

ISSN: 1665-4668



Revista

PAKBOL

Año 19 Diciembre 2020 Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Chiapas

latindex

Folio: 23060  
www.latindex.org



UNIVERSIDAD  
**Ingeniería**



*“Nueva infraestructura, Edificio U3C 13 entre ejes”  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma de Chiapas.*



## DIRECTORIO

- Dr. Carlos F. Natarén Nandayapa**  
*Rector de la UNACH*
- Dra. María Eugenia Culebro Mandujano**  
*Secretaria General-UNACH*
- Dra. Leticia del Carmen Flores Alfaro**  
*Secretaria Académica-UNACH*
- C.P.C Roberto Cárdenas de León**  
*Secretario Administrativo-UNACH*
- Dra. María Guadalupe Rodríguez Galván**  
*Directora General de Investigación y Posgrado*
- Dr. Gonzalo López Aguirre**  
*Director General de Extensión Universitaria*

## FACULTAD DE INGENIERÍA

- Dr. Arcadio Zebadúa Sánchez**  
*Encargado de la Dirección*
- Mtro. Ricardo Gabriel Suárez Gómez**  
*Secretario Académico*

## COMITÉ CIENTÍFICO INTERNO

- M.I Juan José Muciño Porras**  
*Ingeniería Hidráulica y Ambiental*
- M.I Jorge Alfredo Aguilar Carboney**  
*Prevención de Desastres Naturales*
- M.I Fredy Humberto Caballero Rodríguez**  
*Construcción Sustentable*
- Dr. Hipólito Hernández Pérez**  
*Desarrollo y Didáctica de la Matemática Educativa*
- Dr. Hugo Alejandro Guillén Trujillo**  
*Centro de Eco tecnologías y Desarrollo Sustentable*
- Dra. Daisy Escobar Castillejos**  
*Coordinadora de Investigación y Posgrado de la Facultad*

## COMITÉ EDITORIAL

- Dr. Arcadio Zebadúa Sánchez**
- Mtro. Ricardo Gabriel Suárez Gómez**
- Dr. José Alonso Figueroa Gallegos**
- LCC. Marcela Aguilar Aquino**

**Dr. José Alonso Figueroa Gallegos**  
*Director de la Revista*

**LCC. Marcela Aguilar Aquino**  
*Departamento Editorial*

**LCC. Marcela Aguilar Aquino**  
*Formación y Diseño Editorial*

## CONTENIDO

<b>EDITORIAL</b>	3
<b>SUMARIO</b>	4
Modelos de tormenta e hidrogramas unitarios a partir de las ecuaciones de Wiener-Hopf. <i>Omar de la Cruz-Courtois, Delva Guichard R., Miguel A. Aguilar S.</i>	5
Análisis de parametros de la vibración de puentes atirantados peatonales. <i>Manuel Jara Díaz, Luis F. Silva G., Jorge A. Aguilar C.</i>	14
Revisión de flujo en transporte publico, región poniente de la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez. <i>Gabriel Ballinas Salazar, Ricardo Suárez G., Teresa del Rosario Argüello M.</i>	22
Identificación de vulnerabilidad urbana por inundaciones en Tuxtla Gutiérrez. <i>Teresa del Rosario Argüello M., Delva Guichard R., Miguel A. Aguilar S.</i>	29
Diseño de una situación didáctica para el estudio de la noción de razón de cambio. <i>Humberto Manuel Gómez, Cristóbal Cruz Ruiz.</i>	38

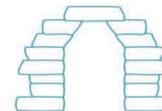


Foto portada:  
Instalaciones de la  
Facultad de Ingeniería- UNACH

# EDITORIAL

*Estimados Lectores..*



*B*ienvenidos a la tercera publicación del año 2020 de la revista Pakbal. A pesar de las dificultades que se presentaron en este año, derivado a la contingencia sanitaria del COVID 19; continuamos publicando colaboraciones, seguros que saldremos adelante en la realización de las actividades académicas y editoriales.

*E*n este número se abordarán cinco temas relevantes en el ámbito de la ingeniería tales como: Modelos de tormentas e hidrogramas unitarios a partir de las ecuaciones de Wiener-Hopf; Análisis de parámetros de la vibración de puentes atirantados peatonales; Revisión de flujo en transporte público, región poniente de la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Identificación de la vulnerabilidad urbana por inundaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Finalmente, se presenta el tema Diseño de una situación didáctica para el estudio de la noción de razón de cambio.

*E*speramos contar con su preferencia durante este año, continuaremos trabajando para difundir investigaciones del área de ingeniería y temas afines a este campo del conocimiento que sean de utilidad en su quehacer profesional.

*“Por la Conciencia de la Necesidad de Servir”*

*Facultad de Ingeniería*

*Los Editores*

# SUMARIO

5

## MODELOS DE TORMENTAS E HIDROGRAMAS UNITARIOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES DE WIENER-HOPF.

MODELS OF STORMS AND UNIT HYDROGRAPHS THROUGH WIENER-HOPF EQUATIONS

*Omar de la Cruz-Courtois, Delva Guichard-Romero, Miguel A. Aguilar-Suárez*

En este trabajo, se consideran las variaciones de intensidad de la tormenta, a través de la superposición de la función impulso y las ecuaciones probabilísticas de Wiener-Hopf. Se aplicó la Transformada de Laplace para la determinación del gasto de escurrimiento en función del tiempo y las alturas de precipitación del hietograma de una serie de tormentas.

---

14

## ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE LA VIBRACIÓN DE PUENTES ATIRANTADOS PEATONALES. PARAMETRIC STUDY OF VIBRATION ON PEDESTRIAN CABLE-STAYED BRIDGES

*Manuel Jara Díaz, Luis F. Silva Gómez, Jorge A. Aguilar Carboney*

Se identificaron los principales problemas asociados a las vibraciones transversales que se producen en puentes peatonales de tipo atirantado. Se compararon las frecuencias admisibles que se proponen en normas y especificaciones, tanto para el confort de los usuarios, como para evitar amplificaciones dinámicas excesivas.

---

22

## REVISIÓN DE FLUJO EN TRANSPORTE PÚBLICO, REGIÓN PONIENTE DE LA ZONA METROPOLITANA DE TUXTLA GUTIÉRREZ.

REVIEW OF FLOW IN PUBLIC TRANSPORT, WESTERN REGION OF THE METROPOLITAN AREA OF TUXTLA GUTIÉRREZ.

*Gabriel Ballinas Salazar; Ricardo Suárez G; Teresa del Rosario Argüello M.*

En esta investigación, mediante aforos puntuales se realizó una revisión del flujo vehicular que presentan los sistemas de transporte que transitan en la zona poniente de la zona metropolitana de Tuxtla Gutierrez.

---

29

## IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD URBANA POR INUNDACIONES EN TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.

IDENTIFICATION OF URBAN VULNERABILITY DUE TO FLOODS IN TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

*Teresa del Rosario Argüello M., Delva del Rocío Guichard R., Miguel Á. Aguilar Suarez, Beatriz E. Argüelles León*

Este artículo tiene como objetivo proporcionar mayor entendimiento sobre las dimensiones o variables que describen la vulnerabilidad urbana frente a la amenaza de inundaciones por precipitaciones extraordinarias, que posibiliten la definición de escenarios de riesgos delimitados, con sus correspondientes mapas de riesgo de daños por inundación.

---

38

## DISEÑO DE UNA SITUACIÓN DIDÁCTICA PARA EL ESTUDIO DE LA NOCIÓN DE RAZÓN DE CAMBIO.

DESIGN OF A DIDACTIC SITUATION FOR THE STUDY OF THE NOTION OF CHANGE REASON

*Humberto Manuel Gómez, Cristóbal Cruz Ruiz*

Se presenta un diseño adaptable a situaciones del proceso enseñanza-aprendizaje en los temas derivados del Cálculo en el contexto hidráulico de la Ingeniería Civil. Surge frente a los retos estudiantiles en materias avanzadas para su formación académica.

# MODELOS DE TORMENTAS E HIDROGRAMAS UNITARIOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES DE WIENER-HOPF

MODELS OF STORMS AND UNIT HYDROGRAPHS THROUGH WIENER-HOPF EQUATIONS

Omar de la Cruz-Courtois<sup>1</sup>, Delva Guichard-Romero<sup>2</sup>,  
Miguel A. Aguilar-Suárez<sup>2</sup>

## RESUMEN

*El Modelo de Wiener-Hopf establece una relación entre precipitación y escurrimiento, el cual conduce a un hidrograma de escurrimiento directo que resulta de la lluvia efectiva unitaria uniforme sobre una cuenca dada, con respecto del tiempo. Cuando el tiempo tiende a infinito, la cuenca agotará su capacidad de almacenamiento, y el volumen de agua precipitado igualará al volumen de escurrimiento, estableciéndose un caudal constante a la salida de la cuenca. En este trabajo, se consideran las variaciones de intensidad de la tormenta, a través de la superposición de la función impulso y las ecuaciones probabilísticas de Wiener-Hopf. Se aplicó la Transformada de Laplace para la determinación del gasto de escurrimiento en función del tiempo y las alturas de precipitación del hietograma de una serie de tormentas. A partir de las Ecuaciones de Wiener-Hopf se obtuvieron los hidrogramas de escurrimientos directos unitarios, aplicados a la cuenca del río Cantón.*

**Palabras clave:** Tormentas, Wiener-Hopf, Hidrograma.

## ABSTRACT

The Wiener-Hopf Model establishes a relationship between precipitation and runoff, which leads to a direct runoff hydrograph that

results from the uniform unit effective rainfall over a given basin, with respect to time. When time tends to infinity, the basin will exhaust its storage capacity, and the volume of precipitated water will equal the volume of runoff, establishing a constant flow of water. In this work, the variations of intensity of the storm are considered, through the superposition of the impulse function and the probabilistic Wiener-Hopf equations. The Laplace transform was applied to determine the runoff output as a function of time and the heights of precipitation of the hietograph of a series of storms. From the Wiener-Hopf equations hydrographs of direct unit runoff were obtained and they were applied to Canton basin.

**Keywords:** Storms, Wiener-Hopf, Hydrograph.

## INTRODUCCIÓN

El agua superficial continuamente interactúa con la atmósfera y el agua subterránea. Las leyes físicas que se presentan en el flujo superficial y los datos hidrológicos se analizan como datos de entrada para un respectivo modelado. La cuenca hidrológica es aquella que cuenta con una red de drenaje, formada por ríos y arroyos, en la cual, al llover, el agua es transportada por dicha red hacia un punto de salida. Supóngase que se tiene una cuenca específica y comienza la precipitación en forma constante, continua e indefinida. Esta precipitación varía las condiciones tanto de almacenamiento como de flujo en el cauce. Al inicio, la mayor parte de la proporción contribuye al almacenamiento superficial del cauce y dependiendo del tipo de suelo, se presenta una tasa de infiltración en éste. Además, el almacenamiento puede ser de dos tipos, uno de tipo rápido, el cual continua usualmente hasta el flujo del cauce, y uno de tipo lento que desaparece hasta el proceso de evaporación. Cuando estos tipos de almacenamiento se presentan ocurre que los flujos insaturados atraviesan

<sup>1</sup> Profesor de la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas de la UNACH, Profesor de la Facultad de Ingeniería de la UNACH

<sup>2</sup> Profesor(a) de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Email: omar.courtois@unach.mx, dguich@unach.mx, maas@unach.mx

los suelos insaturados sobre la superficie del terreno, y los flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos van variando a través del cauce. Al final, el cauce se comporta como un canal y se debe estudiar el flujo que circula a través de él (Aparicio, 1992).

El escurrimiento superficial es la parte de la precipitación que no se infiltra en la superficie del suelo. Si el suelo tiene cierta capacidad de infiltración, cuando la intensidad de la lluvia es menor a esta capacidad, la lluvia es totalmente infiltrada y no se presenta el escurrimiento superficial. De lo contrario, si la intensidad de la lluvia excede la capacidad de infiltración el escurrimiento se presenta en una proporción equivalente a la diferencia de la intensidad de lluvia y capacidad de infiltración. El flujo superficial se puede considerar como un flujo laminar cuya profundidad se incrementará de manera gradual hasta que se comporte como un canal; además, a lo largo del flujo se presentarán pequeños almacenamientos en la superficie que se acumularán a lo largo del cauce. Así, el suelo almacenará el agua infiltrada hasta saturarse, y con lo cual el flujo se volverá superficial durante el período que dure la precipitación (Ramos y Gracia, 2020).

Este modelo de escurrimiento se aplica a zonas urbanas y a zonas naturales con baja infiltración como terrenos semiáridos o con poca vegetación, y en muy raras ocasiones se presenta en regiones húmedas. En estos casos, la capacidad de infiltración del suelo excede la intensidad de la lluvia observada para la mayoría de los casos, exceptuando cuando se presentan tormentas o avenidas extremas. Es así como el flujo subsuperficial se convierte en un mecanismo importante para el transporte del agua que se origina en las tormentas. El proceso de flujo subsuperficial se puede describir de la siguiente manera. Al inicio de la lluvia, el flujo superficial se encuentra en equilibrio y se presenta el flujo subsuperficial en el suelo no saturado. Luego la infiltración se presenta, interactuando entonces el agua superficial con el agua subsuperficial. Cuando el suelo se satura el flujo subsuperficial provoca que el flujo superficial se vuelva constante durante el tiempo de la precipitación.

El flujo subsuperficial presenta velocidades que por lo general son muy bajas, con lo que no afecta significativamente la cantidad de agua que se presenta en el cauce, salvo en circunstancias especiales que dependen de la permeabilidad del suelo y la conductividad hidráulica del mismo. Además, cuando se al-

canza la saturación de un suelo se llega a presentar un flujo superficial saturado, a partir de lluvias que saturan los suelos y provocan los flujos superficiales. La velocidad del flujo subsuperficial es tan lenta que el cauce no siempre se ve afectado ya sea por infiltración o por ascensión durante una tormenta. Incluso se han delimitado áreas específicas de las cuencas que sí contribuyen de manera directa al flujo del cauce. Además, el área de la cuenca que afecta los cauces aumenta por lo general durante el proceso de precipitación y después disminuye significativamente.

La cantidad de agua almacenada en un sistema hidrológico  $S$  se puede expresar como la relación entre el flujo de entrada  $I$  y el flujo de salida  $Q$  a partir de la ecuación de continuidad

$$\frac{dS}{dt} = I - Q. \quad [1]$$

Supóngase que el agua se almacena en un sistema hidrológico, donde el nivel aumenta o disminuye de acuerdo con  $I$  y  $Q$  de la ecuación anterior con respecto al tiempo, así como las variaciones respectivas de  $I$ ,  $dI/dt$ ,  $d^2I/dt^2, \dots, Q$ ,  $dQ/dt$ ,  $d^2Q/dt^2, \dots$ , (Kisil, 2018). En este sentido, el almacenamiento  $S$  se puede expresar como la siguiente función

$$s = f\left(I, \frac{dI}{dt}, \frac{d^2I}{dt^2}, \dots, Q, \frac{dQ}{dt}, \frac{d^2Q}{dt^2}, \dots\right). \quad [2]$$

La función  $f$  se calcula de acuerdo con las condiciones físicas del sistema hidrológico. Tanto la ecuación de continuidad como la función de almacenamiento se deben resolver de manera simultánea, con lo cual la salida  $Q$  se puede calcular a partir de la entrada  $I$ , las cuales dependen del tiempo.

La respuesta de un sistema lineal se caracteriza únicamente por la función de respuesta de impulso. Si un sistema recibe una entrada de una cantidad unitaria aplicada instantáneamente en el tiempo  $\tau$ , la respuesta del sistema en un tiempo posterior  $t$  se describe mediante una función de respuesta de impulso unitario  $u(t-\tau)$ , donde  $t-\tau$  es el tiempo de retraso desde que el impulso fue aplicado. En el caso de almacenamientos, cuando estos se encuentran vacíos al inicio y luego se llenan con una cantidad unitaria de agua, la función de salida  $Q(t)$  coincide con la función de respuesta de impulso. Las funciones de respuestas de impulsos siguen los principios de las

ecuaciones diferenciales, en el sentido de la linealidad, es decir, impulsos multiplicados por escalares, siguen siendo impulsos, y la combinación lineal de impulsos continúa siendo un impulso.

Si  $I(\tau)$  denota la intensidad de lluvia en mm por hora y  $d\tau$  es un intervalo de tiempo infinitesimal medido en horas, luego  $I(\tau)d\tau$  es la profundidad en mm de la entrada de la lluvia al sistema durante ese intervalo. El escurrimiento directo  $(t-\tau)$ -unidades que resulta después de esta entrada está dado por

$$I(\tau)u(t - \tau)d\tau. \quad [3]$$

La respuesta a la función de entrada de tiempo completa  $I(\tau)$  se calcula integrando la respuesta con respecto a su impulso

$$Q(t) = \int_0^t I(\tau)(t - \tau)d\tau. \quad [4]$$

La ecuación anterior se llama integral de convolución y es la ecuación fundamental para la solución de un sistema lineal en un tiempo de escala continuo. Para la mayoría de las aplicaciones hidrológicas, las soluciones se plantean en intervalos de tiempo discreto, ya que generalmente la entrada está dada como una función discreta, como son los hietogramas. Es por ello que se deben plantear nuevas herramientas para el manejo de la integral anterior.

## METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### Transformada de Laplace

Sea  $f(t)$  una función del tiempo  $t$  tal que  $f(t)=0$  para  $t<0$ ,  $s$  una variable compleja,  $L$  un símbolo operativo que indica que la cantidad a la que antecede se va a transformar mediante la integral de Laplace

$$\int_0^{\infty} e^{-st} dt. \quad [5]$$

La transformada de Laplace de  $f(t)$ , denotada por  $F(t)$  se define como

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[f(t)] &= F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dt[f(t)] \\ &= \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt. \end{aligned} \quad [6]$$

El proceso inverso de encontrar la función del tiempo  $f(t)$  a partir de la transformada de Laplace  $F(s)$  se denomina transformada inversa de Laplace. La notación para la transformada inversa de Laplace es  $L^{-1}$ . La expresión para esto es

$$\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F(s)e^{st} ds, \quad \text{para } t > 0 \quad [7]$$

en donde  $c$  la abscisa de convergencia es una constante real y se elige más grande que las partes reales para todos los puntos singulares de  $F(s)$ . Por tanto, la trayectoria de integración es paralela al eje  $j$  y se desplaza una cantidad  $c$  a partir de él. Esta trayectoria de integración va hacia la derecha de todos los puntos singulares.

Además, se obtuvo la transformada de Laplace de la función desplazada en el tiempo

$$f(t - a)1(t - a) \quad [8]$$

en donde  $a \geq 0$ . Esta función se anula cuando  $T < a$ . Las funciones  $F(t)1(t)$  y  $f(t-a)1(t-a)$  se representan en la Figura 1.

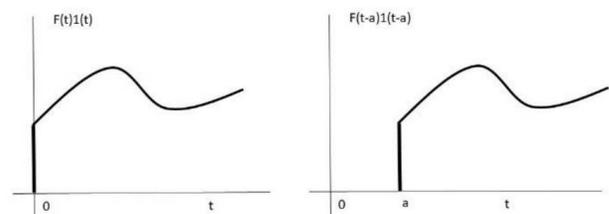


Figura 1.- Función  $f(t)1(t)$  y  $f(t - a)1(t - a)$

La transformada de Laplace de  $f(t-a)1(t-a)$  es

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[f(t - a)1(t - a)] &= \\ \int_0^{\infty} f(t - a)1(t - a) e^{-st} dt. \end{aligned} \quad [9]$$

## Integral de convolución para sistemas hidrológicos

Para un sistema lineal e invariante con el tiempo, se calculó la función de transferencia  $G(s)$  como

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad [10]$$

en donde  $X(s)$  es la transformada de Laplace de la entrada y  $Y(s)$  es la transformada de Laplace de la salida, suponiendo todas las condiciones iniciales involucradas igual a cero. La ecuación anterior se resolvió y se obtuvo una integral de convolución y se planteó para un sistema hidrológico (Wang y Xue, 2018).

