



UNIVERSIDAD MICHUACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
Cuna de héroes, crisol de pensadores



UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“IMPACTO SÍSMICO EN EL COSTO DE PUENTES DE CONCRETO”

T E S I S

PRESENTA
MANUEL ABURTO FLORES

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

ASESORA
DRA. ALMA ROSA SÁNCHEZ IBARRA

AGRADECIMIENTOS

Ha sido un largo camino de 5 años de carrera y unos meses de mucho trabajo en la elaboración de esta tesis, sin embargo, no son solos esos 5 años si no los 18 años de mi vida como estudiante se resumen en este trabajo.

Quiero agradecer a todas y cada una de esas personas que se han cruzado conmigo en este camino, a mis profesores, a mis amigos y en especial a mi familia.

A mis papás quiero dedicarles este trabajo de titulación de licenciatura, ellos que desde que nací siempre han sido mi mayor motivación y apoyo, que sin su ayuda no estaría donde estoy ahora.

A mis hermanas por siempre acompañarme a lo largo de mi vida y ayudarme a crecer como la persona que soy hoy y por darme a los mejores sobrinos que he podido tener.

A mi compañera de toda la universidad, de mil trabajos y desveladas, mi novia Goretti por su apoyo incondicional, cariño y comprensión durante todo este tiempo.

A mi asesora la Dra. Alma Rosa Sánchez por brindar su conocimiento y experiencia además de darme la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación en las áreas que más me gustan como lo son las estructuras y la valuación.

Al Dr. José Manuel Jara Guerrero por sus aportaciones a este trabajo y a la Dra. Bertha Alejandra Olmos Navarrete por sus correcciones. A ambos les agradezco por sus valiosas opiniones y revisión.

RESUMEN

En este trabajo se determinan los costos directos de puentes tipo viga conformados por claros de 30 y 50 metros, subestructura conformada por sistemas de cuatro pilas y superestructura compuesta de trabes AASHTO y Nebraska en zonas sísmicas de distinta intensidad. Esta tipología de puentes es la más usada para los puentes carreteros construidos en la república mexicana.

En primer lugar, se debe hacer un análisis de las zonas sísmicas de las regiones donde se va a construir, después realizar el diseño estructural para los distintos puentes teniendo en cuenta los registros y aceleraciones sísmicas del lugar.

Seguido de ello, se consiguen los precios de proveedores de los distintos materiales y equipo a utilizar para la construcción de los puentes.

Posteriormente se hace un análisis de las cantidades que necesitan cada uno de los componentes para los puentes en cuestión. Una vez obtenidas las cantidades de obra se hace uso del software OPUS para el análisis de precios unitarios para obtener los costos directos de los componentes de cada puente y a su vez en conjunto.

Finalmente, ya calculados los costos totales se hace la comparación porcentual de las configuraciones similares en cada una de las zonas de baja, media y alta sismicidad.

PALABRAS CLAVE: Costos directos, sismicidad, inflación, cantidades de obra, análisis de precios unitarios, puentes de concreto reforzado.

ABSTRACT

In this work, the direct costs of beam-type bridges made up of 30 and 50-meter between piers, a substructure made up of four-pier systems, and a superstructure made up of AASHTO and Nebraska beams in seismic zones of different intensity. This type of bridge is the most used for road bridges built in the Mexican Republic.

First of all, an analysis of the seismic zones of the regions where it is going to be built must be made, then the structural design for the different bridges must be carried out, taking importance of the seismic accelerations of the place.

Next, get the supplier prices of the different materials and equipment to be used for the construction of the bridges.

Subsequently, an analysis is made of the material quantities needed by each of the components for the bridges analysis. Once the quantities have been obtained, the OPUS software is used for the unit price analysis to obtain the direct costs of the components of each bridge and as a whole.

Finally, once the total costs have been calculated, the percentage comparison of the similar configurations in each seismic zone is made.

KEY WORDS: Direct costs, seismicity, inflation rate, material quantities, unit price análisis, reinforced concrete bridges.

OBJETIVO

Calcular la diferencia porcentual entre puentes de mismas características con 2 claros distintos (30 metros y 50 metros) entre zonas con distinta intensidad sísmica: Tlanepantla, Puebla (zona de baja sismicidad); Apatzingán, Michoacán (zona de mediana sismicidad) y Lázaro Cárdenas, Michoacán (zona de alta sismicidad).

