños resbalones al realizar el recorrido completo.

Las pruebas se realizaron por cada individuo con distintas cargas en el tanque y aberturas de la compuerta, con la finalidad de obtener diversos tirantes y velocidades. Con los criterios de peligro definidos con anterioridad, se representan los resultados en una gráfica de dispersión y se definen puntos (pruebas), para establecer fronteras en los límites de peligro bajo, medio o alto.

En la Figura VI.1, Figura VI.2, Figura VI.3 y Figura VI.4 se presentan los nomogramas diseñados cada uno para un peatón (el resto de los nomogramas se incluyeron en el anexo digital). En los nomogramas se puede observar que las variables de peso y altura que se consideraban las más fuertes para representar el peligro al vuelco, pasan a segundo termino.

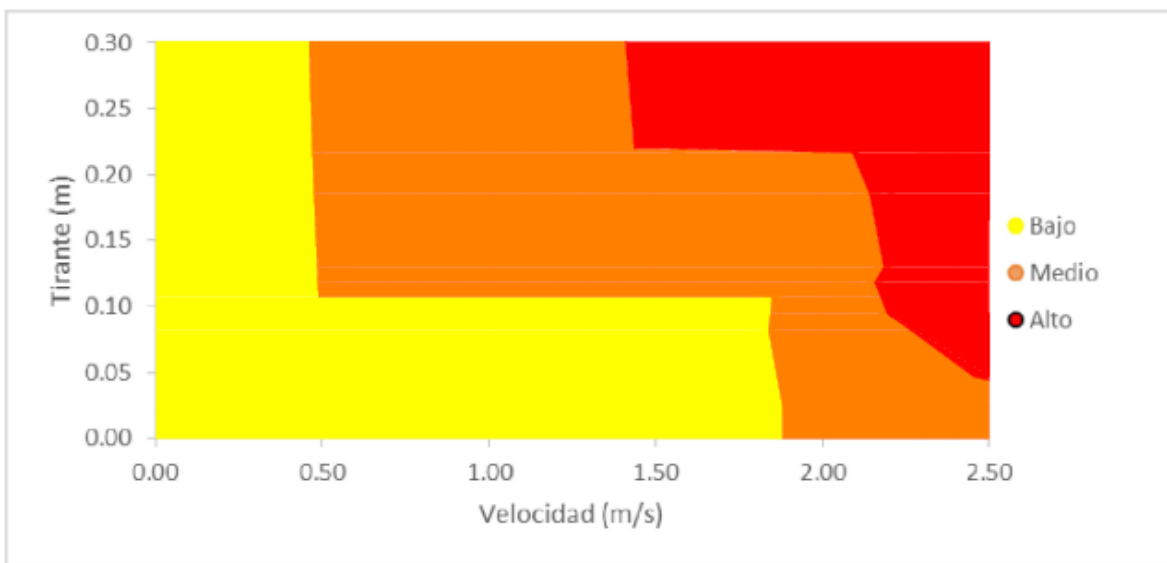


Figura VI.1 Nomograma de peligro para el peatón 6.