Ecuaciones de Wiener-Hopf  
Sean

$Q_i$ , gasto observado

$Q_i^*$ , gasto calculado

$h_i$ , altura de precipitación

$f_i$ , precipitación observada

El error cuadrático de la diferencia entre el gasto observado y el gasto calculado es

$$\epsilon = \sum_{i=1}^{\infty} \left[ Q_i - \sum_{k=1}^{\infty} h_k f_{i-k+1} \right]^2 \quad [11]$$

Ya que al minimizar el valor de  $\epsilon$  se requiere que

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial h_j} = 0 \quad j = 1, 2, \quad [12]$$

se tiene que

$$\sum_{i=1}^{\infty} Q_i f_{i-j+1} = \sum_{i=1}^{\infty} f_{i-j+1} \sum_{k=1}^{\infty} h_k f_{i-k+1} \quad [13]$$

Para  $j \geq 1$ . Haciendo  $i-j+1=k$

$$\sum_{i=1}^{\infty} Q_i f_{i-j+1} = \sum_{k=1}^{\infty} Q_{k+j-1} f_k \quad [14]$$

Sea  $i - j + 1 = v$ ,

$$\sum_{k=1}^{\infty} f_k Q_{k+j-1} = \sum_{k=1}^{\infty} h_k \sum_{v=1}^{\infty} f_v f_{v+j-k} \quad [15]$$

Ahora, se definen la función discreta de autocorrelación de las alturas de lluvia-escurrecimiento en el tiempo

$$\Phi_{ff}(j) = \sum_{v=1}^{\infty} f_v f_{v+j} \quad [16]$$

para valores enteros de  $j$  y la función de correlación cruzada de lluvias-escurrecimientos

$$\Phi_{fg}(\sigma) = \sum_{k=1}^{\infty} f_k Q_{k+\sigma} \quad [17]$$

para valores enteros de  $\sigma$ . De la parte anterior y realizando las sustituciones adecuadas se llega a

$$\Phi_{fg}(j-1) = \sum_{k=1}^{\infty} h_k \Phi_{ff}(j-k), \quad [18]$$

la cual se conoce como Ecuación de Wiener-Hopf y representa un sistema de ecuaciones cuya solución minimiza al error cuadrático total. Para su aplicación, se considera el caso finito, de modo que resulta un sistema de ecuaciones de  $n$  ecuaciones con  $n$  incógnitas, donde  $n$  se hace igual al número de ordenadas que tenga el hidrograma más el número de ordenadas del hietograma menos uno.

### Separación del gasto directo del gasto base

Se trazaron los hidrogramas de cada tormenta con sus correspondientes separaciones de escurrimiento. Para separar los escurrimientos en cada hidrograma, se trazó una línea horizontal desde el punto en que subía el hidrograma hasta el punto localizado debajo del pico. Después, sobre la rama descendente se localizó un punto  $N$  días a la derecha del punto debajo del pico, donde

$$N = 0.827A^{0.2} \quad [19]$$

donde  $A$  es el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ . Finalmente, el punto así obtenido y el punto debajo de pico se unieron con una línea recta (Aparicio, 1998).

### Hietogramas

A partir de las estaciones climatológicas seleccio-

nadas dentro de la subcuenca, se calcularon los hietogramas medios de la siguiente manera. Para cada tormenta, se obtuvo un plano de isoyetas calculado de la forma usual. Después se obtuvo una tabla en la cual se mostraban los valores de la precipitación acumulada en forma creciente para intervalos de 6 horas. Superponiendo el plano de isoyetas sobre el plano de la cuenca, se obtuvieron los porcentajes de áreas entre isoyetas. Para cada intervalo de tiempo se

obtuvo una precipitación media acumulada multiplicando las precipitaciones acumuladas por los porcentajes de área y sumando estos productos. Las barras del hietograma se obtuvieron de la diferencia de las precipitaciones medias acumuladas consecutivas correspondientes.

### Hidrograma de escurrimiento directo

Se calculó para cada tormenta el valor del coeficiente de infiltración de acuerdo con Aparicio (1992). Con este coeficiente se obtuvieron las alturas de precipitación efectiva que, junto con el correspondiente hidrograma de escurrimiento directo (HED), constituyen las entradas al modelo. Se calculó el hidrograma unitario instantáneo ajustando una curva promedio, y volviendo a ajustar las unidades para que el volumen fuese unitario. Con este hidrograma unitario instantáneo y con las alturas de precipitación efectiva para cada tormenta, se obtuvieron hidrogramas de escurrimiento directo que se compararon con los correspondientes hidrogramas de escurrimiento directo obtenidos previamente de los hidrogramas originales.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente trabajo se aplicó a la subcuenca Cantón perteneciente a la cuenca del Papaloapan, ubicada en la zona vertiente del Golfo de México. Descarga sus aguas en la Laguna de Alvarado (localizada en la ribera del Golfo) y tiene una superficie de 46 517 km<sup>2</sup>. El sistema fluvial del Papaloapan es el segundo en importancia en el país y los principales ríos que la componen son:

a) Río Blanco. Nace en la Sierra de Zongolica y en las faldas del Pico de Orizaba y desemboca directamente en la Laguna de Alvarado.

b) Río Tonto. Nace en las estribaciones de la Sierra Mazateca; es el afluente más importante de la margen izquierda del Río Papaloapan y se caracteriza por acarrear muy pocos azolves debido a que su subcuenca está cubierta de vegetación.

c) Río Salado. Drena al Valle Poblano-Oaxaqueño y a la Alta Mixteca; tiene la subcuenca más árida y deforestada del sistema, por lo que este río conduce una gran cantidad de azolves.

d) Río Grande. Drena la Sierra de Juárez y las estribaciones de la Sierra de Oaxaca; se une al Río Salado en Quiotepec para formar el Río Santo Domingo, el cual después de recibir las aportaciones del Río Tonto por su izquierda y de los Ríos Usila y Valle Nacional por su derecha, se convierte en el Río Papaloapan (Pineda, 2017).

En las partes bajas, cerca de la Laguna de Alvarado, el Papaloapan recibe las aportaciones de los Ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista por su margen derecha, los cuales bajan de las estribaciones del nudo del Zempoaltépetl. Para los diferentes estudios que se han hecho, la cuenca del Papaloapan se ha dividido en subcuencas, siendo una de las principales la subcuenca de Cantón, que comprende un área de 14 037.7 km<sup>2</sup> del total. En la población de Cantón se encuentra una estación hidrometeorológica, de la cual se obtienen datos para el estudio de la cuenca. Se tomaron para el estudio, un total de 8 estaciones climatológicas: 20174, 20175, 20114, 20014, 20042, 20294, 20189 y 30131. En la Figura 2 se observa la ubicación del Papaloapan y Cantón, y en la Figura 3 se observa la ubicación de las estaciones hidrométricas.

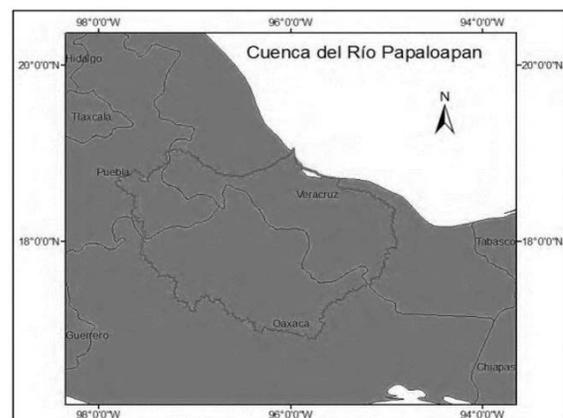


Figura 2.- Ubicación de la subcuenca Cantón (Pineda, 2017)



Figura 3.- Ubicación de las estaciones climatológicas de la subcuenca Cantón (Google Earth, 2021)

Para resolver la transformada de Laplace de una función desplazada en el tiempo se supuso que  $f(t)=0$  para  $t<0$ , además, se realizó la sustitución de  $t$  por  $\tau$ , donde  $\tau=t-a$ , con lo que

$$\int_0^{\infty} f(t-a)1(t-a) e^{-st} dt = \int_{-a}^{\infty} f(\tau)1(\tau) e^{-s(\tau+a)} d\tau. \quad [20]$$

Ya que  $f(\tau)1(\tau)=0$  para  $\tau<0$ , se puede cambiar el límite inferior de la integración de  $-a$  a 0. Así

$$\int_{-a}^{\infty} f(\tau)1(\tau) e^{-s(\tau+a)} d\tau = \int_0^{\infty} f(\tau)1(\tau) e^{-s(\tau+a)} d\tau \quad [21]$$

$$\int_{-a}^{\infty} f(\tau)1(\tau) e^{-s(\tau+a)} d\tau = \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-s\tau} e^{-as} d\tau \quad [22]$$

$$\int_{-a}^{\infty} f(\tau)1(\tau) e^{-s(\tau+a)} d\tau = e^{-as} \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-s\tau} d\tau = e^{-as} F(s) \quad [23]$$

en donde

$$F(s) = \mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-s\tau} d\tau. \quad [24]$$

Y en este caso

$$\mathcal{L}[f(t-a)1(t-a)] = e^{-as} F(s), \quad a \geq 0. \quad [25]$$

En esta última ecuación se plantea que el desplazamiento en el tiempo de la función de tiempo  $f(t)1(t)$  mediante  $a$  (en donde  $a \geq 0$ ) corresponde a la multiplicación de la transformada  $F(s)$  por  $e^{-as}$ .

### Integral de convolución

Considérese la transformada de Laplace de

$$\int_0^t f_1(t-\tau) f_2(\tau) d\tau. \quad [26]$$

Con frecuencia, esta integral se escribe como

$$f_1(t) * f_2(t). \quad [27]$$

La operación matemática  $f_1(t)*f_2(t)$  se denomina convolución. Se observa que si se considera  $t-\tau=\xi$ , entonces

$$\int_0^t f_1(t-\tau) f_2(\tau) d\tau = - \int_t^0 f_1(\xi) f_2(t-\xi) d\xi = \int_0^t f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau. \quad [28]$$

Por tanto

$$f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(t-\tau) f_2(\tau) d\tau. \quad [29]$$

Para un sistema lineal e invariante con el tiempo, la función de transferencia  $G(s)$  es

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad [30]$$

en donde  $X(s)$  es la transformada de Laplace de la entrada y  $Y(s)$  es la transformada de Laplace de la salida, suponiendo todas las condiciones iniciales involucradas igual a cero. De aquí se obtiene que la salida  $Y(s)$  se puede escribir como

$$Y(s) = G(s)X(s). \quad [31]$$

Se observa que la multiplicación en el dominio

complejo es equivalente a la convolución en el dominio del tiempo, por lo que la transformada inversa de Laplace de la ecuación anterior se obtiene mediante la integral de convolución

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)g(t - \tau)d\tau = \int_0^t g(\tau)x(t - \tau)d\tau \quad [32]$$

donde  $g(t) = 0$  y  $x(t) = 0$  para  $t < 0$ .

Para la aplicación de las Ecuaciones de Wiener-Hopf se escogieron las tormentas que se muestran en la Tabla 1, de los registros existentes con base en la importancia que tuvieron. El sistema dinámico modela entradas y salidas; en el presente trabajo, las entradas son los caudales de escurrimiento y las alturas de precipitación efectiva, y las salidas son las alturas del Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI).

Tabla 1.- Tormentas consideradas

Tormenta	Período
1	1-31 de octubre, 2017
2	28-30 de junio, 2018
3	1-5 de julio, 2018
4	29-agosto al 3-septiembre de 2018
5	6-12 de septiembre de 2018

En la Figura 4. se observan los hidrogramas de las tormentas elegidas.

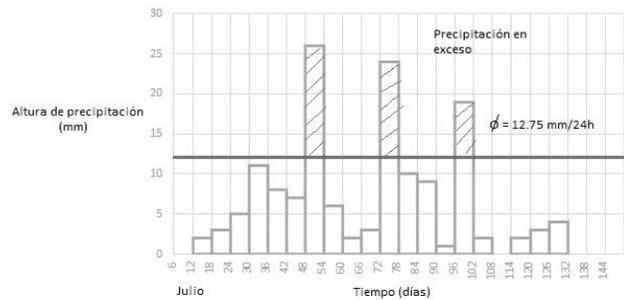
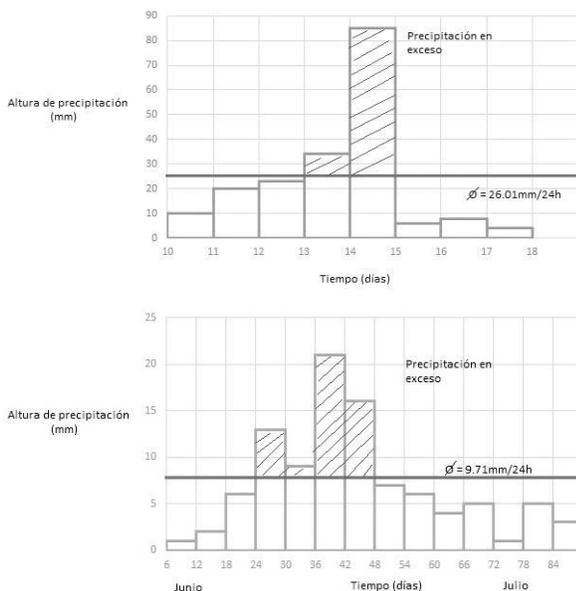


Figura 4. Hidrogramas de las tormentas seleccionadas (Elaboración propia)

A partir de las estaciones climatológicas se calcularon los hietogramas y con el método de las isoyetas descrito en la metodología se calcularon los hietogramas medios, que se observan en la Figura 4. El cálculo detallado se puede consultar en las referencias de la SCT (2020).

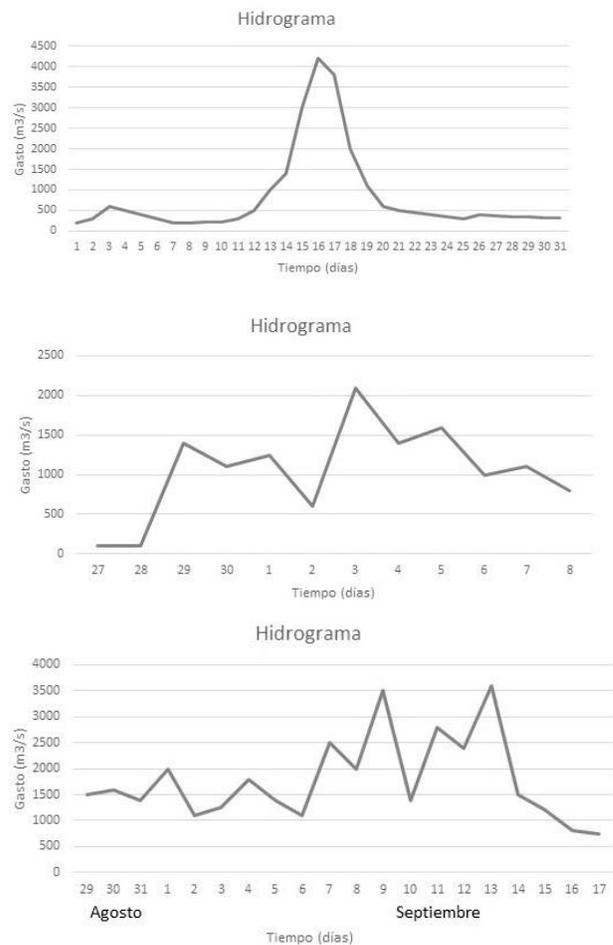


Figura 5. Hietogramas de las tormentas seleccionadas (Elaboración propia)

El conjunto de datos de precipitaciones se tomó de la Base de Datos Clicom, cuyo sitio web se puede consultar en las referencias. Este se puede ver en la Figura 6.

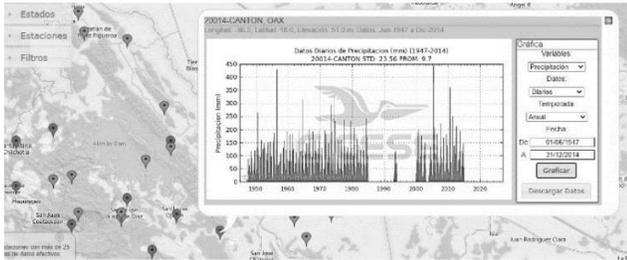


Figura 6. Registro de precipitación de la Cuenca Cantón (Fuente: <http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>)

A partir del hidrograma se calculan los vectores de gasto  $Q_i$  y precipitación  $f_i$ .

$$Q_1 = (200,300,600, \dots, 330,320) \quad [33]$$

$$Q_2 = (100,100,1400, \dots, 1100,800) \quad [34]$$

$$Q_3 = (1500,1600, \dots, 800,750) \quad [35]$$

$$f_1 = (10,20,23, \dots, 4,0) \quad [36]$$

$$f_2 = (1,2,6, \dots, 5,3) \quad [37]$$

$$f_3 = (0,0,3, \dots, 0,0) \quad [38]$$

Planteando la Ecuación de Wiener-Hopf

$$\sum_{k=1}^6 h_f \Phi_{ff}(j-k) = \Phi_{fg}(j-1) \quad [39]$$

de donde

$$\begin{aligned} \Phi_{fg}(j-1) &= \sum_{k=1}^{\infty} f_k Q_{k+j-1} \\ \Phi_{fg}(j-1) &= f_1 Q_{1+j-1} + f_2 Q_{2+j-1} + \dots \\ \Phi_{fg}(j-1) &= f_i Q_j + f_2 Q_{j+1} + \dots + f_8 Q_{j+7} \quad [40] \end{aligned}$$

Resolviendo la ecuación 40, se obtienen las alturas del Hidrograma Unitario Instantáneo a partir de las Ecuaciones de Wiener-Hopf. En la Figura 7 se observan los caudales a partir de las tormentas o hietogramas de la Figura 4 con el método de Wiener-Hopf y el HUI también se calculó con el mismo método.

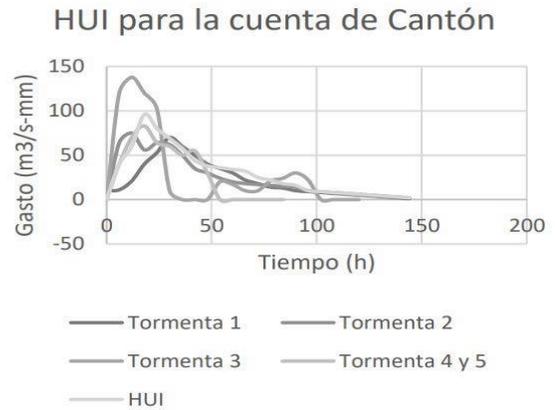


Figura 7.- Hidrogramas Unitario Instantáneo para las 5 tormentas

Las Figura 8a y 8b muestran la comparación entre el Hidrograma de Ecurrimiento Directo y el Hidrograma de Ecurrimiento que se obtiene mediante el Hidrograma Unitario Instantáneo, donde HED observado, es el hidrograma real de la estación hidrométrica y HED obtenido por HUI, es el hidrograma que resulta del Método de las Ecuaciones de Wiener-Hopf.