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	13
CAPÍTULO 3: TIPOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE PUENTES EN MÉXICO	15
3.1 INTRODUCCIÓN	15
3.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUENTES EN MÉXICO	16
3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES DE MÉXICO	19
3.3.1 MATERIALES USADOS EN LOS PUENTES.	19
3.3.2 TIPOS DE PUENTES EN MÉXICO	20
3.4 MODELOS A TRABAJAR	22
3.4.1 NOMENCLATURA DE LOS MODELOS.....	23
3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS	23
CAPÍTULO 4: INCREMENTO DE LOS COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DURANTE LOS ÚLTIMOS AÑOS.....	36
4.1 INTRODUCCIÓN	36
4.2 EL IMPACTO DE LA CRISIS DE CORONAVIRUS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	36
4.3 EFECTO DE LA GUERRA ENTRE UCRANIA Y RUSIA EN LOS COSTOS DE LAS OBRAS.....	38
4.4 AUMENTO DE LOS COSTOS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO.....	39
CAPÍTULO 5: SISMICIDAD EN MÉXICO.....	41
5.1 INTRODUCCIÓN	41
5.2 ZONAS SÍSMICAS EN MÉXICO.....	42

5.3 SISMOS CATASTRÓFICOS EN LA HISTORIA DE MÉXICO	45
5.4 ANTECEDENTES DE DERRUMBE DE PUENTES A CAUSA DE SISMOS EN MÉXICO	48
5.6 PUENTES EN ZONAS SÍSMICAS DE MÉXICO	51
5.6 UBICACIÓN DE LAS ZONAS SÍSMICAS A TRABAJAR	53
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS	55
6.1 INTRODUCCIÓN	55
6.2 CÁLCULO DE LAS CANTIDADES DE OBRA	55
6.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	69
CAPÍTULO 7: RESULTADOS	71
7.1 COMPARATIVA DE COSTOS FINALES POR ZONA SÍSMICA.....	71
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Composición de la RNC. Elaboración propia con datos del INEGI (2021).	16
Figura 3.2. Distribución de los puentes en México. Elaboración propia con información de SCT (2022).	18
Figura 3.3. Distribución de los tipos de puentes en cuanto a su material en México. (Frías, 2013).	19
Figura 3.4. Puente tipo viga en construcción en Salida a Mil Cumbres, Morelia. Autoría propia.	20
Figura 3.5. Puente arco de tren interurbano México-Toluca. Tomada de https://www.ideam.es/ideam_projects/bridges/puente-arco-tren-interurbano-mexico-toluca/	21
Figura 3.6. Puente Infiernillo. Tomada de https://mapio.net/pic/p-92261882/	21
Figura 3.7. Puente Baluarte ubicado en la autopista Durango-Mazatlán. Tomada de https://www.mexicodesconocido.com.mx/puente-baluarte-bicentenario-uno-de-los-mas-altos-del-mundo.html	22
Figura 3.8. Modelo de los puentes a trabajar en SAP2000. Modelos tomados de (Sánchez et al., 2022) Earthquake source effect and impact of the applied methodology to assess the overstrength factors of RC bridges.	24
Figura 3.9 Vigas diafragma de concreto. Tomada de https://www.researchgate.net/figure/Diafragma-de-arriostamiento-para-vigas-pretensadas-en-viaducto-Bahia-San-Vicente_fig1_329216784	29
Figura 3.10 Apoyos de neopreno laminados para los puentes con claros de 30 metros. A) apoyo 1 y b) apoyo 2. Información tomada de (Sánchez et al., 2022) Earthquake source effect and impact of the applied methodology to assess the overstrength factors of RC bridges.	32