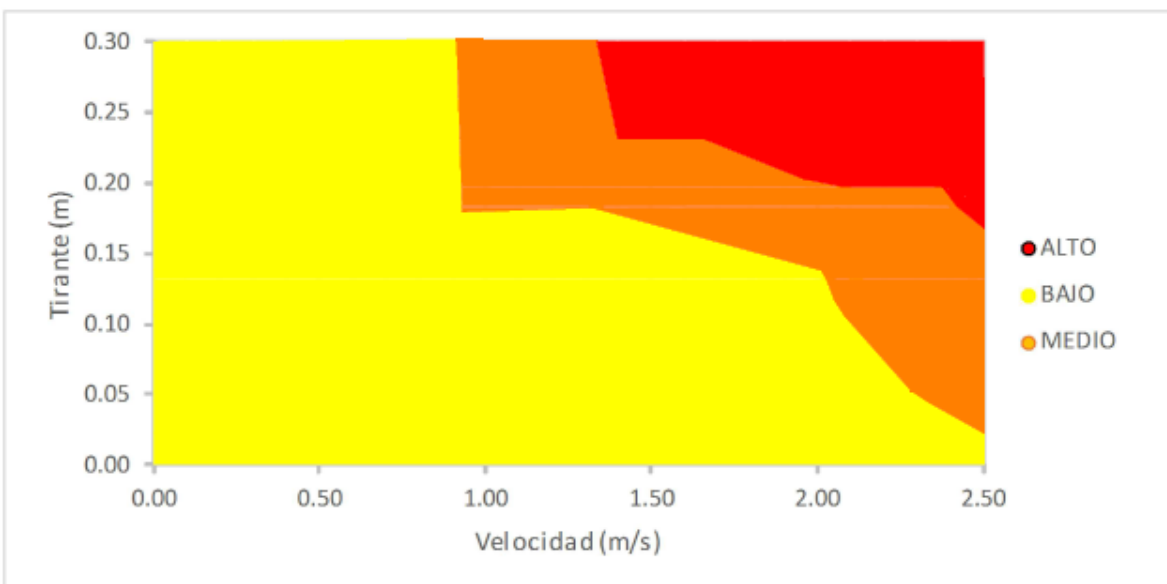


Figura VI.2 Nomograma de peligro para el peatón 4.

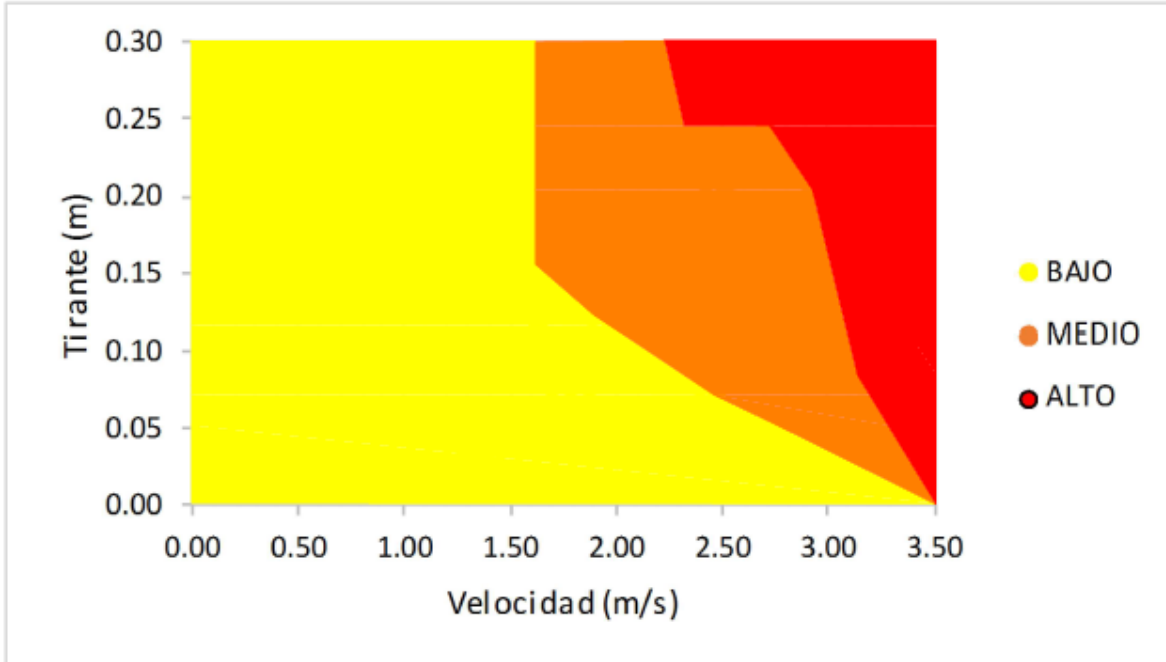


Figura VI.3 Nomograma de peligro para el peatón 10.