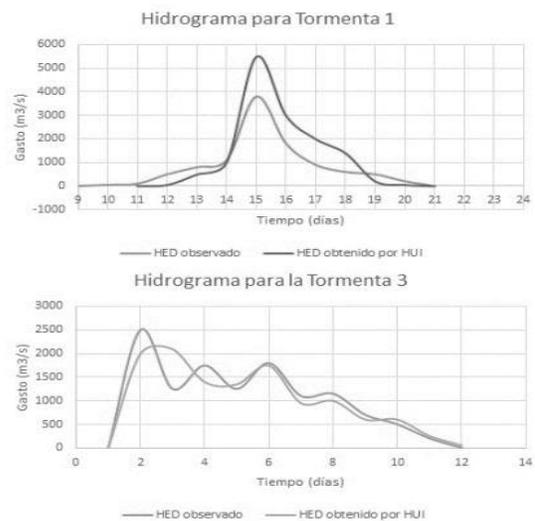


Figura 8a.- Comparación entre el HED observado y obtenido por el HUI

## REFERENCIAS

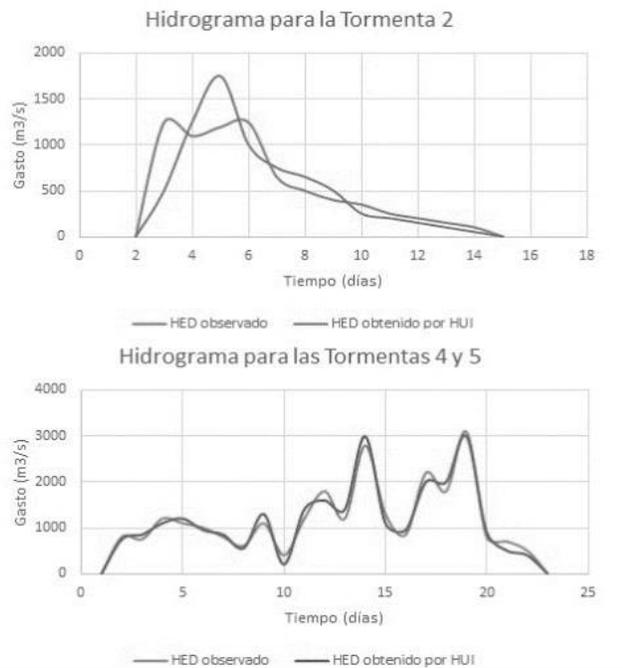


Figura 8b.- Comparación entre el HED observado y obtenido por el HUI (continuación)

## CONCLUSIONES

Los modelos lluvia-escurremientos a partir de las ecuaciones de Wiener-Hopf dan la pauta para poder calcular los hidrogramas de escurrimiento directo. Es importante separar los hidrogramas de acuerdo con las fechas de las tormentas, así como dividir la cuenca por regiones de acuerdo con el valor de la precipitación efectiva de cada región. En este sentido, se recomienda fragmentar tanto como sea posible las tormentas estudiadas de un mismo evento, así como calcular la precipitación efectiva por zonas. Una ventaja de utilizar las ecuaciones de Wiener-Hopf es la sensibilidad de las entradas del modelo, ya que el sistema de ecuaciones es estable, y converge a una solución aun cuando las entradas fluctúen en cierto rango.

- Aparicio M., F. J. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México.
- Base de datos de precipitaciones (2020). <http://clicom-mex.cice-se.mx/mapa.html>
- CONAGUA, (2020). <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacionestadistica-climatologica>.
- Juárez, R. (1970). Modelo del hidrograma unitario instantáneo. Tesis UNAM. México.
- Kisil, A. V., (2018). "An iterative Wiener-Hopf Method for triangular matrix functions with exponential factors". *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 78(1), pag. 45-62.
- Pineda G., D. (2017). Geomorfología de sistemas fluviales. Evolución y desarrollo del río Papaloapan. Tesis de Licenciatura. UNAM, 2017.
- Ramos, J., Gracias, J., (2020). "Reconocimiento de patrones espaciales para entender desastres naturales: inundaciones". *Gaceta del Instituto de Ingeniería de la UNAM*, 414(1).
- SCT, (2020). Isoyetas de intensidad de lluvias. [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/Direcciones Grales/DGST/Isoyetas/veracruz.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/Direcciones%20Grales/DGST/Isoyetas/veracruz.pdf)
- Wang, L., Xue, L., (2018). "A Laplacetransform boundary element model for pumping tests in irregularly shaped doubleporosity aquifers." *Journal of Hydrology*, 567, 712-720.

# ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE LA VIBRACIÓN DE PUENTES ATIRANTADOS PEATONALES

## PARAMETRIC STUDY OF VIBRATION ON PEDESTRIAN CABLE-STAYED BRIDGES

Manuel Jara Díaz<sup>1</sup>, Luis F. Silva Gómez<sup>2</sup>,  
Jorge A. Aguilar Carbone<sup>3</sup>

### RESUMEN

*Se identificaron los principales problemas asociados a las vibraciones transversales que se producen en puentes peatonales de tipo atirantado. Se compararon las frecuencias admisibles que se proponen en normas y especificaciones, tanto para el confort de los usuarios, como para evitar ampliaciones dinámicas excesivas. Mediante el estudio de un puente prototipo se identificaron las principales variables geométricas del puente que afectan las frecuencias horizontales y verticales de los puentes y las configuraciones modales correspondientes. Se analiza la relación entre las frecuencias transversales y los principales parámetros de la respuesta sísmica del puente, para la identificación de una posible condición de resonancia o de malestar en los peatones que transitan por el puente.*

**Palabras clave:** Puente peatonal, puente atirantado, frecuencias horizontales, resonancia.

### ABSTRACT

The aim of the paper is the assessment of transverse vibration problems on pedestrian cable-stayed bridges. The most important parameters associated to transverse vibration were identified. The objective is the evaluation of the range of recommen-

ded frequencies in codes and specifications of various countries to avoid the loss of comfort and the possible dynamic amplification produced by walking during bridge operation. A cable-stayed bridge prototype is proposed for the parametric study of the principal geometric characteristics of this type of structures in order to assess the potential dynamic amplification in the transverse direction. The relationship between the transverse frequencies and the principal parameters of the bridge seismic response are discussed for the identification of a possible resonance condition.

**Keywords:** Footbridge, cable stay bridge, horizontal frequencies, resonance.

### INTRODUCCIÓN

Los puentes peatonales modernos tienden a ser cada vez más esbeltos, lo que ha dado origen a un mayor número de problemas de carácter vibratorio durante el tránsito de personas. El puente Milenio en Inglaterra (Fig 1) es un claro ejemplo de lo anterior; consiste en un puente peatonal metálico construido en la ciudad de Cambridge, Inglaterra, que empezó a bambolearse cuando se encontraba lleno de personas, el movimiento fue tan fuerte, que los peatones tenían que aferrarse a las barandillas, o dejar de caminar para mantener su equilibrio. Observaciones mostraron que la parte central se movió 70 mm aproximadamente (Aramayo y Martel, 2017).

Otros puentes peatonales que han experimentado problemas de vibración ante el paso de personas son:

El puente sobre el río Erlach, en Suiza (Thór, 2011), que consiste en un arco de acero con una viga tipo cajón, con una longitud principal de 110 m. La máxima amplitud lateral de desplazamiento medida en 1972 fue de 25 mm. La frecuencia de vibración lateral fue de 1.12 Hz. La medida adoptada para so-

<sup>1</sup> Docente de la Facultad de Ingeniería. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México Email: mjarad10@gmail.com

<sup>2</sup> Estudiante de maestría- Facultad de Ingeniería. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México Email: lfsg147@gmail

<sup>3</sup> Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Email: jaguilar@unach.mx

lucionar el problema fue la instalación de disipadores de vibración sintonizados.



Figura 1. Puente peatonal Milenio, Cambridge (www.dreamstime.com)

El puente Parque de Toda (Fig 2), que es un puente atirantado de acero (Thór, 2011), con claros de 45 m y 134 m, ubicado en Toda City Park, Japón. Tuvo problemas después de la apertura en 1989, en el que soportó una densidad máxima 1.0 - 1.5 personas/m<sup>2</sup>. La máxima cantidad de peatones en el puente peatonal es de 2000. La máxima amplitud lateral fue de 10 mm en la plataforma peatonal, 300 mm en los cables y la frecuencia de vibración lateral fue 0.9 Hz (Fujino et al, 1993). Se solucionó el problema con la instalación de pequeños amortiguadores de líquido sintonizado en el interior del cajón.



Figura 2. Puente parque de Toda, Japón (Ortiz, 2013)

El puente Solferino en París, Francia, que es tipo arco, construido con acero y madera; los problemas dinámicos se suscitaron después de la apertura en diciembre del año 1999, con una frecuencia de vibración lateral de 0.69 Hz.

El puente del estadio del equipo de fútbol Rayados de Monterrey en el Estado de Nuevo León, México (Fig 3), también conocido como el puente bailarín, es un puente exclusivamente peatonal. Desde que se inauguró el estadio con capacidad para 51 mil espectadores, los aficionados han expresado malestar debido a que en su la parte del claro central, que comprende el paso de unos 100 metros de longitud que cruza sobre el río La Pastora, el puente se mueve hacia los lados (Campos, 2015). La gran densidad de personas que transitaba sobre el puente daba origen a vibraciones excesivas, que llegaron a ser captadas en video por los propios usuarios, ya que tenían que modificar su modo de caminar. El problema se solucionó con osciladores resonantes de masa colocados en las columnas (Alvarado, 2016).



Figura 3. Puente peatonal del estadio Rayados, Nuevo León, México  
<http://www.posta.com.mx/nuevo-leon/abriran-puente-bailarin-juego-rayados-vs-chivas>

## EFFECTOS DINÁMICOS EN Puentes PEATONALES

Cuando una persona camina sobre un puente peatonal se producen fuerzas dinámicas en las tres direcciones principales de la estructura: vertical, lateral y longitudinal. La magnitud de las aceleraciones y la amplitud del movimiento dependen de la frecuencia de paso del peatón, de su velocidad al caminar y de la longitud de cada uno de los pasos. Durante una caminata constante, sin interrupciones, se suele producir un movimiento periódico y, en caso de entrar en sintonía con las frecuencias de la estructura,

las fuerzas correspondientes también suelen ser periódicas, con respuestas que se incrementan con el tiempo.

En general, cuando se realiza un análisis de vibraciones en puentes peatonales se piensa que la vibración vertical es el movimiento principal, sin embargo, se ha observado en distintos puentes que los movimientos transversales suelen ser lo más importantes. Esto se debe a que los peatones ajustan su forma de caminar cuando se producen vibraciones verticales, debido a que el elevado amortiguamiento de las piernas y demás articulaciones reducen las vibraciones verticales y el centro de gravedad no se ve tan afectado por el movimiento que se produce en dicha dirección (Carchi y Orellana, 2015). Esta situación no se produce durante un movimiento horizontal, en el que el equilibrio de las personas se logra mediante un balanceo de su centro de gravedad, como se ilustra en la figura 4. Este movimiento lateral del centro de gravedad hace que el peatón sea más sensible al movimiento en la dirección transversal, lo que los lleva a caminar con los pies más separados. Para conservar el equilibrio, el centro de gravedad de una persona se desplaza lateralmente en un orden de 1 a 2 cm según Carchi y Orellana (2015), de manera que la fuerza que produce un peatón al caminar no solamente consiste en una componente vertical, sino que también presenta un movimiento en dirección horizontal (Fig 4). Se estima una carga horizontal del orden del 10% de la magnitud de la carga vertical, a partir de un número limitado de pruebas realizadas en plataformas que no se desplazan (Carchi y Orellana, 2015). Willford (2002), realizó algunos estudios del movimiento horizontal del Puente del Milenio y los resultados mostraron que cuando la amplitud del desplazamiento lateral de la cubierta del puente aumento de 0 a 30 mm, se generaba un incremento hasta del 10% de la carga dinámica horizontal con respecto a la carga estática vertical.

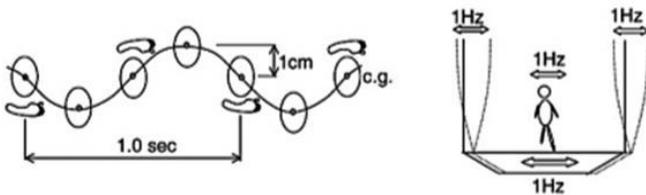


Figura 4. Mecanismo lateral de vibración  
(Carchi y Orellana, 2015)

En el caso de un grupo de personas transitando sobre la estructura, se combinan una serie de variables que impiden que el efecto del grupo se considere exclusivamente como la suma del efecto de cada peatón. Entre las variables aleatorias que se presentan en un grupo de personas se pueden mencionar: el movimiento fuera de fase entre los individuos, la densidad de peatones por metro cuadrado, la velocidad de circulación de cada persona, el peso de cada peatón, la distribución no uniforme del grupo, la libre circulación en cada sentido y la relación de todos estos factores con las propiedades dinámicas del puente. El problema puede abordarse mediante algunas simplificaciones y la adopción de factores en términos de probabilidades.

## FRECUENCIA DE PASO

Se considera que durante una caminata típica una persona da 2 pasos por cada segundo, es decir, las pisadas se producen con una frecuencia de 2 Hz. De acuerdo con Hauksson (2005), la frecuencia de vibración sigue una distribución normal de 2.0 Hz y una desviación estándar de 0.173 Hz. Cuando una persona camina lento su frecuencia de paso está comprendida entre 1.4 y 1.7 Hz. Cuando una persona camina rápido su frecuencia de paso se incrementa a valores entre 2.2 y 2.4 Hz. La frecuencia lateral está en el rango de 0.7 a 1.2 Hz debido a que se estima que la componente lateral de la fuerza se aplica a la mitad de la frecuencia de paso (Fig 5). Las frecuencias que se producen durante el trote o durante saltos están comprendidas entre 2.5 y 3.2 Hz y de 1.3 a 2.4 Hz respectivamente (Anderson y col., 2012). La posibilidad de que se produzcan saltos durante un tiempo superior a unas decenas de segundos, por ejemplo, durante manifestaciones o muestras de apoyo a alguna personalidad o durante algún evento, puede conducir a una situación catastrófica si las frecuencias del salto son semejantes a las del puente.

De acuerdo con lo anterior, es evidente la necesidad de evaluar adecuadamente las frecuencias de un puente peatonal para evitar que se produzca alguna amplificación dinámica producto de una sintonización con las frecuencias de la carga viva sobre la estructura. En vista de que la frecuencia natural de este tipo de estructuras depende de una serie de factores que incluyen, entre otros, la tipología estructural

ral, las características geométricas y condiciones de frontera, los materiales de construcción y la longitud de los claros, conducen a un problema de alta variabilidad que dificulta el procedimiento de diseño. Carchi y Orellana (2015) afirman que las pasarelas presentan una frecuencia vertical en el intervalo de 1.4 a 2.4 Hz y una frecuencia horizontal de 0.7 a 1.2 Hz. Se observa que las frecuencias al caminar son semejantes a la frecuencia natural que indican estos autores, lo que induciría vibraciones excesivas; por tal motivo, lo que recomiendan realizar un diseño que contemple las cargas dinámicas debidas al tránsito de peatones. Sin embargo, no se detalla el tipo de estructuras, ni las condiciones generales que llevan a los valores "típicos" de frecuencias de vibrar. En este trabajo se pretende estimar estas frecuencias para contribuir a un diseño que considere uno de los principales problemas a los que se enfrentan actualmente los puentes peatonales de tipo atirantado que se construyen actualmente.



Figura 5. Frecuencias de las fuerzas verticales y laterales (Hauksson, 2005)

Por otro lado, existen normas internacionales que ofrecen información sobre los valores permisibles de diseño en cuanto a aceleraciones y frecuencias. Sánchez et al., 2011, muestran una recopilación de frecuencias estructurales de vibrar críticas de algunas normas en el mundo. De acuerdo con esta recopilación, se definen como vibraciones críticas en dirección transversal a las que se producen con una frecuencia de entre 0.5 y 2.5 Hz. Para la dirección vertical a frecuencias comprendidas entre 1.5 y 5 Hz. Por otro lado, Ortiz (2013), según Setra (2006), proporciona tablas (tablas 1 y 2) donde se calculan frecuencias y riesgos de resonancia a tomar en consideración.

Tabla 1. Rangos de riesgo de resonancia.

Rango 1:	Riesgo máximo de resonancia.
Rango 2:	Riesgo medio de resonancia
Rango 3:	Bajo riesgo de resonancia para las situaciones de carga estándar.
Rango 4:	Riesgo insignificante de resonancia. <small>Setra (2006) citado por Ríos (2013)</small>

Tabla 2. Rangos de frecuencias críticas en riesgos de resonancia (Hz) para vibración lateral.

Rango de frecuencias	0	0.3	0.5	1.1	1.3	2.5
Rango 1			■			
Rango 2		■	■	■		
Rango 3					■	
Rango 4	■					■

Setra (2006) citado por Ríos (2013)

Algunos puentes han sido reforzados para evitar las vibraciones excesivas debidas a la acción dinámica producida por las personas, sin embargo, hay problemas que pueden ser resueltos desde el momento en el que se plantea el diseño de la estructura, lo cual conduce generalmente a soluciones más eficientes. En particular, las pasarelas de tipo atirantado suelen ser muy flexibles, con frecuencias de vibración muy bajas, lo que las hace susceptibles a movimientos que exceden los niveles de confort y de seguridad para los usuarios. Por tal motivo, es indispensable estimar la frecuencia de vibración transversal de puentes peatonales de tipo atirantado con distintas configuraciones geométricas, para evitar estructuras con respuestas cercanas a la frecuencia de vibración de los peatones que amplifiquen el movimiento a niveles inaceptables.

## ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE UN PUENTE PROTOTIPO

Los puentes peatonales típicos que se construyen en México normalmente llegan a librar claros entre 15 y 20 m aproximadamente, sin embargo, el incremento de flujo vehicular requiere ampliar y extender el número de carriles utilizados, por lo que los diseños convencionales tienen que ser reemplazados por otros que soporten claros más grandes. Además, la arquitectura urbana de las ciudades busca soluciones más atractivas a los puentes peatonales tradicio-

nales. En algunas ciudades el uso de puentes peatonales atirantados ya es un hecho, como se muestra en los puentes de la Figura 6.

La metodología propuesta para el estudio consiste en proponer un puente prototipo con base en las características de puentes atirantados existentes en México y el mundo, para el caso de puentes atirantados peatonales (Fig 7). La geometría del puente prototipo consiste en una estructura con un claro principal ( $L_p$ ) de 106 m de longitud, con dos claros de compensación ( $L_c$ ) de 22 m cada uno; el sistema de suspensión consiste en 2 torres en forma de H con altura total ( $H_t$ ) de 30 m, sobre las cuales se anclan cables de acero de alta resistencia con  $28.50 \text{ cm}^2$  de área efectiva. El tipo de atirantamiento

elegido es en abanico distribuido en dos planos laterales. El gálibo o altura bajo el tablero es de 8 m y 22 m sobre él, para conformar los 30 m de altura total de las torres. Los fustes o postes de las torres tienen dimensiones de  $3 \times 3 \text{ m}$  y  $2 \times 2 \text{ m}$  en la parte inferior y superior del tablero respectivamente, considerando un  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ . Entre las torres en forma de H se colocó una viga de concreto de  $120 \times 50 \text{ cm}$  para proporcionar rigidez transversal al puente, condición importante en zonas donde se presentan efectos de sismo y/o viento. La losa de concreto armado tiene un espesor de 30 cm y un ancho total de 6 m con  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ . El tablero se encuentra suspendido en 40 cables y sin apoyarse directamente sobre la viga ("tablero flotando").