Figura 4.1 Variaciones anuales de los costos de materiales de construcción (Tomada de: https://www.cmic.org/sube-hasta-49-material-de-obra/).....	40
Figura 4.2 Insumos con mayor incremento en el mes de Febrero 2022. Elaboración propia con información del INEGI (2022).....	40
Figura 5.1 Placas tectónicas en México. Tomada de https://elcomercio.pe/mundo/desastres/mexico-5-placas-tectonicas-dejan-moverse-noticia-459746-noticia/	42
Figura 5.2 Regionalización sísmica de México. Tomada de https://hoffman-latam.com/blog/regiones-sismicas-en-mexico/	43
Figura 5.3 Brecha de Guerrero. Tomada de https://www.xataka.com.mx/investigacion/que-es-la-brecha-de-guerrero-y-por-que-nos-deberia-preocupar-despues-del-sismo-de-8-2-grados-en-mexico	44
Figura 5.4 Representación gráfica de los daños por el sismo de 1787. Tomada de https://www.nssoaxaca.com/2019/09/19/el-sismo-mas-fuerte-que-ha-tenido-mexico-ocurrio-en-oaxaca-en-1787/	46
Figura 5.5 Escombros tras el sismo del 7 de septiembre de 2017. Tomada de https://noticieros.televisa.com/historia/sismo-7-de-septiembre-de-2017-oaxaca-mexico-danos/	46
Figura 5.6 Edificio colapsado durante el sismo de 1985. Tomada de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150917_mexico_sismo_antes_despues_fotos_an	47
Figura 5.7 Levantamiento de escombros por civiles tras el sismo del 19 de septiembre del 2017. Tomada de https://www.forbes.com.mx/sismo-devastador-de-septiembre-de-2017/	48
Figura 5.8 Puente derrumbado en carretera Cuernavaca-Acapulco tras sismo del 19/09/2017. Tomada de https://www.razon.com.mx/mexico/tras-sismo-7-1-colapsa-puente-vehicular-en-la-mexico-acapulco/	49
Figura 5.9 Puente que conecta Juchitán con.....	50

Asunción Ixtaltepec colapsado tras sismos de septiembre del 2017. Tomada de https://www.entreveredas.com.mx/2017/09/cae-puente-en-el-istmo-tras-sismo-en.html?m=1	50
Figura 5.10 Puentes de Tec de Monterrey CCM colapsados después de sismo del 19 de septiembre de 2017. Tomada de https://aristeguinoticias.com/2710/kiosko/puentes-mal-construidos-cause-del-colapso-en-el-tec-de-monterrey-y-de-la-muerte-de-5-jovenes-video/	51
Figura 5.11 Mapa de los puentes vehiculares y su localización con respecto a las zonas sísmicas de México. Elaboración propia con información de INEGI y de la Red Nacional de Caminos (2022).	52
Figura 5.12 Ubicación de las zonas de estudio con respecto a las zonas sísmicas de México. Elaboración propia	54
Figura 6.1. Dimensiones de columna para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.	56
Figura 6.2. Detalle de armado de columna para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.	56
Figura 6.3. Detalle de acero helicoidal de columna para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.	57
Figura 6.4. Dimensiones del cabezal para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros	59
Figura 6.5. Detalle de armado long. del cabezal para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros	59
Figura 6.6. Detalle de armado transversal del cabezal para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.	60
Figura 6.7. Dimensiones de viga diagrama para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.	62
Figura 6.8. Detalle de acero long. de viga diafragma para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.	62

Figura 6.9. Detalle de acero transversal de viga diafragma para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.....	63
Figura 6.10. Dimensiones de tope sísmico para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.	65
Figura 6.11. Detalle de armado de tope sísmico para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros	65
Figura 6.12. Dimensiones de la losa de concreto armado. Acotaciones en metros	67
Figura 6.13. Detalle de armado de la losa de concreto armado. Acotaciones en metros.....	67
Figura 6.14. Captura del análisis de precios unitarios en OPUS.	69
Figura 7.1. Comparación porcentual del costo de la subestructura para los puentes con claro de 30 metros.....	72
Figura 7.2. Comparación porcentual del costo de la subestructura para los puentes con claro de 50 metros.....	73
Figura 7.3. Comparación porcentual del costo de las pilas para los puentes con claro de 30 metros.	75
Figura 7.4. Comparación porcentual del costo de las pilas para los puentes con claro de 50 metros.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Número de puentes por estado. Tomado de la página de la SCT (2022).	17
Tabla 3.2. Resultados de diseño para las pilas de los puentes de 30 metros de claro.	25
Tabla 3.3. Resultados de diseño para las pilas de los puentes de 50 metros de claro	26
Tabla 3.4. Resultados del diseño para cabezales de puentes con claro de 30 metros	27
Tabla 3.5. Resultados del diseño para cabezales de puentes con claro de 50 metros	28
Tabla 3.6. Resultados del diseño de vigas diafragma.	30
Tabla 3.7. Resultados del diseño de los topes sísmicos.	31
Tabla 3.8. Resultado del diseño de la losa para ambos tipos de puentes.	33
Tabla 3.4. Características geométricas de trabe AASHTO IV. Elaboración propia con información tomada de https://sepsacv.com.mx/wp- content/uploads/2022/02/CATALOGO-DE-PIEZAS-SEPSA-V-05-27-21.pdf	34
Tabla 3.5 Características geométricas de trabe Nebraska nu 240. Elaboración propia con información tomada de https://sepsacv.com.mx/wp- content/uploads/2022/02/CATALOGO-DE-PIEZAS-SEPSA-V-05-27-21.pdf	35
Tabla 6.1. Cantidades de concreto y acero para un metro lineal de columna	58
Tabla 6.2. Cantidades de concreto y acero para cada cabezal.	61
Tabla 6.3. Cantidades de concreto y acero para un metro lineal de viga diafragma.	64
Tabla 6.4. Cantidades de acero y concreto para los topes sísmicos.....	66
Tabla 6.5. Cantidades de acero y concreto de la losa de concreto	68
Tabla 6.6. Resumen de los costos de los puentes	70