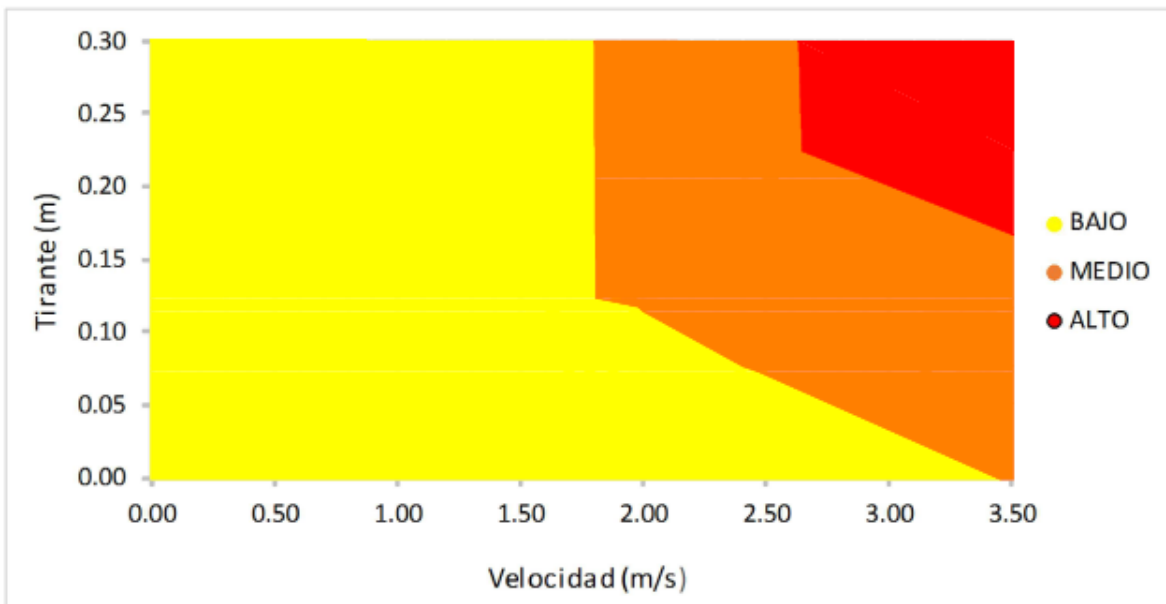


Figura VI.4 Nomograma de peligro para el peatón 3.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las pruebas experimentales se realizaron continuamente durante un periodo de 4 meses aproximadamente, de los datos de tirantes y velocidades que se obtuvieron por cada individuo fueron utilizados para generar nomogramas, donde los parámetros iniciales que varían durante pruebas similares son el peso, la estatura y el sexo. En un primera justificación se pensaba que dos factores importantes a considerar serían el calzado y la rugosidad de la calle, posteriormente los sujetos de prueba determinaron que lo que más influye definitivamente es la velocidad del flujo, esto provoca un desequilibrio en el individuo y generalmente se presenta una caída a velocidades mayores a 2 m/s.

Durante las primeras pruebas se observó que se adopta un aprendizaje en el proceso de cruzar la calle considerando un flujo, esta acción se realiza continuamente y el individuo comienza a acostumbrarse adoptando una técnica y en las pruebas críticas evitar caer. Este proceso se observó con el primer sujeto, ya que las pruebas iban en orden ascendente, tanto en tirante como en velocidad, el individuo adoptó una forma de caminar dentro del agua y expresó que la acción de extraer del agua la extremidad, le permitía mantener el equilibrio y evitaba caer. Por lo que posteriormente se realizaron pruebas de manera aleatoria con los siguientes individuos.

Como primera conclusión durante el desarrollo de las actividades, se pensaba que el factor más importante para no caer en alguna prueba con una velocidad considerable sería el peso, se establece una menor probabilidad de inestabilidad en una persona con un mayor peso en comparación con un individuo sometido a una prueba donde se presente la misma velocidad y el mismo tirante pero con un peso mucho menor. Se descarta esta teoría debido a que los individuos sometidos en pruebas similares y con un peso muy distinto contradice esta consideración que se tenía en un principio; un individuo con menor peso no

necesariamente presentara una caída para la cual ya se han registrado niveles de peligro altos. En los comentarios de los sujetos de prueba concluyen que no perdieron el equilibrio totalmente, debido a que el entorno donde se desenvuelven, las actividades diarias que realizan y el hecho de practicar algún deporte, generan cierta ventaja en las capacidades psicomotrices de individuos con peso liviano.

Una segunda teoría que se descarta es la de someter a un hombre y a una mujer a la misma prueba, anticipando que el resultado sería por naturaleza en ventaja para un hombre, ya que se requiere cierta fuerza en las extremidades inferiores para caminar con un flujo considerable, se presentó el caso contrario en donde una persona de sexo femenino de complexión media no presento caídas en pruebas donde generalmente existía un peligro alto.