Para modelar los pilares se dividió la longitud total en tramos de 2 m de longitud, para estimar con mayor precisión los modos y formas de vibrar de la

estructura que si se considera una sola barra. Los apoyos se consideran empotrados. El tablero del puente se modeló mediante elementos finitos tipo shell cuadrados de  $2 \times 2 \text{ m}$ , ya que no se tiene la seguridad de que el tablero se comporte como un diafragma rígido. Los tirantes están a 6 m de separación, lo que da lugar a 6 tirantes en cada claro de compensación y 34 en el claro principal, con un total de 40 tirantes. Para calcular la tensión inicial que se asigna a cada tirante se aplica el método de la viga continua, es decir, primero se calculan las reacciones en cada punto donde se ubicarían los tirantes como si el desplazamiento vertical fuera cero. Posteriormente, se hacen los cálculos de la tensión mínima requerida y el área mínima de acero para que no se excedan los esfuerzos admisibles por resistencia y fatiga. Se agregó una carga viva de  $514 \text{ kg/m}^2$  sobre la losa representando la carga peatonal y sobrecarga de  $250 \text{ kg/m}$  sobre las vigas longitudinales representando el peso de las barandas y de personas descansando sobre las mismas. Para poder reducir las deformaciones verticales y cumplir con el límite de un milésimo del claro para carga peatonal (AASHTO, 2007), se modifican las tensiones iniciales en los tirantes a través de un proceso iterativo de prueba y error. El modelo numérico del puente se muestra en la Figura 7.

Una vez definida la geometría y características del puente prototipo, se realizó un análisis paramétrico para las distintas variables que afectan las propiedades dinámicas de un puente con estas características. El objetivo es poder evaluar el impacto que tienen las variables seleccionadas para estimar los valores que conducen a una potencial cercanía con



(a)



(b)

Figura 6. (a) Puente en la Universidad Autónoma de Nuevo León (<http://www.info7.mx/>) (b) Puente USBI en la Universidad Veracruzana (<http://www.lospoliticosveracruz.com.mx/mas-de-1-mil-600-obras-en-4-anos/>)



Figura 7. Modelo numérico del puente peatonal  
(Elaboración propia)

las frecuencias de peatones en la dirección transversal. La ubicación y tensión inicial de los cables se adaptó en cada modelo con el propósito de cumplir con las flechas admisibles que se mencionan en el párrafo anterior. Las variables que se estudiaron son:

- Ancho del tablero  $B = 3, 4, 5$  y  $6$  m ( $B/L_p = 0.028$  a  $0.057$ )
- Relación de esbeltez de las torres  $L/r = 20.8, 29.7, 34.6, 41.6$  y  $51.7$
- Longitud del claro  $L = 80, 100, 106, 120$  y  $150$  m (se conserva relación claro principal/claro de compensación)

- Relación del claro principal al claro de compensación  $L_c / L_p = 0.2, 0.235, 0.25, 0.265$  y  $0.3$  en el puente prototipo.
- Espesor del tablero  $t = 28$  a  $35$  cm de espesor de la losa
- Tipo de atirantamiento = abanico (1), arpa (2) y mixto (3)

## DISCUSIÓN SOBRE LOS EFECTOS DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Las gráficas siguientes (Fig 8) muestran el comportamiento de los dos primeros modos de vibrar en la dirección transversal que se producen cuando se modifican los parámetros anteriores. Se presentan sólo dos modos transversales porque son los que contribuyen mayormente a la respuesta. Los modos superiores movilizan una masa muy pequeña y no se consideró necesario incluirlos en las figuras. Es importante recordar que el movimiento vertical es de menor importancia, de acuerdo con lo que se explica en el apartado del comportamiento dinámico de los puentes peatonales, y no se aborda en la presente discusión.

La primera gráfica muestra la variación de la frecuencia con el ancho del puente. Los anchos de

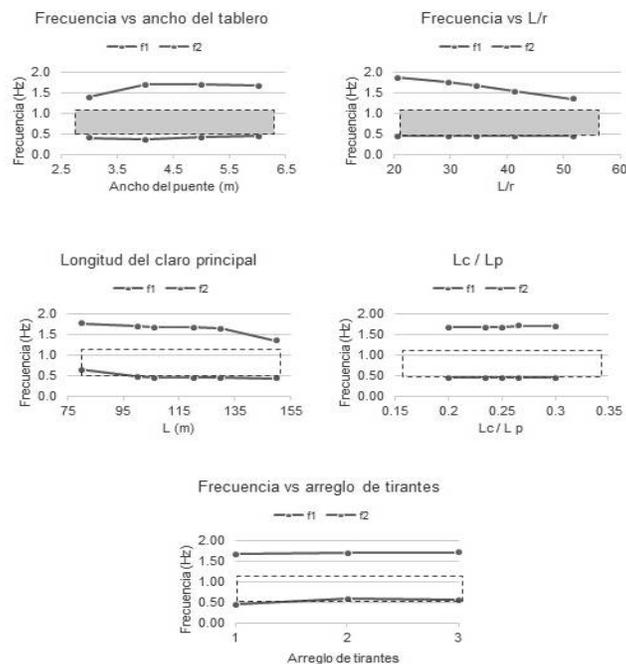


Figura 8. Relación de las frecuencias de los dos primeros modos de vibración en dirección transversal del puente con algunas de las variables estudiadas (Elaboración propia).

tablero seleccionados (3 a 6 m), conducen a frecuencias para el primer modo de vibración transversal entre 1.4 y 1.7 Hz, valores superiores al límite de riesgo máximo de resonancia en esa dirección (0.5 a 1.1 Hz), según los valores indicados en las tablas 1 y 2. La masa que se moviliza en el segundo modo de vibrar transversal es claramente inferior y las frecuencias de 0.4 son inferiores a los límites de riesgo máximo de resonancia. Al observar la tendencia de las frecuencias del primer modo, se estima que valores menores del ancho del puente pueden aproximarse al riesgo medio o máximo de resonancia. Anchos mayores ya no afectan el primer modo transversal y es interesante observar si el tipo de pila o apoyo entre tablero y pila conduzcan a modificaciones de interés en las frecuencias.

Al modificar la relación de esbeltez de las pilas, los valores de frecuencias transversales quedan entre 1.87 y 1.34 Hz, todas ellas fuera de la zona de riesgo de resonancia máximo o medio. Si se observa la tendencia, torres con mayor esbeltez que las propuestas puede conducir a un problema de resonancia.

La variación de la longitud del claro principal lleva a frecuencias entre 1.77 y 1.34 Hz. Los principales cambios de frecuencia se produjeron en la dirección vertical del tablero y en menor medida en la dirección transversal. Una vinculación distinta entre las torres y el tablero podrían llevar a variaciones más importantes que no fueron estudiadas en este trabajo y que se considera importante evaluar en siguientes estudios. El segundo modo transversal, para el puente de menor longitud, alcanza a entrar dentro de los límites de riesgo de resonancia.

La relación entre los claros de compensación y del claro principal no afectan de manera importante la frecuencia fundamental en la dirección transversal del puente, situación que se explica también por la ausencia de conexión entre torre y tablero. El arreglo de tirantes (última gráfica) no modifica la frecuencia transversal del puente. Se considera que el uso de un plano de tirantes, en lugar de los dos planos empleados en el estudio, lleva a variaciones importantes que deben ser consideradas en un estudio posterior.

Otro aspecto que merece atención es que el intervalo de frecuencias en el que se considera que se puede producir resonancia es amplio, pues abarca frecuencias que van desde 0.5 Hz ( $T = 2$  s) hasta 1.3 Hz ( $T = 0.77$  s), como se indica en la tabla 2 para

los niveles de riesgo máximo y medio. La amplitud de frecuencias que se consideran en riesgo dificulta que un puente peatonal, con las características de las que fueron consideradas en este trabajo, pueda caer dentro de la zona de riesgo de resonancia. Opciones distintas de estructuración pueden alejar más de la zona de resonancia a un puente atirantado peatonal y merecen estudiarse en una segunda etapa. Otra alternativa para alejarse de los límites de resonancia es el uso de masas sintonizadas o de disipadores de energía.

## CONCLUSIONES

Los puentes peatonales modernos tienden a ser cada vez más esbeltos, lo que ha dado origen a un mayor número de problemas de carácter vibratorio durante el tránsito de personas.

Los peatones son más susceptibles a la vibración horizontal que a la vertical y se necesitan desplazamientos verticales de al menos 1 cm para que cause una molestia al peatón. Dado que las frecuencias transversales al caminar suelen estar entre 0.5 y 1.1 Hz, se debe evitar que el puente tenga su primera frecuencia transversal en ese intervalo.

Se compararon las frecuencias admisibles, tanto para el confort de los usuarios, como para evitar amplificaciones dinámicas excesivas, con las que se obtienen en puentes peatonales de tipo atirantado, mediante el análisis paramétrico de un puente prototipo. Se identificaron las variables que afectan las frecuencias horizontales de los puentes y las configuraciones modales correspondientes.

Anchos de tablero de 3 a 6 m, conducen a frecuencias para el primer modo de vibración transversal superiores al límite de riesgo máximo de resonancia en esa dirección. Se estima que valores menores del ancho del puente pueden aproximarse al riesgo medio o máximo de resonancia. Anchos mayores ya no afectan el primer modo transversal.

Relaciones de esbeltez de las torres ( $L/r$ ) menores a 52 quedan fuera de la zona de riesgo de resonancia máximo o medio. Si se observa la tendencia, torres con mayor esbeltez que las propuestas puede conducir a un problema de resonancia.

La variación de la longitud del claro principal lleva a cambios de frecuencia principalmente en la dirección vertical del tablero y en menor medida en la dirección transversal. La relación entre los claros

de compensación y del claro principal no afectan de manera importante la frecuencia fundamental en la dirección transversal del puente, situación que se explica por la ausencia de conexión entre torre y tablero. El arreglo de tirantes tampoco modifica la frecuencia transversal del puente. Se considera que el uso de un plano de tirantes, en lugar de los dos planos empleados en el estudio, lleva a variaciones importantes que deben ser consideradas en un estudio posterior. También es necesario evaluar el efecto de una vinculación distinta entre las torres y el tablero ya que podrían llevar a variaciones más importantes en las frecuencias.

Otro aspecto que merece atención es que el intervalo de frecuencias en el que se considera que se puede producir resonancia es amplio, lo que dificulta que un puente peatonal, con las características de las que fueron consideradas en este trabajo, pueda caer dentro de la zona de riesgo de resonancia. El uso de masas sintonizadas o de disipadores de energía son alternativas que parecen atractivas para resolver el problema.

## REFERENCIAS

- Aguilar, I. C., Moreno, M. (2005). Guía para el diseño de puentes peatonales colgantes analizado para construcción en casos de emergencia. México, D.F. Instituto Politécnico Nacional.
- Anderson, D. Gómez and P. Thomson, "Analysis of human-structure interaction in footbridges in Santiago de Cali," Santiago de Cali, 2012.
- Carchi, A. L., Orellana, P. A. (2015). Análisis dinámico de vibraciones bajo cargas peatonales para una pasarela en base a modelos matemáticos. Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Carrión, F. J., Hernández, J. R., Terán, J. (2005) Estudio experimental de un puente atirantado, evaluación de cables. Querétaro, México: Secretaria de Comunicaciones Y Transportes.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2003) Manual de Diseño de Puentes. Lima, Perú: Ministerio de transportes y comunicaciones.
- Flores, R. (2011) Estudio analítico del mecanismo de vibración inducido por el viento en los tirantes de un puente. Cd. Mx: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Huergo, I.A. (2016) Control de vibraciones verticales en puentes peatonales mediante amortiguadores de masa sintonizados. Cd. Mx: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martel, E. (2014). Diseño de puente peatonal urbano bajo consideraciones HIVOSS. Argentina: Departamento de Construcciones y Obras Civiles, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán – Avenida Independencia 1800.
- Mayol, J. J. (2015). Diseño conceptual y dimensionamiento de una pasarela metálica curva atirantada con un pilono lateral inclinado situada en la rambla del Puerto de La cadena a su paso por el hospital universitario virgen de la Arrixaca. Cartagena: Universidad Politecnica de Cartagena.
- Ortiz, P. A. (2013). Evaluación del comportamiento vibratorio de puentes peatonales bajo carga peatonal. LIMA- PERU: Universidad nacional de Ingeniería.
- Rabanal, J. F. (2009). Respuesta aeroelástica de diversos tipos de puentes de tirantes.
- Rubio, D. (2010) Métodos de Definición de cargas en tirantes en puentes atirantados. Tesis (Master), E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).
- Sánchez, J. A. (2013). Análisis de la interacción humano-estructura en puentes peatonales. Medellín: Dyna.
- Tapia, J., Pinzón, A. F. (2014) Pre diseño para un modelo de puente peatonal en intercepciones viales aplicadas a calzadas de alto flujo vehicular. Bogotá: Escuela de Ingenieros Militares.

# REVISIÓN DE FLUJO EN TRANSPORTE PÚBLICO, REGIÓN PONIENTE DE LA ZONA METROPOLITANA DE TUXTLA GUTIÉRREZ

## REVIEW OF FLOW IN PUBLIC TRANSPORT, WESTERN REGION OF THE METROPOLITAN AREA OF TUXTLA GUTIÉRREZ

Gabriel Ballinas Salazar <sup>1</sup>; Ricardo Suárez G. <sup>2</sup>;  
Teresa del Rosario Argüello M. <sup>3</sup>

### RESUMEN

La zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez ha tenido un crecimiento acelerado en muy poco tiempo, entre los factores que influyen destaca la circulación de sistemas de transporte que se generan entre ciudades, sobre todo en vías principales de tránsito vehicular, en esta investigación, mediante aforos puntuales se realizó una revisión del flujo vehicular que presentan los sistemas de transporte que transitan en la zona poniente de dicha zona metropolitana.

**Palabras clave:** Zona Metropolitana, Flujo Vehicular, Transporte.

### ABSTRACT

The metropolitan area of Tuxtla Gutiérrez has had an accelerated growth in a very short time, among the factors that influence the circulation of transport systems that are generated between cities, especially in main roads of vehicular traffic, in this research, through specific gauges. A review of the vehicular flow presented by the transport systems that transit in the western area of said metropolitan area was carried out, with results that propose an optimization scheme in order to improve the efficiency of the integral transport system.

**Keywords:** Zone Metropolitan, Flow Vehicle, Transport.

### INTRODUCCIÓN

La movilidad es un derecho humano de toda persona, que debe estar garantizado de forma continua y permanente, para trasladarse con libertad y comodidad de un lugar a otro, así como para trasladar sus bienes y, en su caso, mercancías a fin de procurarse las condiciones de bienestar que merece y que el Estado está obligado a propiciar. (H. Congreso del Estado de Chiapas, 2020)

El transporte, en general, es un fundamento importante para potenciar el crecimiento económico y social de los asentamientos humanos, dado que constituye la base del proceso productivo y el medio más importante para la movilidad de las personas.

La capital del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, cuenta con una población aproximada de 604 147 habitantes y una extensión de 335 km<sup>2</sup>. (INEGI 2020)

En las últimas décadas, se ha registrado un rápido crecimiento de desplazamientos de personas entre Tuxtla Gutiérrez y los municipios colindantes, por ser ésta el centro político, comercial, educativo, hospitalario y de servicios del estado.

Una zona metropolitana se define como el conjunto de dos o más municipios o demarcaciones territoriales en los que se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio o demarcación que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica. (SEDESOL, CONAPO, INEGI, 2004)

<sup>1</sup> Profesor medio tiempo, Facultad de Ingeniería-Universidad Autónoma de Chiapas. Email: gabriel.ballinas@unach.mx

<sup>2,3</sup> Profesores de tiempo completo, Universidad Autónoma de Chiapas. Email: rsuarez@unach.mx; teresa.mendez@unach.mx

Oficialmente la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez (ZMTG) está integrada por 3 municipios (Figura 1) que son Tuxtla Gutiérrez, Berriozabal y Chiapa de Corzo, y está en trámite la actualización para integrar a Suchiapa y San Fernando.



Figura 1. Zona Metropolitana Tuxtla Gutiérrez, (Gobierno del Estado de Chiapas, 2016)

El territorio de la ZMTG se ha desarrollado plausiblemente en las últimas décadas. Se advierte un marcado incremento de la mancha urbana: entre las capitales de los tres municipios que la integran junto con las localidades de Copoya y El Jobo (pertenecientes a Tuxtla Gutiérrez), tiende a formarse un área urbana continua. (Silva et al, 2015).

El sistema vial de la ZMTG debería garantizar la eficiente distribución de flujos en sus diversos niveles (local, urbano, metropolitano y regional) si existiera una red vial jerarquizada de tal forma que, los viajes cortos se realizaran dentro de vialidades locales (sitio en el que convive la comunidad), aquellos cuyo origen y destino corresponden a diferentes colonias o barrios deberían realizarse por vías secundarias sin recurrir a vialidades primarias, y los realizados entre diferentes sectores de la ciudad (periféricos) e inclusive a nivel metropolitano, se hicieran por avenidas primarias y/o accesos carreteros, sin el perjuicio de mezclarse todos estos en un mismo tipo de vialidad. (Gobierno del Estado de Chiapas, 2018)

En la literatura existente, se encuentra un Plan Integral de Transporte Público Metropolitano, en el cual se hace un estudio general de las características y soluciones a problemáticas puntuales de transporte público en la ZMTG, y se propone un corredor de transporte transversal que atraviesa la ciudad de Tuxtla Gutiérrez de Poniente a Oriente, además de establecer paradas de corto recorrido en los accesos a la ciudad con el enfoque de recibir ahí al transporte que proviene de otros municipios o ejidos aledaños.

Estas soluciones están muy bien fundamentadas, pero no se cuenta con un análisis puntual aplicado a los municipios que se propone integren la ZMTG, a fin de definir la cantidad de vehículos de transporte público que transitan entre cabeceras municipales, si bien se cuentan con más de 53 rutas foráneas que arriban a la ZMTG de diferentes lugares del Estado de Chiapas, primero se debe abordar la problemática de los municipios colindantes, y sobre ese análisis, proponer soluciones que se integren a la magnitud de la ZMTG.

Actualmente el sistema vial y de transporte público en la zona, presenta algunos problemas cuyos efectos resultan cada vez más crecientes y diversos como son: congestión vehicular; contaminación; falta de equilibrio entre la oferta y demanda de transporte reflejada en tiempo; espacios y demoras en los traslados de la población a sus centros de trabajo o estudio; lo que da como consecuencia la pérdida de horas/hombre productiva en traslados y un aumento en los índices de contaminación. (Gobierno del Estado de Chiapas, 2018)

Una eficiente distribución y administración de los sistemas de transporte que integran la ZMTG es la base para brindar un buen servicio al usuario, por lo que es necesario se realice una medición del impacto y la eficiencia de estos sistemas, por dos factores principales: 1.- Existen diferentes vías de acceso a la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de Accesos carreteros en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez. (Gobierno del Estado de Chiapas, 2018)

Nombre de carretera	No. Índice <sup>1</sup>	Ruta	Tipo de Red
Ocozacoautla - Ent. El Sabino	12	MEX-190	Federal - Libre
Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez	20	MEX-190	Federal - Libre
Terán - Chicoasén	21	MEX-190	Federal - Libre
Tuxtla Gutiérrez - Angostura	22	MEX-190	Federal - Libre
Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc	23	MEX-190	Federal - Libre
Tuxtla Gutiérrez - San Cristóbal de las Casas (Cuota)	28	MEX-190-D	Federal - Cuota
Libramiento Sur de Tuxtla Gutiérrez	36	CHIS	Estatad - Libre
Tuxtla Gutiérrez - Portillo Zaragoza	50	CHIS-133	Estatad - Libre
Chiapa de Corzo - Amatenango del Valle	29	CHIS	Estatad - Libre

2.- Se debe medir el flujo vehicular que tienen los traslados del sistema de transporte público sobre la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, a fin de definir la eficiencia del sistema.