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta un análisis del impacto que representa la distinta actividad sísmica que hay en el país sobre puentes de concreto armado que tienen las mismas características usando modelos con distintos claros.

La realización de este trabajo se hace para mostrar la diferencia de costos de un puente con características similares en tres zonas de distinta sismicidad como lo son Tlanepantla (zona de baja sismicidad), Apatzingán (zona de media sismicidad) y Lázaro Cárdenas (zona de alta sismicidad).

Como es de conocimiento público México es un país de alta actividad sísmica, donde hemos sufrido múltiples catástrofes por caída de estructuras durante terremotos a lo largo de nuestra historia, nuestros antecedentes más cercanos son los sismos del 19 de septiembre de 1985 y del 19 de septiembre de 2017 donde las pérdidas humanas y económicas fueron demasiadas.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

Actualmente no se encuentran trabajos de investigación de temas iguales al de esta tesis, sin embargo, ha habido trabajos de investigación que nos pueden ayudar a tener un sustento para lo escrito aquí.

En la Universidad Nacional de Colombia se hizo una tesis en 2013 con el tema de “Comparación técnico-económica de puentes de dos y tres claros con losa de concreto reforzado y vigas continuas de concreto preesforzado”. En ésta se comparó desde el punto de vista económico el diseño de puentes tipo viga con vigas de sección “I” de concreto preesforzado para puentes de 2 y 3 claros según sea el diseño estructural, cada puente fue diseñado con una longitud de 50 m en total, pero cambiando la longitud del claro central aumentando 5m y consecuentemente disminuyendo los dos extremos. El puente que tuvo un costo mayor fue el del claro central de mayor longitud (30m) ya que el costo del acero de preesfuerzo fue mucho mayor en ese claro central además de que las pilas tenían dimensiones mayores aumentando así las cantidades de materiales necesarios para su correcto funcionamiento. (Velandia Garay, 2013)

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa ‘Dr. Antonio Núñez Jiménez’ de Cuba hizo una publicación en el año de 2021 con el nombre de “Estimación de costos adicionales por seguridad sísmica en proyectos de cimentaciones superficiales”. En este trabajo se evaluaron los costos adicionales por seguridad sísmica para cinco edificaciones de concreto armado con distintas dimensiones para la ciudad de Santiago de Cuba, la cual es la ciudad con mayor peligro sísmico en el país de Cuba. Además de comparar los costos directos de las zapatas de cimentación para cargas sísmicas, de viento y cargas gravitatorias por separado.

Como conclusión se tuvo que las cargas sísmicas dominan el diseño geotécnico de las zapatas, incrementando de manera significativa las dimensiones comparado con el diseño para las cargas de viento o gravitatorias. En cuanto a los costos se concluyó que las zapatas de cimentación para los edificios de concreto de baja estatura, las de diseño por sismo fueron superiores entre un 34% y un 66% que las de diseño por cargas de viento o gravitatorias.

El hecho de considerar el diseño sísmico induce un incremento significativo de los costos directos, sin embargo, de esta manera se garantiza la seguridad estructural de las edificaciones evitando así costos por mantenimientos y por demoliciones post-desastre. (Álvarez-Deulofeu et al., 2021)

El Instituto Politécnico Nacional publicó una tesis de maestría en ingeniería civil elaborada en el 2012 con el tema “Estudio del comportamiento de marcos de concreto de puentes urbanos sometidos a distintas intensidades sísmicas, incursionando en diferentes estados límite”. En este trabajo se estudió la respuesta sísmica de un marco de concreto que forma parte de Distribuidor Vial San Antonio de la Ciudad de México con distintas intensidades sísmicas que se presentan con frecuencia en el valle de México.