REFERENCIAS

Braudrick, Ch. A., Grant, G. E. (2001). "Transport and Deposition of large woody debris in streams. A flume experiment". *Geomorphology* **41** (2001). P263-283.

Braudrick, Ch. A. Grant, G. E. (2000). "When do logs move in rivers?", *Water Resources Research*, V. **36**, No.2, pp571-583.

Cherry, J. and R.L. Beschta (1989). *Coarse Woody Debris and Channel Morphology: a Flume Study*. Water Resources Association, p. 1031-1036.

Lyn, D.A. Cooper, T., Sinha, R. Rao (2003). *Debris Accumulation at Bridge Crossings: Laboratory and Field Studies*. Purdue University.

Schmocker, L., Hager, W.H. (2011). "Probability of Drift Blockage at Bridge Decks". *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. **137**, (4), pp. 470-479.

Wallerstein, N.P. Alonso C.V. Benett, S.J. and Thorne, C. R. (2001). "Distorted Froude-Scaled Flume Analysis of Large Woody Debris". *Earth Surface Process and Landforms*, **26**, p.1265-1283.

Yarnell, D.L. (1934). *Pile Trestles as Channel Obstructions*. Technical Bulletin No. 429. United States Department of Agriculture Washington D.C. pp.52.

Abt et Al. (1989). Abt, S. R.; Wittler, R. J.; Taylor, A.; Love, D. J. *Human stability in a high flood hazard zone*. AWRA Water Resour.

Albornoz G. P. M., Rodríguez V. J. M. Alcocer Y. V. H., Alonso O. A., Vidal R. H. (2013). *Identificación del Escurrimiento pluvial con líneas de corriente y microcuencas generadas en el Hec-GeoHMS en Zonas Urbanas*. XII Simposio Iberoamericano sobre Planificación de Sistemas de Abastecimiento y Drenaje, SEREA, Buenos Aires Argentina, 9.

Alcocer-Yamanaka V. Rodríguez V. J. M., Albornoz G. P. M., Maldonado S. J., López O. J. A., Alonso O. J. A., Vidal R. H. Quiñones B. J. R. (2012). *Manejo de Aguas pluviales de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo*. Agua en Quintana Roo, Julio - Septiembre, pp 9-14.

Alcocer-Yamanaka, V. (2011). *Construcción de mapas de riesgo e inundaciones en la región del Soconusco*. Tercer Seminario de Potamología - José Antonio Masa Álvarez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 23 al 25 de Agosto.

Aparicio J. (2010). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México, D.F: Limusa.

Bertoni, J. (2013). *Mapa de Riesgo de inundación, Criterios para la elaboración de cartografía de riesgos de origen hídrico, adaptados a LAC*. III Reunion del Grupo de Aguas urbanas para America Latina y el Caribe. Buenos Aires, Argentina: UNESCO.

Cavanagh, C., Webb, W., & Hodgkinson, H. (1982). *In-Situ Lateral Load Tests on an Old Brickwork Building*. British Ceramic Research Association Ltd. Technical Note No 345.

CENAPRED - SEGOB. (2013). *Sistema de alerta temprana de fenómenos hidrometeorológicos*. Recuperado el 16 de mayo de 2013, de <http://geografica.cenapred.unam.mx/SIGMAFH/informacion.php>

CENAPRED - SEGOB. (2013). *Riesgos Hidrometeorológicos*. Recuperado el 16 de mayo de 2013, de SEGOB - CENAPRED: <http://www.cenapred.unam.mx/es/PreguntasFrecuentes/faqpopo5.html>

CENAPRED. (2004). *Centro Nacional de Prevención de Desastres, Inundaciones*. D.F. México: Secretaría de Gobernación.

CENAPRED. (2004). *Guía Básica para la elaboración de Atlas estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. En C. N. Desastres, *Guía Básica para la elaboración de Atlas estatales y Municipales de Peligros y Riesgos* (pág. 386). México D.F.

CENAPRED. (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fenómenos Hidrometeorológicos*. México: Sistema Nacional de Protección Civil - CENAPRED.

CENAPRED. (2013). *CENAPRED*. Recuperado el 11 de junio de 2013, de http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=190