Las condiciones que experimentan los usuarios en el sistema de transporte del caso de estudio (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas), está determinado por la heterogeneidad del sistema, que es tan alta que, en general, no es posible concluir que estadísticamente los valores promedio de los niveles de servicio son aceptables. Sin embargo, se puede hablar de tendencias, en este caso la tendencia es que el sistema tiene una sobre oferta, que va de la mano con una baja velocidad de servicio. (Ballinas et al, 2019)

Si se parte de la problemática antes mencionada, se estima que la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, tiene una sobre oferta en su sistema de transporte, y eso se acrecenta si tomamos en cuenta que en la ZMTG existen otros sistemas de transporte que se integran y generan un mayor flujo de vehículos en las vías de comunicación de la ciudad Capital.

Otro elemento de importancia para acrecentar la problemática es la existencia de 85 rutas suburbanas, que en su mayoría realizan la operación similar a rutas urbanas, dichas rutas conforman la zona metropolitana de Tuxtla que conectan con municipios colindantes que mantienen una cercanía con Tuxtla Gutiérrez, como son: Chiapa de Corzo, Suchiapa, Berriozabal, San Fernando, Ocozocoautla y Osumacinta. (Ballinas et al, 2019).

En Chiapas la regulación de los sistemas de transporte tiene como marco la Ley de Movilidad y Transporte del Estado de Chiapas, en el artículo 65 define: "Las concesiones y permisos para utilización de las calles, podrán otorgarse para cualquiera de las modalidades siguientes:

- I: Pasajeros:
  - A) Colectivo
    - a. Urbano
    - b. Suburbano
    - c. Intermunicipal
    - d. Foráneo
  - B) Taxi

De lo anterior se establece que en esta investigación se optó por estudiar el inciso A, debido a que son las características de los sistemas de transporte de la ZMTG.



Figura 2. Jerarquía de la Red vial de las ciudades de Tuxtla Gutiérrez, Berriozábal y Chiapa de Corzo. (Gobierno del Estado de Chiapas, 2018)

Por la magnitud de la ZMTG es necesario acotar y definir los puntos a estudiar, debido que cada vía de acceso tiene morfología diferente, para este trabajo se establecen 4 vías principales que conectan con las cabeceras municipales de los municipios que colindan con la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, (Figura 2), y deberían formar parte oficial de la ZMTG, los cuales son: Chiapa de Corzo, Suchiapa, Berriozabal y San Fernando, debido a la morfología de la ZMTG, es aceptable acotar el estudio de caso en dos partes, una donde se estudie el lado poniente de la ciudad que incluye las salidas a Berriozabal y San Fernando. Y por otra parte la zona oriente que incluye las salidas a Chiapa de Corzo y Suchiapa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se va a integrar en dos fases, la primera en la elección de las variables a estudiar, la segunda en la recopilación de la información y obtención de resultados.

### 1.- Variables de Estudio

En la literatura referente al estudio de sistemas de transporte, y medición de aforos de vehículos, define como variables principal al cálculo del flujo.

El flujo ( $q$ ) es la tasa horaria equivalente a la cual transitan los vehículos por un punto, en una carretera durante un periodo menor a 1 hora. (Garber, 2005)

Puede determinarse mediante:

$$q = \frac{n \times 3600}{T} \text{ vehiculos/hora}$$

Donde:

$n$  = el número de vehículos que transitan por un punto en el camino en  $T$  segundos  
 $q$  = el flujo horario equivalente.

## 2.- Recopilación de información y obtención de resultados

Para conocer el del flujo de tránsito en los trabajos de monitoreo existe el método manual, el cual se utiliza para obtener atributos del flujo de tránsito a través de personal que realiza el conteo vehicular de forma visual.

Este método se emplea por lo general en conteos especiales de pocas horas de duración.

El método manual de conteo de flujo de tránsito permite clasificar a los vehículos por: tamaño, tipo, número de ocupantes, carril de circulación, dirección de circulación, entre otras propiedades muy diversas. (SCT, 2016).

Posteriormente se definieron los lugares a realizar los conteos y los horarios, tomando las vías principales entre San Fernando a Tuxtla Gutierrez y Berriozabal a Tuxtla Gutierrez, dando como resultado los puntos los accesos donde se encuentran retenes de la Secretaria de Seguridad Publica, ya que en estos puntos son el único acceso donde pasan las unidades de los sistemas de transporte, se ubican en: Carretera Tuxtla Gutierrez – Chicoasen entronque con Boulevard Mactumatzá para San Fernando y Carretera Internacional Panamericana entronque con Libramiento Norte de Tuxtla Gutierrez para Berriozabal (Figura 3).

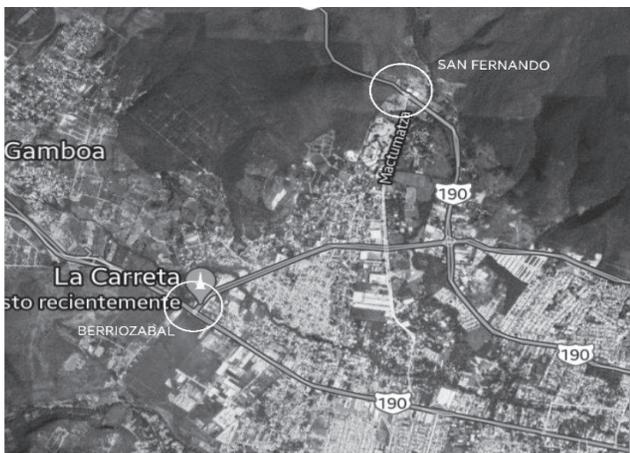


Figura 3. Puntos de conteo manual del flujo vehicular. (Elaboración propia con datos de Google maps)

Respecto a las horas picos, se identifican tres horarios de 7:00 – 10:00 horas, 14:00 – 17:00 horas y 19:00 -21:00 horas. De acuerdo objetivo del estudio que es analizar los ingresos de vehiculos de transporte publico a la ciudad de Tuxtla Gutierrez, y conforme a las características y horarios de las actividades esenciales que oferta la ciudad Capital de Chiapas, se eligió el horario pico de 7:00 a 10:00 horas ya que se encuentra la concentración mayor de demanda de transporte publico.

## Distribución Demográfica

A continuación (Figura 4) se presenta la distribución demográfica de la ZMTG que se conforma oficialmente por 3 municipios que son: Tuxtla Gutierrez, Chiapa de Corzo, Berriozabal, que en total suman 848 274 habitantes (INEGI. 2014)

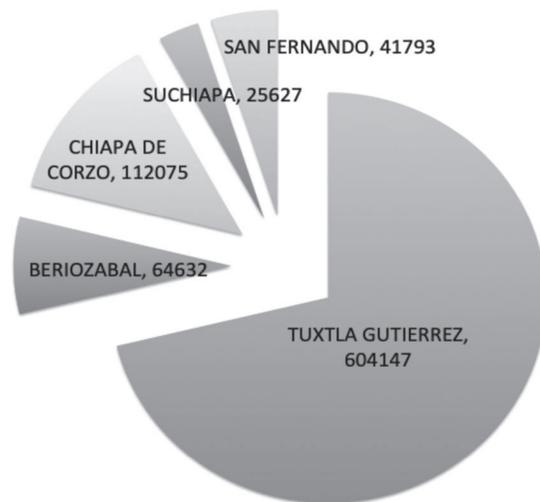


Figura 4. Distribución demografica de los municipios de la ZMTG propuesta. (INEGI, 2016)

## Distribución y Organización Vehicular de los Sistemas de Transporte

El transporte publico intermunicipal de la ZMTG, particularmente de las cabeceras de los municipios de Berriozabal y San Fernando se distribuye de la siguiente manera (Tabla 2).

**Tabla 2. Descripción de sistemas de transporte de ZMTG propuesta. (Elaboración propia).**

RUTAS					
ORIGEN	DESTINO	TIPO UNIDAD	CAPACIDAD PASAJEROS	BASE EN TUXTLA GTZ	1ER CUADRO CIUDAD
BERRIOZABAL	TUXTLA GTZ	MICROBUS	27	9A SUR	SI
BERRIOZABAL	TUXTLA GTZ	VAN	15	14 NORTE	NO
SAN FERNANDO	TUXTLA GTZ	VAN	15	8A SUR	SI
SAN FERNANDO	TUXTLA GTZ	TAXI	4	10A SUR	SI

**Aforos**

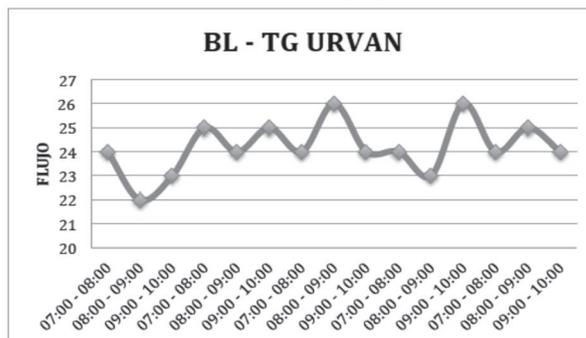
Se realizarón con un formato simple de aforo, y las variables se midieron en relación a las horas pico de los 5 días laborales de la semana, durante 2 meses, con una elección aleatoria de dichos horarios y días, a fin de evitar sesgos de información, con fecha de inicio el 18 de enero, y de termino el 19 de marzo de 2021 (Figuras 5 – 8, Tablas 3 – 4 y Gráficas 1 -4).

**Tabla 3. Aforos de ruta Berriozabal – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia)**

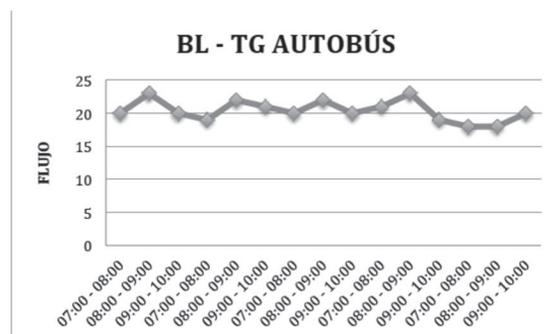
BERRIOZABAL - TUXTLA GUTIERREZ			
HORARIOS	DÍA	URVAN	AUTOBÚS
07:00 - 08:00	LUNES	24	20
08:00 - 09:00	LUNES	22	23
09:00 - 10:00	LUNES	23	20
07:00 - 08:00	MARTES	25	19
08:00 - 09:00	MARTES	24	22
09:00 - 10:00	MARTES	25	21
07:00 - 08:00	MIÉRCOLES	24	20
08:00 - 09:00	MIÉRCOLES	26	22
09:00 - 10:00	MIÉRCOLES	24	20
07:00 - 08:00	JUEVES	24	21
08:00 - 09:00	JUEVES	23	23
09:00 - 10:00	JUEVES	26	19
07:00 - 08:00	VIERNES	24	18
08:00 - 09:00	VIERNES	25	18
09:00 - 10:00	VIERNES	24	20
		24.2	20.4



**Figura 6. Aforos de ruta Berriozabal – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia)**



**Gráfica 1. Flujo vehicular de transporte tipo Urvan de la ruta Berriozabal – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia).**



**Gráfica 2. Flujo vehicular de transporte tipo autobús de la ruta Berriozabal – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia).**



**Figura 5. Aforos de ruta Berriozabal – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia)**

**Tabla 4. Aforos de ruta San Fernando – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia)**

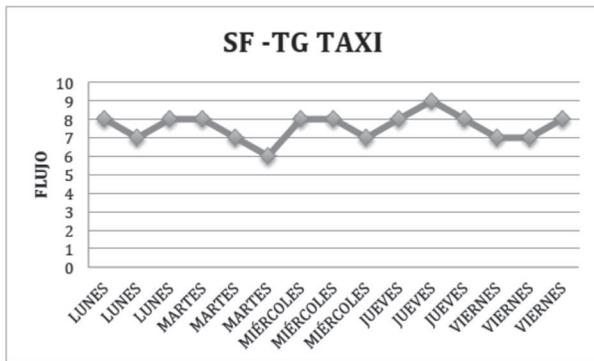
SAN FERNANDO - TUXTLA GUTIERREZ			
HORARIOS	DÍA	URVAN	TAXI
07:00 - 08:00	LUNES	12	8
08:00 - 09:00	LUNES	10	7
09:00 - 10:00	LUNES	13	8
07:00 - 08:00	MARTES	9	8
08:00 - 09:00	MARTES	11	7
09:00 - 10:00	MARTES	10	6
07:00 - 08:00	MIÉRCOLES	12	8
08:00 - 09:00	MIÉRCOLES	12	8
09:00 - 10:00	MIÉRCOLES	13	7
07:00 - 08:00	JUEVES	9	8
08:00 - 09:00	JUEVES	12	9
09:00 - 10:00	JUEVES	10	8
07:00 - 08:00	VIERNES	11	7
08:00 - 09:00	VIERNES	9	7
09:00 - 10:00	VIERNES	10	8
		10.8666667	7.6



Figura 7. Aforos de ruta San Fernando – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia)



Figura 8. Aforos de ruta San Fernando – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia)



Gráfica 4. Flujo vehicular de transporte tipo taxi de la ruta San Fernando – Tuxtla Gutierrez. (Elaboración propia).

### RESULTADOS

Como resultado de los aforos realizados de acuerdo a los parámetros establecidos de horario, días laborales y organización vehicular de los sistemas de transporte a evaluar, se determinó a manera general que existe un flujo vehicular promedio de acuerdo a la tabla 5:

Tabla 5. Promedios totales de flujo vehicular de las rutas evaluadas. (Elaboración propia)

TOTALES PROMEDIOS	
SAN FERNANDO - TUXTLA GUTIERREZ	
URVAN	TAXI
10.86	7.6
BERRIOZABAL - TUXTLA GUTIERREZ	
URVAN	AUTOBUS
24.2	20.4

De la tabla anterior se inicia una discusión en el sentido de la cantidad de vehículos que ingresan a la ciudad de Tuxtla Gutierrez, y que representan una parte del sistema integral de transporte de la ZMTG, cabe mencionar que dicho estudio no esta tomando en cuenta todos los vehículos que ingresan en las vías que se estudiaron, debido a la amplia morfología que va desde autos particulares en su mayoría es complejo definir una matriz de viaje, es decir, un origen y destino final, caso similar de camiones pesados de carga, y a los sistemas de transporte de otros municipios del estado e incluso a otros estados.

El presente estudio presenta datos que indican un alto flujo vehicular por hora que asciende hasta los casi 1000 vehículos al día, lo cual genera un congestionamiento considerable en las vías principales y sumado a que, los sistemas de transporte de los municipios que se estudiaron tienen bases de destino dentro del primer cuadro de la ciudad de Tuxtla Gutierrez, acentuando mucho más la problemática del trafico vehicular.

### CONCLUSIONES

De acuerdo a una tendencia observada en los municipios que colindan con la ciudad de Tuxtla Gutierrez, no debe tardar para que se conforme oficialmente la ZMTG integrando a Berriozabal, San Fernando, Suchiapa y Chiapa de Corzo, lo cual ya en el día a día sobre todo en el flujo de personas que acuden a la capital de Chiapas por diferentes razones de primera necesidad pero regresan por la tarde –noche a pernoctar a su municipio de origen, denota un crecimiento en el flujo vehicular principalmente en las vías de acceso principales y a la zona centro de la ciudad de Tuxtla Gutierrez.

Los sistemas de transporte han carecido de renovación y disminuyeron progresivamente la calidad en el servicio, por lo que al continuar con el proceso de expansión urbana, los problemas de movilidad aumentaron considerablemente.

Los desplazamientos de personas en medios de transporte se han aumentado conforme los municipios de la ZMTG han crecido, principalmente como ya se mencionó anteriormente por la búsqueda de servicios de salud, educación, gestiones y laborales, de la mano a esas necesidades, los sistemas de transporte se han enfocado a resolver el problema solo ocupando de transportar de un punto A a un punto B, sin una planeación y mucho menos pensando en integrar una Zona Metropolitana.

Y a la vez dejar en claro que esta investigación solo abordó la zona poniente de la ZMTG, sería oportuno realizar un trabajo paralelo pero enfocado para la zona oriente de la ZMTG, a fin de definir el flujo vehicular en toda la ZMTG.

Y en base a lo anterior presentar soluciones que brinden un mejor funcionamiento de los sistemas de transporte de manera integral en la ZMTG.

## REFERENCIAS

- Ballinas, G. Suárez, R. y Nazar, M. (2019). Medición de Índices de Calidad en el Funcionamiento de Transporte Público en Ciudades Intermedias.
- Gobierno del Estado de Chiapas. (2018). Diagnóstico de Movilidad Urbana. Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- H. Congreso del Estado de Chiapas. (2020). Ley de Movilidad y Transporte del Estado de Chiapas. (2020).
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda
- Nicolas, G. y Lester, A. (2005). Ingeniería de Tránsito y Carreteras.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016) Manual para Obtener los Volúmenes de Tránsito en Carreteras.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2009). Movilidad regional en Chiapas, información básica para la planeación del transporte.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2007). Análisis de los sistemas de transporte
- SEDESOL, CONAPO, INEGI. (2004). Delimitación de las Zonas metropolitanas en México. Ciudad de México.
- Silva, M. García, A. Y Hernando A. (2015). Crecimiento de la mancha urbana en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas, México).

# IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD URBANA POR INUNDACIONES EN TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

## IDENTIFICATION OF URBAN VULNERABILITY DUE TO FLOODS IN TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

Teresa del Rosario Argüello M<sup>1</sup>., Delva del Rocío Guichard R.<sup>2</sup>,  
Miguel Á. Aguilar Suarez<sup>2</sup>, Beatriz E. Argüelles León<sup>1</sup>

### RESUMEN

*A partir de los conceptos que se necesitan para definir y comprender el riesgo desde su origen en una combinación de procesos sociales y su interacción con el entorno, describiendo las diferentes dimensiones de la vulnerabilidad y la exposición con relación a su contexto específico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; este artículo tiene como objetivo proporcionar mayor entendimiento sobre las dimensiones o variables que describen la vulnerabilidad urbana frente a la amenaza de inundaciones por precipitaciones extraordinarias, que permitan la definición de escenarios de riesgos delimitados, con sus correspondientes mapas de riesgo de daños por inundación. Se requiere generar un mapa de amenazas de inundación y flujos torrenciales y otro de elementos expuestos, los cuales deben ser contrastados para identificar los niveles de exposición existentes.*

**Palabras clave:** Vulnerabilidad urbana, escenarios de riesgos, inundaciones.

### ABSTRACT

Based on the concepts needed to define and understand risk from its origin in a combination of social processes and their interaction with the environment, descri-

bing the different dimensions of vulnerability and exposure in relation to the specific context of the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas; this article aims to provide greater understanding of the dimensions or variables that describe urban vulnerability to the threat of flooding due to extraordinary precipitation, making it possible to define delimited risk scenarios, with their corresponding flood damage risk maps. It is necessary to generate a map of flood and torrential flow hazards and another of exposed elements, which should be contrasted to identify existing exposure levels.