Como resultado se obtuvo que los marcos del viaducto están bien estructurados ya que sus propiedades dinámicas están alejadas de los periodos del sitio haciendo que la falla esté lejana. (Mora, R.E., 2012)

CAPÍTULO 3: TIPOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE PUENTES EN MÉXICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Los puentes conforman un componente esencial en un sistema carretero, ya que éstos nos ayudan a salvar grandes desniveles y complicaciones en los terrenos por los que pasa un tramo de carretera. Según el INEGI en un modelado realizado en 2021 a la RNC (Red Nacional de Caminos) y certificado por la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) y el IMT (Instituto Mexicano del Transporte) se tiene la siguiente información:

- ❖ Longitud total de la RNC: 807,121 km
 - 175,526 km de carreteras pavimentadas
 - 102,715 km de carreteras estatales
 - 50,743 km de carreteras federales
 - 22,067 km Otros (municipales, particulares)
 - 10,845 km de carreteras de cuota
 - 80,301 km vialidades urbanas e infraestructura de enlace
 - 529,358 km de caminos no pavimentados
 - 21,936 km de veredas

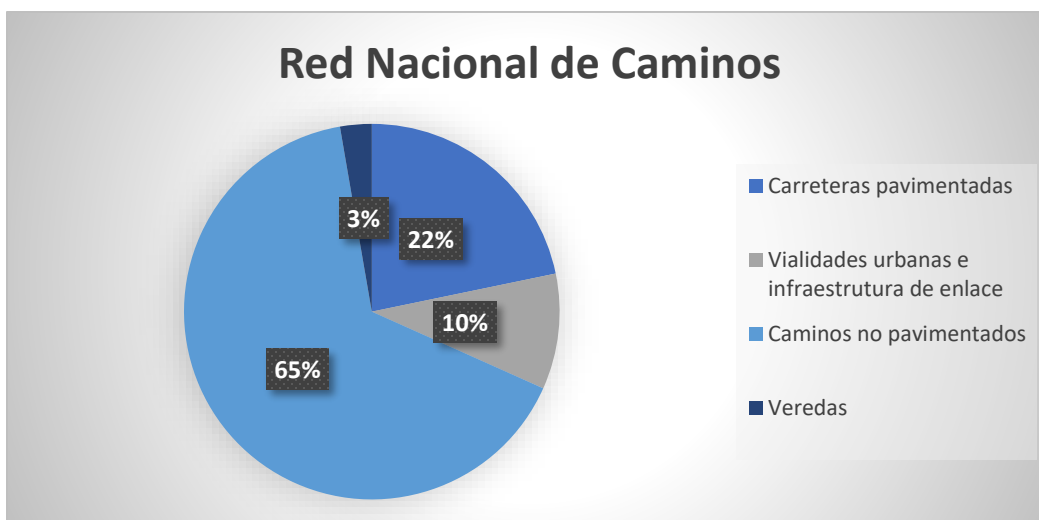


Figura 3.1. Composición de la RNC. Elaboración propia con datos del INEGI (2021).

3.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUENTES EN MÉXICO

Como ya se habló la RNC es un factor muy importante para el progreso y la actividad económica del país, dentro de ésta se encuentran puentes vehiculares que nos ayudan a librar ciertos obstáculos de la topografía presente. Según datos de la SCT (2022) en México tenemos un total de 9,542 puentes. Éstos se dividen por estado de la siguiente manera:

Tabla 3.1. Número de puentes por estado. Tomado de la página de la SCT (2022).

ESTADO	No. DE PUENTES
Aguascalientes	106
Baja california	219
Baja california Sur	171
Campeche	165
Coahuila	350
Colima	113
Chiapas	435
Chihuahua	396
Durango	339
Guanajuato	363
Guerrero	453
Hidalgo	319
Jalisco	390
México	445
Michoacán	558
Morelos	150
Nayarit	143
Nuevo León	432
Oaxaca	559
Puebla	208
Querétaro	155
Quintana Roo	60
San Luis Potosí	440
Sinaloa	319
Sonora	375
Tabasco	268
Tamaulipas	404
Tlaxcala	313
Veracruz	508
Yucatán	68
Zacatecas	318



Figura 3.2. Distribución de los puentes en México. Elaboración propia con información de SCT (2022)

Como se aprecia en la figura anterior podemos ver que la mayor concentración de los puentes es en la zona central del país y en las costas que son de gran importancia para el comercio de México debido a la ubicación de puertos marítimos de gran importancia como lo es el de Lázaro Cárdenas.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES DE MÉXICO