**Keywords:** Urban vulnerability, risk scenarios, floods.

### INTRODUCCIÓN

La población urbana desconoce lo que pasa con los volúmenes de agua que provocan las lluvias debido a los cambios realizados en los cauces de ríos y arroyos en las ciudades para ocultarlos, que no se han hecho para planificar los escurrimientos sino para evitar ver un cauce contaminado. La falta de planeación en el crecimiento de las ciudades originó descontrol en el saneamiento de los afluentes que terminaron siendo receptores de residuos líquidos y sólidos contaminantes, tal es el caso de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Fig. 1) (Rodríguez, Alcocer, Albornoz, Llaguno y Maldonado, 2012). La implementación de una cultura de prevención de estrategias y prácticas efectivas de adaptación y gestión de riesgo de desastre requiere del conocimiento de las dimensiones de exposición y vulnerabilidad.

Un desastre es un proceso social, que se inicia cuando ocurre un evento natural (potencial amenaza) que impacta las infraestructuras, a las personas y sus propiedades de una comunidad específica en condiciones dinámicas de vulnerabilidad de los bie-

<sup>1</sup> Profesores de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas. Email: teresa.mendez@unach.mx

<sup>2</sup> Profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Email: dguich@unach.mx; maas@unach.mx

nes físicos y de fragilidad social e institucional que no permite a dicha comunidad hacer frente a los efectos del evento (materialización del riesgo), “cuyos impactos superan la capacidad de respuesta o recuperación del sistema... afectado, y por ello requiere apoyo externo” (Vera, J. y Albarracín, A., 2017, p.110) para recuperar su funcionamiento.

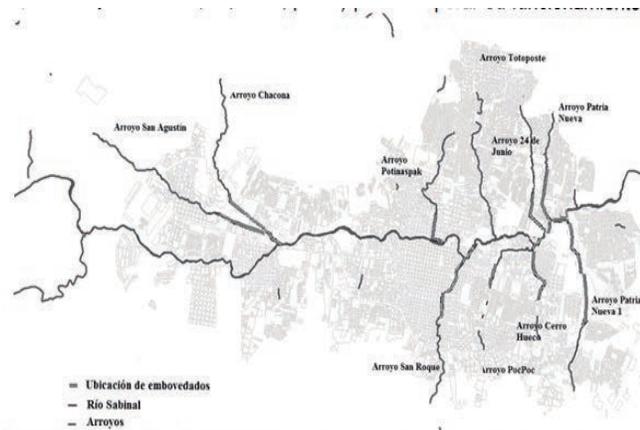


Figura 1. Mapa de Tuxtla Gutiérrez con sus afluentes embovedados. (Rodríguez et al., 2012)

“La interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad genera condiciones [de riesgo de] desastre, el cual puede ser catastrófico o crónico” (Pelling, 2003, citado en Ruiz, 2011, p.65) “de acuerdo con la temporalidad que se genera y desencadena” (Ruiz, 2011, p.65). La magnitud de los impactos que se puedan provocar por eventos hidrometeorológicos, sean extremos o no, depende en gran medida del nivel de vulnerabilidad y a la exposición a tales eventos que tienen los asentamientos humanos.

En la literatura se encuentran diferentes formas de expresar el riesgo. Entre las principales se encuentran las definiciones emitidas por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, por sus siglas en inglés), la del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y, a nivel nacional, la del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

- UNDRR (por sus siglas en inglés, anteriormente UNISDR) (2009, p.29) “La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas...”.

- IPCC. (2012, p.4) “La probabilidad de que... se produzcan alteraciones graves al funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad debido a los fenómenos físicos peligrosos que interactúan con condiciones sociales vulnerables, dando lugar a efectos humanos, materiales, económicos o ambientales...”.
- CENAPRED. (2014, p.15) “La probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores”.

El evento de amenaza no es el único factor de riesgo, los efectos adversos que puedan suscitarse están determinados en buena parte por la vulnerabilidad y exposición de las sociedades y los sistemas socioecológicos, en el territorio considerado.

A principios de siglo, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) consideraba que el riesgo se componía por unas condiciones de vulnerabilidad y de peligro. El IPCC, a partir del Quinto Informe, en sus esquemas de riesgo considera la combinación de tres elementos: el peligro, la vulnerabilidad y la exposición. De forma similar, el CENAPRED, pone al riesgo en función del peligro (agente o fenómeno perturbador), por la exposición (sistema afectable) y la vulnerabilidad (predisposición a ser afectado).

La UNDRR, a partir del 2015 propone una nueva integración del riesgo considerando 4 elementos: el peligro, la exposición, la vulnerabilidad y la resiliencia, como factor de ajuste, es un coeficiente de reducción puesto que, a mayor resiliencia, menor es el riesgo.

Entonces para el diagnóstico del riesgo es preciso determinar el potencial de peligro y los niveles de exposición y vulnerabilidad a que está expuesto el sistema afectable. Por lo que retomando las definiciones oficiales:

- Peligro. “Se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado. Sus características específicas son magnitud e intensidad. La magnitud es una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera. La intensidad es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado” (CE-

NAPRED, 2014, p.16).

- Exposición. “Se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados...En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto, mayor será el riesgo que se enfrenta” (CENAPRED, 2014, p.17).
- Vulnerabilidad. “Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza” (UNISDR, 2009, p.34).

De acuerdo a la conceptualización de UNDDR, el otro componente del riesgo es la resiliencia:

- Resiliencia. “La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas” (UNISDR, 2009, p.28).

La resiliencia urbana es la capacidad que tienen las ciudades de resistir los embates de fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, adaptarse a las circunstancias cambiantes del clima, recuperarse ante situaciones críticas o de desastre y prepararse para eventos futuros. “Crear resiliencia en las ciudades tiene como principal objetivo que los sistemas que la componen puedan mantener un nivel aceptable de funcionamiento ante una situación crítica e inusual, mientras se lleva a cabo un proceso para restablecer las condiciones normales” (Bahena, 2017, p.73).

La falta de resiliencia está determinada por aspectos como deficientes niveles de gobernabilidad y de capacidad de ordenación y gestión ambiental del territorio, bajos niveles de preparación y diseño de planes de manejo de emergencias y gestión del riesgo, poca capacidad de endeudamiento y de ahorro, sin transferencia de riesgos mediante pólizas de aseguramiento, entre otras imposibilidades culturales para cumplir con un conjunto de condiciones sociales, económicas y espaciales (umbrales) que se asocian al bienestar, que si no se cubre, representan una situación de pérdida, precariedad, carencia y/o dificultad; un ‘serio daño’ ante el impacto de fenómenos indeseados (Vera y Albarracín, 2017. Ruiz, 2011).

La resiliencia es un concepto multifactorial, con diferentes componentes, se tiene que establecer de qué tipo de resiliencia se está hablando, si es social,

técnica o infraestructura, o ambiental, económica, etc. Es polivalente, tiene una acción ante diferentes agentes perturbadores, se pueden desarrollar en nuestras zonas urbanas resiliencia ante ciclones tropicales, o ante incendios o inundaciones, etc. Para que un ente pueda considerarse resiliente debe cumplir estas 4 características esenciales de la resiliencia: preparación, resistencia, adaptación y recuperación (Bahena, 2017).

Es importante destacar que las metodologías de cálculo de resiliencia no aplican a diferentes escenarios de riesgos. Por tanto, debe especificarse a que componente de la resiliencia se refiere y el tipo de riesgo a analizar. El CENAPRED ha desarrollado el índice de resiliencia a nivel municipal (componente socio-económico), disponible en la web del atlas nacional de riesgos. Otras instituciones desarrollan sus propias metodologías, a partir de metodologías previas.

Una vez que se han calculado el peligro y la vulnerabilidad, y si a la integración del riesgo se quiere integrar la resiliencia, se calcula el riesgo final a partir de una matriz del nivel de impacto esperado, y ajustar el nivel de riesgo de acuerdo a grado de resiliencia.

## ANÁLISIS DEL RIESGO POR INUNDACIONES URBANAS

“Las ciudades con riesgo de inundación requieren de una estrategia de adaptación, para garantizar asentamientos seguros frente a estos fenómenos. Por lo general se han aceptado condiciones de frontera inamovibles para las zonas en riesgo, no se aborda

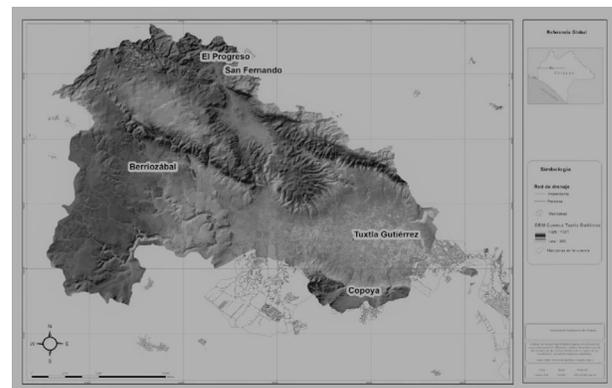


Figura 2. Cuenca del Río Sabinal, región hidrológica No. 30 denominada Grijalva-Usumacinta, y drena una superficie de 407.44 kilómetros cuadrados. (CENAPRED, 2020)

el problema con una visión de que las ciudades son parte de una cuenca "(Arreguín, López y Marengo, 2016, p.12), que no termina donde termina la ciudad, donde termina el pavimento. Las fronteras de la cuenca van mucho más allá de la mancha urbana (Fig. 2).

La mejor solución ante estos cambios en los patrones de las inundaciones es generar una ... gestión integrada de crecidas... maximizar los beneficios de las llanuras de inundación y reducir al mínimo las pérdidas, es una combinación de medidas políticas, administrativas, financieras y físicas. En la cuales debe estar involucrada toda la ciudadanía; todo ello,...a través de acuerdos institucionales, partiendo de la relación entre dependencias del gobierno federal y una mejor comunicación y colaboración entre los distintos órdenes de gobierno: Federal, Estatal y Municipal, procurando que se delimiten responsabilidades en la aplicación de planes para protección contra inundaciones... Una debilidad inicial de este tipo de programas es la incertidumbre existente en materia de información hidrometeorológica, pluviográfica, de seguimiento hidrológico en ríos y arroyos, y sobre todo, de proyecciones climáticas; sin datos confiables es muy difícil tomar decisiones y planificar. La información de calidad servirá principalmente para la adecuada calibración de modelos y la concientización de la sociedad sobre la dimensión de los escurrimientos y su impacto (Arreguín et al., 2016. pp.12 y 13).

Con información veraz es posible realizar mapas de riesgos y vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático por lluvias, mediante el empleo de las tecnologías de información y comunicación para obtener indicadores estadísticos que sean relevantes para la operación de un sistema en el monitoreo del ciclo hidrometeorológico para el desarrollo, implementación y operación de sistemas de alerta temprana ante precipitaciones extraordinarias. Para lo cual se requiere el desarrollo de capacidades, que incluye la formación especializada de recursos humanos, y la aplicación y desarrollo de tecnología a nivel municipal. Es importante recordar que estas metodologías se aplican sobre modelaciones de simulación del peligro a que se está expuesto, es una idealización de la realidad, de ella la importancia de la calidad y la precisión de la información con la cual se dispone; por ello es necesario contar con un número ma-

yor de estaciones climatológicas automáticas y una red de radares, donde exista una inversión federal y estatal, para el mantenimiento de estas tecnologías. Además de tener a nivel municipal especialistas en riesgos hidrometeorológicos con capacidades en el uso de cartografía digital, de imágenes satelitales y conocimientos hidroclimáticos; con la información meteorológica e hidrométrica, validada y disponible para consulta y descarga, y el desarrollo de programas de control de inundaciones (Consultar el Programa nacional contra contingencias hidráulicas. PRONACCH, 2019).

Un mapa de riesgos por inundación es una representación gráfica de las inundaciones (agente perturbador) asociado a los daños que ocasiona a una zona de estudio, que puede ser una zona urbana, donde se relaciona la magnitud del evento a través del tirante y la velocidad del agua, la distribución espacial del evento, es decir su ubicación, extensión o radio de afectación, y la interacción que tiene con el sistema, se refiere a las afectaciones a las poblaciones o a la infraestructura. Estos mapas muestran visual, simplificada y concentradamente la ubicación y magnitud de las afectaciones por inundaciones.

Para la construcción de un mapa de riesgos por inundaciones se precisa de establecer un criterio de riesgo, saber cómo combinar los factores que componen el riesgo, esta información se extrae de los mapas de peligro y mapas de vulnerabilidad. Para la construcción de estos últimos mapas, igualmente se requiere de haber establecido criterios para definir niveles de vulnerabilidad y de peligro, que, combinados mediante la exposición, determinan el riesgo.

El peligro de inundación se calcula a través de las modelaciones hidrológicas e hidráulicas. Entre los factores a considerar en las inundaciones están: la distribución espacial de la lluvia y las características de los terrenos (topografía, pendientes, cobertura vegetal, usos de suelo, los residuos sólidos dejados en las calles, la expansión de la mancha urbana sin planificación en las zonas inundables) y las características físicas de los arroyos y ríos (las transformaciones de vías de escurrimientos e hidráulicas del tránsito de avenidas); donde se obtienen los polígonos de inundación, tirantes y velocidades, y a través de criterios de peligro desarrollados en la literatura que establecen una relación entre velocidad y tirantes se determinan los niveles de peligro (bajo, medio, alto, etc.)

(Rodríguez et al., 2012; Bahena, 2017). Para la elaboración de los mapas de peligro se requiere de mapas de velocidades máximas de escurrimientos y los mapas de tirantes máximos (profundidad de la inundación), estos se realizan frecuentemente a partir de simulaciones computacionales (a veces verificadas en campo sobre información histórica), con información hidrológica e hidráulica, este es un modelo simplificado, pues dependiendo de la profundidad de alcance e información disponible, también se llega a considerar el tiempo de residencia, la cantidad y calidad de sedimentos y la carga de agentes bioquímicos. Los mapas pueden hacerse para recrear eventos ya pasados con información recabada histórica o para crear escenarios futuros. Dependiendo del ente de análisis se define el criterio de peligro a utilizar, pues cada criterio establece sus límites; como el propuesto en el Estudio de Riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la República Mexicana propuesto por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en 2015 para la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación.

Es pieza clave el modelo computacional de simulación de inundaciones, el cual debe estar calibrado y se alimenta principalmente del uso de suelo considerado en la planificación urbana, las micro cuencas y cuencas de aportación, la tormenta de diseño que puede calcularse con datos históricos para construir lluvias posibles con cierto periodo de retorno, la probabilidad de ocurrencia, o a través de datos de un evento específico; se requiere además de mapas de distribución espacial para incluir los obstáculos hidráulicos de la ciudad y las características de la cuenca (área, longitud del cauce principal, coeficiente de escurrimiento, coeficiente de rugosidad, entre otras). Un mapa de simulación de inundaciones muestra información en la mancha urbana de la extensión del agua durante una inundación y a qué velocidad se presenta, a partir de ella, se utilizan unos criterios de peligro, que relacionan el tirante que alcanza el agua y la velocidad de inundación, estos criterios dependen del tipo de peligro a evaluar.

Esta información se plasma en los mapas de peligro y exposición que se determina a partir de la ubicación de los elementos (e.g. población, viviendas, edificaciones gubernamentales y la infraestructura y equipamientos públicos, ecosistemas, sistemas de producción) por su cercanía a las aéreas de influen-

cia del fenómeno perturbador, que juega un papel muy importante para determinar el nivel de riesgo. Con ello se elabora el mapa de peligro con la localización y simbología de nivel de peligro de cada elemento.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.

Para el caso de estudio se generó un mapa de densidad poblacional con información del INEGI, el cual muestra las áreas de mayor susceptibilidad a la ocurrencia de un desastre (Figs. 3 y 4).

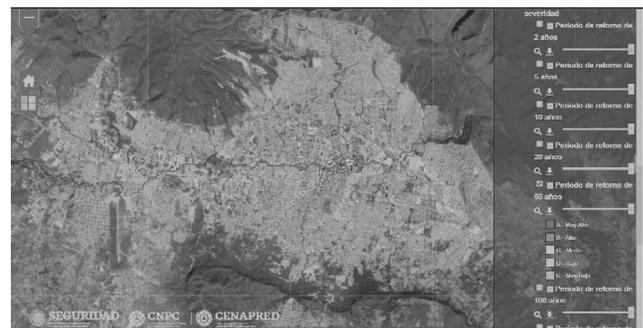


Figura 3. Mapa de peligro para un período de retorno de 50 años de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. (CENAPRED, 2020)

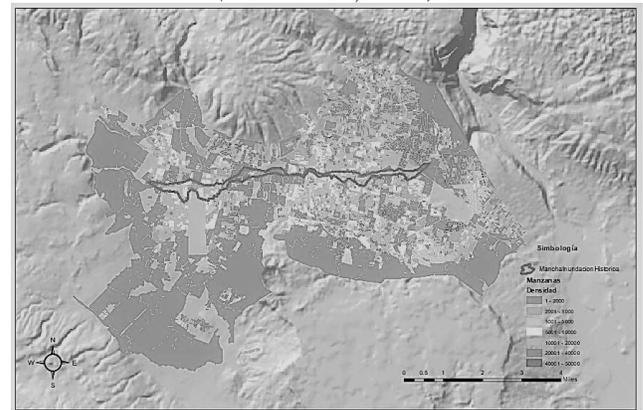


Figura 4. Mapa de densidad poblacional de Tuxtla Gutiérrez. (Elaboración propia a partir de datos INEGI)

Dentro de estas áreas, se procesaron y filtraron los registros del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), para extraer las unidades pertenecientes al sector público que se ubican dentro de ellas, agrupándolas en los rubros de Salud, Educación, Cultura, Abasto, Recreación y Deporte, generando el mapa de exposición del equipamiento en riesgo (Fig. 5).



Una vez que se tiene calculado el nivel de vulnerabilidad y el nivel de peligro del sistema, a través de un criterio de riesgo, se elabora una matriz de riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad y porcentaje de daño causado al ente en estudio, se determina el nivel de riesgo asociado (Tabla 3). Teniendo de un lado el mapa de peligro, y del otro el de vulnerabilidad, se calcula el nivel de riesgos, a través de algebra de mapas de un sistema de información geográfica; para este caso, se construye el mapa de riesgo con los criterios de riesgo ante inundaciones establecidos, plasmando la información representada con la simbología determinada.

**Tabla 3. Criterio de riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad y porcentaje de daño causado al menaje de la casa.**

Vulnerabilidad por tipo de vivienda	Peligro			
	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Muy baja (Tipo IV)	Riesgo Nulo RN (0%)	RN (0%)	Riesgo Bajo RB (10%)	Riesgo Medio RM (50%)
Baja (Tipo III)	RN (0%)	RB (10%)	RM (50%)	Riesgo Alto RA (100%)
Media (Tipo II)	RN (0%)	RB (10%)	RM (50%)	RA (100%)
Alta (Tipo I)	RN (0%)	RM (50%)	RA (100%)	RA (100%)

Fuente: Estudio de Riesgo de Inundación en Zonas Urbanas de la República mexicana (IMTA, 2015)

En ello, de acuerdo a la metodología elegida, puede o no considerarse los índices de resiliencia, que se determinan "...con los integrantes del sistema a evaluar, que pueden estar en función de una o más variables, que en conjunto miden una característica o atributo de la variable principal en estudio. Una forma de analizar las cuatro características fundamentales de la resiliencia es dar respuesta a las siguientes interrogantes: 1. ¿Cómo resiste la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos? 2. ¿Cómo se recupera la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos? 3. ¿Cómo se adapta la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos? 4. ¿Cómo se prepara la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos?" (Bahena, 2017, p.42).

La información generada a través de estos mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo permite el establecimiento de estrategias de mitigación y control de inundaciones, es decir mitigar los efectos de las inundaciones, y con ello, incrementar la resiliencia urbana.

## CONCLUSIONES

Cierto es que el riesgo no debe ni puede realmente eliminarse; pero sí debe entenderse, aceptarse y gestionarse hasta niveles en los cuales la sociedad pueda continuar con su vida cotidiana. Para ello, es necesario aumentar nuestro conocimiento y generar una visión amplia sobre las inundaciones y otros fenómenos del ciclo hidrológico para renovar y mejorar nuestra convivencia con el agua. Los desastres naturales NO existen, la lluvia y el agua no son un desastre sino una expresión de la naturaleza misma. El desastre es que no sepamos convivir con ellas, anticipar sus consecuencias, prever sus afectaciones e incluso aprovechar sus efectos (Hernández et al., 2018).

Las inundaciones son consideradas como uno de los peligros naturales más frecuentes en la tierra, a los cuales los sistemas urbanos se enfrentan frecuentemente. Las inundaciones urbanas ya no son solo un fenómeno natural. El componente social del sistema urbano está contribuyendo a aumentar la tendencia de las inundaciones urbanas. El daño de la sociedad a la naturaleza intensifica fenómenos naturales de manera que, a su vez, provocan afectaciones cada vez mayores en la misma sociedad. El riesgo es un proceso social, se construye y se deconstruye socialmente. Los desastres son problemas no resueltos del desarrollo, a pesar de que actualmente es posible tener un vasto entendimiento de los procesos hidrológicos e hidráulicos, y la tecnología capaz de representarlos, pero si se carece de planeación, articulación, gestión adecuada de acciones de mitigación y, en muchas ocasiones de ética suficiente, la probabilidad de pérdidas socioeconómicas se elevará exponencialmente ante los fenómenos hidrometeorológicos.

Las acciones se clasifican por su tiempo de aplicación en preventivas, correctivas y reactivas. Por su tiempo de obtención de beneficios se clasifican a corto, mediano o largo plazo. También pueden dividirse en acciones estructurales y no estructurales, las primeras son aquellas donde se construye un elemento físico, y las no estructurales no conllevan construcción de elementos físicos. Como estructurales están las estructuras de detención (regulación), de retención (infiltración), parques lineales hundidos, captación de agua de lluvia, pavimentos permeables, canalización y rectificación de cauces, bordos

de protección o drenaje pluvial urbano, entre otras. Y las no estructurales pueden ser la creación de programas de planificación urbana, reforestación y restauración de suelo, reubicación de zonas de bajo peligro, programas de inspección y limpieza de arroyos y canales pluviales, sistemas de alerta temprana, planes de contingencia y programas de cultura hídrica, entre otros.

Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) que imitan los procesos de la naturaleza que son alternativas más viables económicamente hablando para gestión de riesgos, y específicamente para inundaciones, pueden ser retención de agua en el paisaje, crear espacio para el agua y conectividad y transporte. Para ello, hay que comprender el papel que juegan los ecosistemas en la reducción del riesgo ante inundaciones. Se ha demostrado que en aquellas zonas donde se ha conservado el ecosistema sin grandes alteraciones, como por ejemplo los manglares en zonas costeras, resisten más ante eventuales peligros de inundaciones por tormentas y marejadas, que aquellas localidades donde se han eliminado las zonas de manglares.

Muchas de las medidas de acciones de diseño SbN están encaminadas a regular los caudales, para aplanar la curva del caudal en el tiempo, que el gasto pico sea menor, y entonces la infraestructura pluvial no se vea rebasada, no se requiera mayores acciones estructurales costosas y de alto mantenimiento, y además, a la par, se recuperan áreas verdes. Tales como la creación de lagunas de retención en las cuencas medias que captan los escurrimientos de las cuencas altas para que estos escurrimientos no lleguen a las cuencas bajas donde se localizan los centros de población, empleando esas aguas para riego o para infiltrarla a los mantos acuíferos (e.g. Parque hídrico La Quebradora en Iztapalapa); o una versión más reducida son los camellones inundables en avenidas. Otro ejemplo son los humedales artificiales o parques inundables para captar aguas de lluvia e infiltrarla al subsuelo; o los techos verdes, que además de absorber agua de lluvia, sirven de aislamiento térmico, hábitat para vida silvestres, captar CO<sup>2</sup> y disminuir efectos de isla de calor; o acciones para recuperar los cauces naturales de afluentes que anteriormente fueron embovedados, como se están incrementando los escurrimientos en las zonas urbanas, entonces la infraestructura pluvial que se diseñó

años atrás está rebasando su capacidad de diseño, y con este tipo de acciones se puede volver a recuperar las secciones naturales de los cauces (e.g. Rescate del río Cheonggyecheon, Corea del Sur). Con este tipo de acciones se busca la regulación de escurrimientos, aplanado la curva disminuyendo el gasto pico en el hidrograma de escurrimiento; y además se logra enverdecer la estructura gris.

## REFERENCIAS

- Arreguín C., F., López P., M. y Marengo M., H. (marzo, 2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnol. cienc. agua* vol.7 no.5. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/>
- Bahena A., R. (2017) Índice de resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos. Tesis doctoral. UNAM, Ciudad de México, México.
- CENAPRED (2014). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica. Serie Atlas Nacional Riesgos. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, Ciudad de México, México. Recuperado de [www.cenapred.gob.mx](http://www.cenapred.gob.mx)
- Hernández E., Rodríguez J., Cervantes C. y Llaguno O. (septiembre de 2018). Metodología para generación de mapas de riesgo ante inundaciones con índice daño pérdida-posesión. En P. Bereciartúa (Presidencia), en el XXVIII Congreso Latinoamericano De Hidráulica. INA. Buenos Aires, Argentina.
- IPCC (2012) Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/>
- Rodríguez J., Alcocer V., Albornoz P., Llaguno O. y Maldonado J. (2012). Problemática de inundaciones en zonas urbanas y propuestas de solución desde un enfoque matemático, IMTA. Recuperado de [www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)
- Ruiz R., N. (2011) La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Invest. Geog* no.77 México abr. 2012. Recuperado <http://www.scielo.org.mx/>

- UNDRR (antes UNISDR) (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres, ONU, Ginebra, Suiza. Recuperado de <https://www.eird.org/>
- UNESCO (2018) Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018. WWAP. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura París.
- Vera, J. y Albarracín, A. (2017) Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Cienc. Ing. Neograd*, vol.27, n.2, pp.109-136. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/>

# DISEÑO DE UNA SITUACIÓN DIDÁCTICA PARA EL ESTUDIO DE LA NOCIÓN DE RAZÓN DE CAMBIO

DESIGN OF A DIDACTIC SITUATION FOR THE STUDY OF THE NOTION OF CHANGE REASON

Humberto Manuel Gómez<sup>1</sup>, Cristóbal Cruz Ruiz<sup>2</sup>

## RESUMEN

*Se presenta un diseño adaptable a situaciones del proceso enseñanza-aprendizaje en los temas derivados del Cálculo en el contexto hidráulico de la Ingeniería Civil. Surge frente a los retos estudiantiles en materias avanzadas para su formación académica. Se realiza mediante el enfoque del Pensamiento y Lenguaje Variacional considerando la noción de razón de cambio.*

**Palabras Claves:** Razón de cambio, Pensamiento y Lenguaje Variacional.

## ABSTRACT

It presents a design adaptable to situations of the teaching-learning process in the topics derived from Calculus in the hydraulic context of Civil Engineering. It arises in response to the challenges faced by students in advanced subjects for their academic training. It is carried out by means of the thought and language variational approach considering the notion of change ratio.

**Keywords:** Change Ratio, Thought and Language Variational.

## INTRODUCCIÓN

Se propone en esta investigación, construir la noción de Razón de Cambio utilizando como pretexto al fenómeno hidráulico de vaciado de recipientes. Utilizaremos la simulación de este fenómeno ya que con el uso de la geometría dinámica (GeoGebra) se pueden manipular las variables que en la experimentación pueden ser un factor que impida llegar a los resultados esperados. Dado que la simulación nos permite también generar las gráficas, nosotros pretendemos que el estudiante las interprete y argumente lo que sucede en relación al vaciado del recipiente que observa.

El uso de la simulación en el fenómeno de vaciado de recipientes, contribuirá principalmente a la construcción de la noción de variación y al desarrollo del Pensamiento y Lenguaje Variacional (PyLV), y esto se logrará a través de tres acciones que se deben involucrar en el diseño de las actividades didácticas:

1. Medición del cambio.
2. Análisis de la forma en como esa medida evoluciona.
3. Reconocimiento de por qué las variables cambian de la forma en que lo hacen.

Tomando en cuenta las acciones mencionadas anteriormente, se realiza el diseño de las actividades didácticas y se presentarán ante un grupo de tercer semestre de la licenciatura en Ingeniería Civil, en tres fases diferentes en donde se pretende observar a través de los argumentos de los estudiantes la construcción de la noción de variación y por consecuencia la construcción de la noción de Razón de Cambio.

## SISTEMA DE REFERENCIA VARIACIONAL

Con el fin de explicar la forma en como la variación es construida en situaciones de cambio, se esta-

<sup>1</sup> Maestrante en ciencias con especialidad en matemática educativa. Facultad de Ingeniería- Universidad Autónoma de Chiapas.

<sup>2</sup> Docente de la Facultad de Ingeniería UNACH

blece como marco teórico, lo que Caballero (2018) llama sistema de referencia variacional, que surge de la articulación teórica de las nociones de causalidad y temporización, en las que causalidad se entiende como la dependencia que existe entre las variables y la temporización se entiende como la construcción de estados intermedios en el desarrollo del fenómeno para predecir estados futuros.

La causalidad y temporización atiende diferentes aspectos de la variación que se resumen en las interrogantes ¿Qué cambia?, ¿respecto de que cambia?, ¿Cuánto cambia?, ¿Cómo cambia?, ¿Por qué cambia de esa manera? La causalidad, al consistir en establecer una relación entre variables (¿Qué cambia?), precisa que dichas variables sean reconocidas como tales (¿respecto a que cambia?), lo que requiere de mecanismos de cuantificación (¿Cuánto cambia?). en cuanto a la temporización, esta favorece que el cambio sea analizado a través de los estados construidos (¿Cómo cambia?). por último, al considerar en conjunto a la causalidad y la temporización se construye una racionalidad sobre la variación del fenómeno (¿Por qué cambia de esa manera?), ya que el comportamiento observado se analiza en función de la relación que se establece y los estados que se construyen (Caballero, 2018, p. 90).

El sistema de referencia variacional surge de la forma en que se articulan las preguntas mencionadas anteriormente, considerando los elementos que lo conforman, la relación de variables (lo que se percibe que cambia), el elemento de referencia (como se reconoce el cambio), la unidad de medida (como se mide la intensidad del cambio) y la temporización (como se reconoce la evolución del cambio) (Caballero, 2018). A continuación, se describe cada elemento que forma parte de un sistema de referencia variacional.

**Relación de variables:** Los fenómenos de variación continua se caracterizan por la posibilidad de presentar simultáneamente diversas variables que se modifican continuamente que pueden coincidir con las de una función o pueden ser diferentes a ellas. Cabe mencionar que al estudiar la variación estamos abordando todos aquellos aspectos en los que existe un cambio, pero también es muy importante centrar la atención no solo en las variables, sino en la rela-

ción que se establece entre ellas.

En nuestra investigación estamos tratando con las variables tiempo, altura, entre otras, sin embargo, la relación que se establece entre estas dos es muy importante ya que el tiempo no podemos controlarlo a voluntad, por lo tanto, la variable altura depende del tiempo de vaciado del recipiente. Es por esto que es necesario considerar este elemento del sistema de referencia variacional.

**Elemento de referencia:** Para estudiar el cambio en un fenómeno debe existir un referente para verificar una modificación y que al mismo tiempo sirva para medir el cambio, es decir, la unidad de referencia nos permite establecer “respecto a que cambia” una variable en un determinado fenómeno.

También existe otra forma de interpretar la unidad de referencia mediante comportamientos que ya son conocidos, lo que permite compararlos con nuevos comportamientos o si existen algunas modificaciones de un comportamiento previo, es decir, tomar un comportamiento como modelo para comparar comportamientos similares.

**Unidad de medida:** Se refiere a la cuantificación del cambio dentro de la variación en un determinado fenómeno, por lo que es necesario considerar el uso de estrategias y herramientas que permitan realizar esta medición, para establecer una magnitud mediante la comparación de dos elementos.

En Buendía (2006) se reporta que al predecir el comportamiento de un móvil a través de su gráfica hay una búsqueda de alguna unidad fundamental para comparar los estados futuros con el presente, búsqueda que inicia con la descripción y entendimiento del tipo de movimiento. Observamos que se constituye un referente para caracterizar el tipo de movimiento a partir del análisis de cómo cambia la distancia para lapsos específicos (Caballero, 2018, p. 94).

La unidad de medida no es específicamente una cantidad estandarizada con una magnitud (por ejemplo, metro-longitud), sino como el elemento que permite medir el cambio en una variable mediante la comparación entre dos elementos, la cantidad que se mide y la cantidad con la que se mide, es decir, “cuánto cambia”. También cabe mencionar que esta medición del cambio no siempre es una magnitud exacta y en ocasiones puede ser aproximada. En nuestra investigación los estudiantes deberán esta-

blecer aproximaciones para poder predecir el comportamiento de ciertas gráficas que representen un fenómeno en donde es necesario identificar la unidad de referencia, como se describe anteriormente, y así comparar para disponer de una unidad de medida. Esto se le conoce como medición descriptiva del cambio, la cual no involucra valores numéricos, sino en la expresión de las características y descripciones, así como: es más grande/pequeño que, más alto/bajo que, más rápido/lento que, crece/decrece cada vez más/menos, etc. (Caballero, 2018).

Por otro lado, la cantidad de cambio también puede medirse de manera numérica cuando se asigna un valor a una determinada cantidad, esta medición puede efectuarse multiplicando la unidad de referencia (es el doble de, la mitad de, etc.), o también pueden establecerse valores específicos mediante la medición utilizando alguna herramienta (un flexómetro, una cuadrícula, etc.), o utilizando formulas o algoritmos que provienen de teoremas ya establecidos por la Matemática.

**Temporización:** Como ya se mencionó anteriormente, consiste en construir estados intermedios para analizar el proceso de variación de las variables, es decir, el análisis de cómo cambia. Esto no necesariamente se refiere a considerar al tiempo como variable de estudio, aunque por la naturaleza del fenómeno que tratamos en nuestra investigación es una variable indispensable.

La temporización comprende dos sentidos: el primero es la identificación de estados que son sugeridos o explícitos en alguna actividad o situación, por ejemplo, en el caso de una tabla numérica se puede considerar estados a cada uno de los valores numéricos de la variable dependiente, mientras que, en una gráfica se puede considerar estados a cada uno de los valores del eje horizontal en caso de que este cuente con una escala numérica explícita. El segundo sentido consiste en la construcción de los estados al no ser explícitos en la situación planteada, por ejemplo, al establecer valores específicos de las variables en una gráfica que no cuente con una escala explícita, o al reconocer instantes de tiempo específicos en el movimiento de un cuerpo (Caballero, 2018, p. 96).

La temporización establece la construcción de estados intermedios, sin embargo, también es nece-

sario considerar el número de estados de un determinado fenómeno, principalmente se identifican dos casos: estados extremos y estados intermedios. Los estados extremos son aquellos en donde se considera un estado inicial y otro estado final, estos pueden coincidir con el principio y fin del fenómeno, o también pueden ser los extremos de un determinado intervalo. Ahora bien, para ejemplificar el caso de los estados extremos Caballero (2018) presenta la gráfica de la siguiente (Imagen 1) en donde los estados que se identifican no corresponden con “el inicio y el final” de la gráfica, sino a dos puntos que conforman un intervalo del dominio.

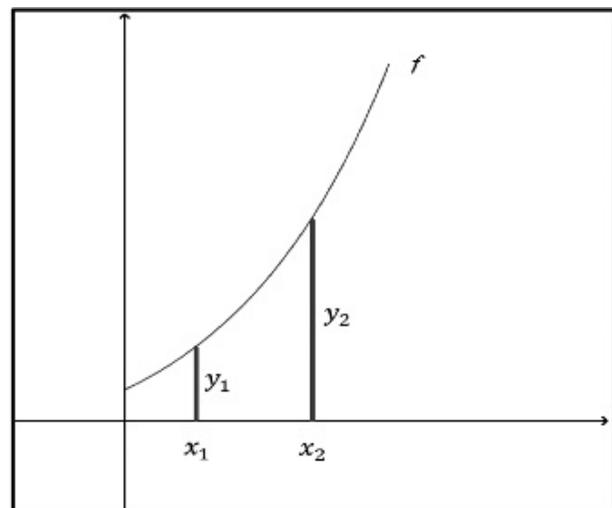


Imagen 1. Ejemplo de una temporización de estados extremos (Caballero, 2018, p. 97)

Ahora bien, si tratamos con los estados intermedios es necesario considerar más de dos estados dentro del desarrollo del fenómeno, los cuales describen su comportamiento. Esto permite realizar un análisis de la variación entre un estado y otro, por lo tanto, las gráficas adquieren cierto “movimiento” lo que contribuye a la construcción de ciertas nociones relacionadas al PylV.

En resumen, la noción de sistema de referencia variacional consiste en el reconocimiento y la forma en que se organiza el cambio, la construcción de la variación por un individuo ante una situación de predicción, lo cual tiene lugar mediante el desarrollo de las nociones de temporización y de causalidad (Caballero, 2018). La noción de sistema de referencia variacional se desarrolla según sea la situación de

variación planteada que se ve afectada por el tipo de fenómeno que se esté tratando vinculado a las experiencias y el entorno social. A continuación, se presenta un esquema (Imagen 2) que propone Caballero (2018) en donde se sintetizan los elementos del sistema de referencia variacional, y los cuestionamientos que se relacionan con cada elemento del sistema.

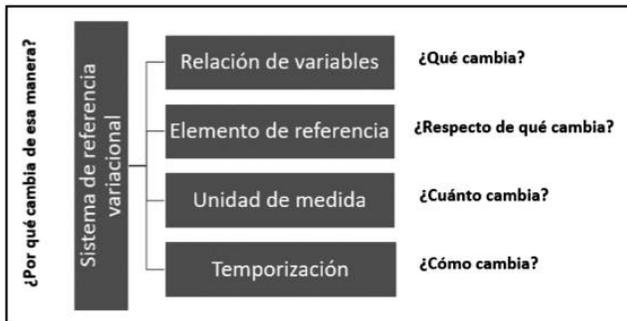


Imagen 2. Elementos del sistema de referencia variacional (Caballero, 2018, p. 99)

## DISEÑO DE LA SITUACIÓN DIDÁCTICA

Con base en el esquema metodológico para la investigación socioepistemológica (Montiel & Buendía, 2012) se diseñó la situación didáctica mediante tres actividades que se llevarán a cabo en tres sesiones, en las cuales los alumnos atenderán problemas relacionados al fenómeno de vaciado de recipientes con diferentes geometrías, aunque se realizará una breve introducción para que los estudiantes recuerden algunos conceptos que se abordan en el fenómeno de llenado de recipientes; así también tendrán que argumentar gráficamente el comportamiento de cada fenómeno.

### Actividad 1. Llenado de Recipientes Conocimientos y habilidades

El objetivo de esta actividad es que los estudiantes recuerden ciertos conceptos que de alguna manera han construido en su formación académica y los utilicen en un “fenómeno real”, en este caso el llenado de recipientes, realizando un análisis variacional en donde se identifica la forma en que evoluciona el fenómeno, para poder determinar la gráfica que lo representa.

#### Intenciones didácticas

Se pretende explicar en clases el fenómeno de

llenado de recipientes proponiendo una actividad grupal en la que se muestran tres recipientes con diferentes geometrías y las tres gráficas que se los representan, sin indicar que gráfica le corresponde a cada recipiente, con el objetivo de que el estudiante identifique que gráfica le corresponde a cada recipiente en relación a la forma en que este se llena con un flujo constante, y argumente sus repuestas con el fin de hacer visibles los elementos que son parte de este tipo de fenómenos.

#### Consideraciones previas

Es necesario considerar que los estudiantes tienen conocimientos relacionados con aspectos básicos de la hidráulica, así como también las ideas de pendiente, velocidad y algunas fórmulas básicas utilizadas en la materia de Cálculo Integral, esto para poder realizar la modelación analítica del fenómeno. También es necesario que los estudiantes exploren de manera general el software (GeoGebra).

**Actividad 1.** Considerando que los siguientes recipientes (Imagen 3) se están llenando con un flujo constante, identifica y relaciona que gráfica representa el llenado del recipiente según su geometría y explica tu respuesta. Donde  $H$ = Altura total,  $R$ = Radio superior,  $r$ = Radio inferior.

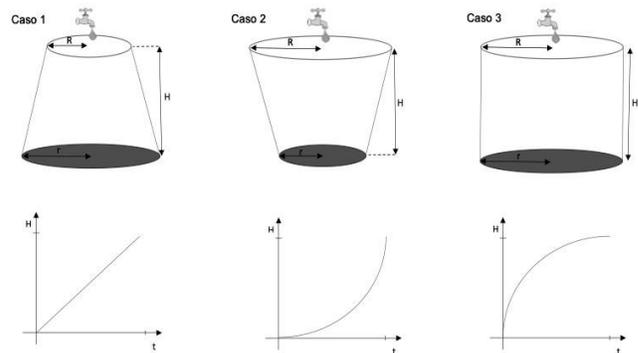


Imagen 3. Actividad 1. Llenado de recipientes

### Actividad 2. Vaciado de Recipientes Actividad 2.1 Conocimientos y habilidades

Se pretende que los estudiantes construyan la noción de variación mediante situaciones predictivas analizando el comportamiento del fenómeno de vaciado de recipientes con diferentes geometrías, tomando en cuenta que en el recipiente que se está vaciando influyen factores como la presión que ejerce el agua,

el radio es mayor o menor que antes, etc.; y representando lo que observa en gráficas que relacionan la altura con el tiempo de vaciado.

### Intenciones didácticas

Se les proporcionaran hojas con las actividades con el objetivo de que los estudiantes las realicen y que argumenten sus respuestas para analizar de qué manera enfrentan este tipo de problemas y los conocimientos que ponen en juego en la realización de las gráficas que se les pide.

### Consideraciones previas

Los alumnos actualmente cursan la materia de ecuaciones diferenciales por lo tanto hay que considerar que los estudiantes tienen conocimientos previos sobre el fenómeno de llenado de recipientes, así como el análisis de sus gráficas y como cambian según la geometría del recipiente debido a la variación que se presenta en el radio a medida que se va llenando.

**Actividad 2.1.** Considerando que los recipientes que se muestran a continuación (Imagen 4) se encuentran completamente llenos y se están vaciando por un orificio de radio  $R_s$ , realiza la gráfica que representa este vaciado y explica tu respuesta. Donde  $H$ = Altura total,  $R$ = Radio superior,  $r$ = Radio inferior,  $R_s$ = Radio del orificio de salida.

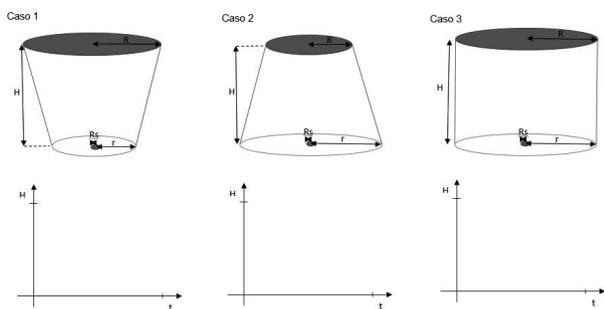


Imagen 4. Actividad 2.1. Vaciado de recipientes

### Actividad 2.2

#### Conocimientos y habilidades

Se pretende que los estudiantes confronten las representaciones realizadas en la actividad anterior con las presentadas en la actividad 1.2 para corregir, si por alguna razón interpretaron mal la actividad, o para reafirmar lo que realizaron según sea el caso,

y así obtener una resignificación del conocimiento mediante una situación predictiva.

### Intenciones didácticas

Después de realizar la actividad anterior, se les proporcionara hojas con las actividades en donde se presentan unas gráficas dentro de las cuales están las que representan el fenómeno de vaciado de recipientes según su geometría, con el objetivo de que los estudiantes comparen sus gráficas con las presentadas en la actividad y que indiquen si coinciden, y en el caso de no coincidir elegir cual es la que es correcta según su apreciación y argumentar por que cambia de opinión, al final indicar cualitativamente cuál es el recipiente que se vacía más rápido. Todo esto con el propósito de comprobar si existe una construcción del conocimiento.

### Consideraciones previas

Se debe considerar que se deben explicar bien las instrucciones para que los estudiantes puedan realizar la actividad y lleguemos a los objetivos, ya esta actividad depende de la anterior. También se debe explicar a los estudiantes que no es una evaluación, por lo tanto, es importante no borren sus respuestas, en el caso de realizar un procedimiento equivocado, ya que es lo que nos permitirá analizar de qué forma puede lograr una resignificación del conocimiento.

**Actividad 2.2.** Compara las gráficas realizadas con las que se muestran (Imagen 5) a continuación e indica si coinciden. Si cambias de opinión indica cuál es la que representa el vaciado y explica por qué.

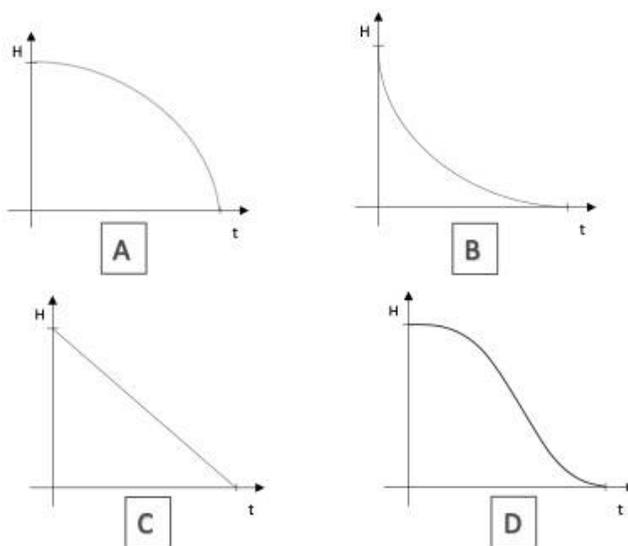


Imagen 5. Actividad 2.2. Gráficas comparativas

Cabe mencionar que el proceso de modelación y simulación del llenado y vaciado de recipientes se encuentran en los siguientes links: <https://www.youtube.com/watch?v=f7JWKnmskLY>, <https://www.youtube.com/watch?v=57Qy2w8yr6c&t=620s> (Manuel, 2018) en la plataforma YouTube, el cual será proporcionado a los estudiantes para aclarar sus dudas y puedan construir cuantas veces quieran la simulación del fenómeno de llenado y vaciado de recipientes con diferentes geometrías.

### Actividad 3. Evaluación Actividad 3.1 Conocimientos y habilidades

Se pretende que los estudiantes, mediante el desarrollo del PyLV, puedan establecer una relación entre el comportamiento de la gráfica y la forma del recipiente que se está llenando utilizando los elementos que surgieron en las actividades anteriores como la variación de la altura del agua respecto al tiempo, con el objetivo de hacer visible la construcción del conocimiento mediante la predicción utilizando una situación de variación.

#### Intenciones didácticas

Esta actividad se presenta ante el grupo para que se resuelva de manera individual en donde los estudiantes deben de realizar un análisis del comportamiento de la gráfica para poder predecir la forma que tendrá el recipiente al llenarse. Para esto los estudiantes tendrán cinco minutos para responder.

#### Consideraciones previas

Es necesario considerar que, con la realización de las actividades anteriores, los estudiantes tienen más elementos para esta actividad, como por ejemplo la noción de variación y el desarrollo del PyLV, por lo tanto, estarán familiarizados con los conceptos y será más fácil su realización.

**Actividad 3.1** Dada la siguiente gráfica (Imagen 6) que representa el llenado de un recipiente con gasto constante, dibuje la forma del recipiente.

### Actividad 3.2 Conocimientos y habilidades

Se pretende que, mediante la comparación de dos recipientes similares, los estudiantes reafirmen los conocimientos construidos respecto a la relación

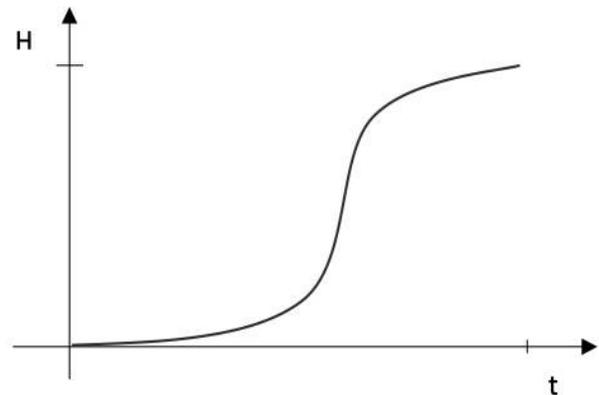


Imagen 6. Gráfica Modelado de recipiente

que existe entre el tiempo de llenado y las dimensiones del recipiente, así como también la velocidad, aunque no se encuentre explícita en la actividad. El objetivo de esta actividad es hacer que no queden dudas respecto al comportamiento de la gráfica en el llenado de recipientes según su geometría.

#### Intenciones didácticas

Esta actividad se presenta ante el grupo para que se resuelva de manera individual, igual que la anterior, pero en esta se debe realizar un análisis de la geometría del recipiente ya que ésta se puede dividir en tres partes y esto permitirá construir la gráfica que se pide tomando en cuenta que no se llenan al mismo tiempo pero que si alcanzan la misma altura. Para esto los alumnos tendrán cinco minutos para responder.

#### Consideraciones previas

Es necesario considerar que, con la realización de las actividades anteriores, los estudiantes tienen más elementos para esta actividad, como por ejemplo la noción de variación y el desarrollo del PyLV, por lo tanto, estarán familiarizados con los conceptos y será más fácil de su realización. También es necesario que antes de comenzar esta actividad, los estudiantes entreguen la anterior, ya que esto nos permitirá ver cuál es la forma en que los estudiantes se enfrentan ante situaciones de variación.

**Actividad 3.2** Dados los siguientes recipientes (Imagen 7) que se están llenando con el mismo gasto constante, dibujar las gráficas correspondientes en el mismo sistema coordenado.

### Actividad 3.3

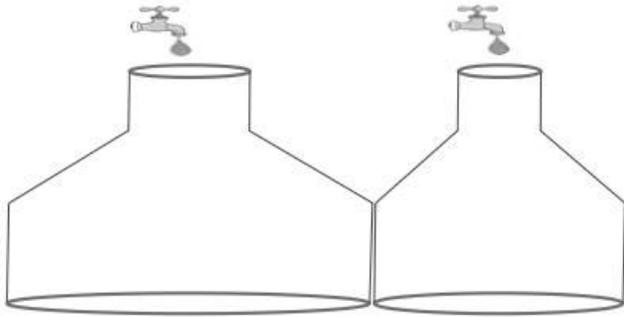


Imagen 7. Comparación de razones de cambio

### Conocimientos y habilidades

Se pretende que los estudiantes utilicen las ecuaciones obtenidas en la modelación, con la intención de que se haga visible el uso de las ecuaciones diferenciales en la hidráulica y particularmente en la ingeniería civil que es para lo que se está formando. La idea central de esta actividad es predecir el tiempo de llenado de un recipiente (cono truncado), para el cual los estudiantes necesitan realizar un proceso que implica un análisis que no se había realizado anteriormente, el cuantitativo.

#### Intenciones didácticas

Esta actividad se presenta ante el grupo para que se resuelva de manera individual, igual que la anterior, pero en esta el análisis es específicamente de un cono truncado con ciertas condiciones iniciales, las cuales serán de utilidad para que los estudiantes puedan predecir el tiempo total de llenado del recipiente. Para esto los alumnos tendrán quince minutos para responder.

#### Consideraciones previas

Es necesario considerar que los estudiantes no tienen dudas sobre la modelación del llenado de recipientes, ya que le aportará elementos para entender el propósito de la actividad. También es necesario que los estudiantes retomen ciertos conocimientos algorítmicos para la realización de esta actividad ya que se pide predecir el tiempo de llenado. Para la realización de esta actividad, es necesario que entreguen la anterior igual que en las actividades anteriores.

**Actividad 3.3** Dadas las condiciones iniciales del llenado de un cono truncado (Imagen 8) con gasto constante determine el tiempo total de llenado.

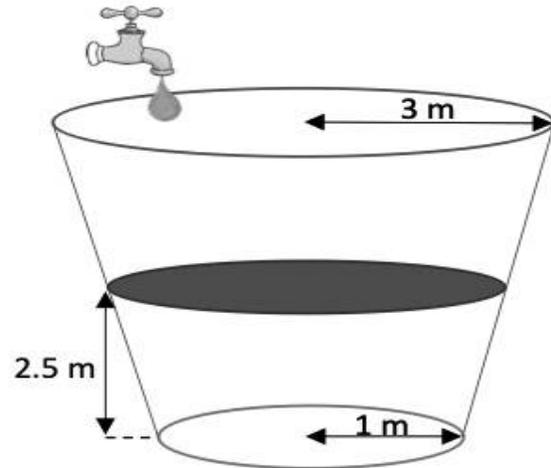


Imagen 8. Predicción de tiempo de llenado

### CONCLUSIONES

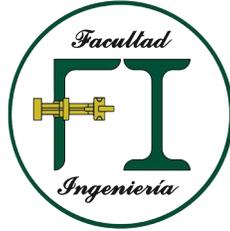
Para la formación de los estudiantes es muy importante el desarrollo de la noción de variación, así como también del PyLV, debido a los distintos fenómenos que se estudian en la licenciatura en Ingeniería Civil. Es importante mencionar que existen otros fenómenos relacionados en donde se pueden proponer situaciones de variación, sin embargo, consideramos que la hidráulica es el escenario ideal para el desarrollo de estas nociones, lo que nos lleva a la significación o resignificación de la noción de Razón de Cambio.

Identificamos que el medio adecuado para este tipo de fenómenos es la modelación y graficación, agregando a la simulación como una herramienta importante tomando en cuenta que se pueden reunir varios elementos en la construcción de la misma. Temas que abordamos de la manera más entendible posible retomando el trabajo de investigación de Caballero (2018).

Finalmente, el objetivo del diseño es mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los temas derivados del Cálculo considerando a la noción Razón de Cambio en un contexto propio de la Ingeniería Civil.

## REFERENCIAS

- Buendía, G. (2006). Una socioepistemología del aspecto periódico de las funciones. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 227-251.
- Caballero, M. A. (2018). Causalidad y Temporización entre jóvenes de bachillerato. La construcción de la noción de variación y el desarrollo del Pensamiento y Lenguaje Variacional. Tesis de doctorado no publicada. México: Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Manuel, H. (15 de Junio de 2018). YouTube. Obtenido de TUTORIAL DE VACIADO DE UN CILINDRO, CONO Y CONO TRUNCADO (GEOGEBRA): <https://www.youtube.com/watch?v=f7JWKnmskIY>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CAMPUS I

## LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

Por acuerdo del Comité Científico y Comité Editorial de la Facultad de Ingeniería se establecieron los Lineamientos Generales para la publicación de artículos originales, científicos y tecnológicos de la Revista Pakbal. Lo anterior, con la finalidad de normar la metodología para su elaboración y presentación.

Los artículos deberán cumplir lo siguiente:

- **Máximo 10 cuartillas.**
- **Título en español e inglés.** -No debe ser mayor a 15 palabras y debe describir el contenido claro, preciso y conciso.
- **Nombre de autor y coautores.** -Máximo cuatro integrantes.
- **Resumen.** -Debe presentarse en español y en inglés (abstract) de 150 palabras cada uno. En el que se indique de forma clara y breve el propósito de la investigación, procedimientos básicos, resultados y conclusiones. Evitar uso de abreviaturas y términos especializados.
- **Palabras clave.** -Presentar máximo cinco palabras clave en español e inglés (keywords) y deben aparecer debajo del resumen en la misma página.
- **Abreviaturas.** -Deben ser definidas la primera vez que se mencionan. Si fuera esto en el resumen, entonces debe definirse de nuevo en el cuerpo principal del texto.
- **Introducción y/o antecedentes.** -Indica el preámbulo del contenido.
- **Método o análisis.** -Describe el diseño de la investigación o contenido y se explica cómo se llevó a la práctica, justificando la elección de métodos, técnicas o instrumentos.
- **Resultados.** -Resalta los hallazgos relevantes, presentado en textos, tablas o ilustraciones.
- **Discusión.** -Interpretación de resultados y su significado sobre el trabajo de otros autores.
- **Conclusiones y/o recomendaciones.** -Delimita y precisa el contenido o tema o tratado.
- **Referencias.** -Se incorpora al final del artículo, en orden alfabético todas las obras citadas en el texto y pies de página. El autor debe revisar cuidadosamente que no haya omisiones e inconsistencias entre las obras citadas y la bibliografía. Usar formato APA versión 6.
- **Cuerpo del texto.** -Letra Arial 11 pts, interlineado sencillo, para que coincidan con las características de edición.
- En los artículos deberán referenciarse: tablas y figuras (gráficas, imágenes, fotografías, etc.)
- Numerar el material gráfico y tablas (mapas, fotos, gráficos): escala de grises, resolución 300 dpi, en formato JPG, PNG o TIFF.
- El autor del artículo deberá proporcionar su formación académica y correo electrónico.

# OFRECE SUS SERVICIOS EN:

## SERVICIOS DE CONTROL DE CALIDAD

- Análisis de agregados inertes (arena y grava) para concreto hidráulico y mortero hidráulico.
- Cálculo de proporcionamiento
- Pruebas de desgaste
- Ruptura de especímenes de concreto
- Ruptura de especímenes de mortero hidráulico
- Análisis de materiales para terracerías subrasantes
- Análisis de materiales pétreos para revestimiento, sub-bases hidráulicas y carpeta asfáltica (varillas corrugadas de 1", 3/4", 5/8", 1/2", 3/8" y 5/16")
- Ruptura de bloques sólidos, adoquines, etc.
- Estudios destructivos y no destructivos en concreto endurecido



## SERVICIOS TOPOGRÁFICOS



- Líneas de control GPS (método estático).
- Levantamientos con equipo GPS en el sistema RTK.
- levantamientos para proyectos de carreteras agua potable, topohidráulicos, agrimensura, etc.
- Deslindes y configuración de terrenos.

Revista

PAKBOL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ISSN: 1665-4668

latindex

FOLIO: 23060

WWW.LATINDEX.ORG