3.3.1 MATERIALES USADOS EN LOS PUENTES.

La mayoría de los puentes mexicanos son elaborados con concreto reforzado. De acuerdo a información de Frías (2013), los puentes de México se componen de la siguiente manera:

- 57% de los puentes mexicanos son de concreto reforzado
- 29% de concreto presforzado
- 7% combinación de acero y concreto.
- 5% de acero
- 1% de tridilosa o armadura tridimensional
- 1% de mampostería

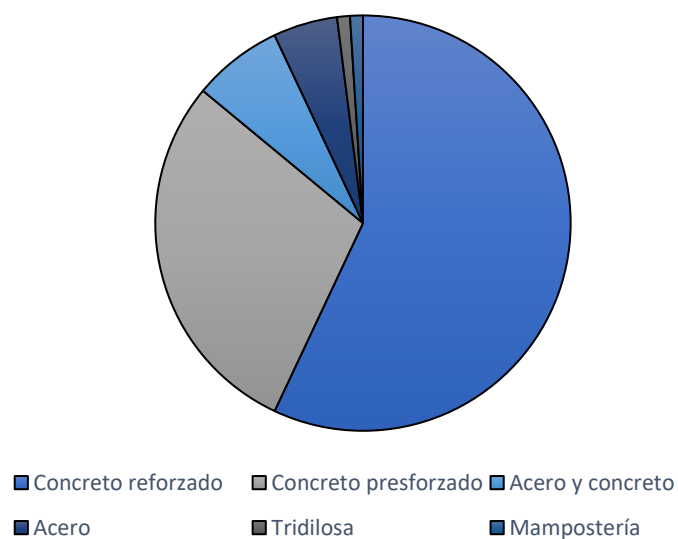


Figura 3.3. Distribución de los tipos de puentes en cuanto a su material en México. (Frías, 2013)

3.3.2 TIPOS DE PUENTES EN MÉXICO

Como ya es de conocimiento en México tenemos una gran cantidad de puentes, sin embargo, todos tienen características distintas en su modelo o la manera en que transmiten sus cargas. Ahora veremos los distintos tipos de puentes que tenemos aquí y ejemplos de los mismos.

Puentes tipo viga. Es una estructura sencilla formada por elementos horizontales que se apoyan sobre pilas. Ésto quiere decir que las fuerzas y cargas son transmitidas a la cimentación en forma de esfuerzos de compresión sobre las columnas o pilas, mientras que las vigas (elementos horizontales son sometidos a flexión).



Figura 3.4. Puente tipo viga en construcción en Salida a Mil Cumbres, Morelia. Autoría propia.

Puentes tipo arco. Éstos usan como principal componente estructural un arco hecho de una o más bisagras ya dependiendo del tipo de carga que deba soportar.



Figura 3.5. Puente arco de tren interurbano México-Toluca. Tomada de https://www.ideam.es/ideam_projects/bridges/puente-arco-tren-interurbano-mexico-toluca/

Puentes de armadura. Como el mismo nombre lo dice el principal sistema estructural de éstos es una armadura. Éstos tienden a ser más económicos para claros más largos ya que los miembros de la estructura trabajan por carga axial sin ningún tipo de flexión.



Figura 3.6. Puente Infiernillo. Tomada de <https://mapio.net/pic/p-92261882/>

Puentes en suspensión. Éstos utilizan cables mediante una suspensión vertical para poder soportar el peso de la cubierta del puente y el tráfico.



Figura 3.7. Puente Baluarte ubicado en la autopista Durango-Mazatlán. Tomada de <https://www.mexicodesconocido.com.mx/puente-baluarte-bicentenario-uno-de-los-mas-altos-del-mundo.html>

3.4 MODELOS A TRABAJAR

Los modelos con los que se hará el cálculo de los costos constan de un sistema de 5 claros apoyados en un sistema tipo marco de cuatro pilas, es decir, son puentes tipo viga. Estos modelos de puentes son los estudiados por el departamento de estructuras de la Facultad de la Ingeniería Civil de UMSNH (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). Las traveses descansan sobre apoyos de neopreno y separados por juntas de expansión.

Trabajaremos con dos claros, de 30 y 50 metros, debido a esto cambia el tipo de trabe por lo que se usan traveses AASHTO tipo IV para los claros de 30 metros y Nebraska Nu 240 para los claros de 50 metros.

3.4.1 NOMENCLATURA DE LOS MODELOS

Se van a trabajar un total de 24 modelos que se conforman por 4 tipos de puentes, con 2 claros distintos y en 3 zonas sísmicas distintas. Por lo que los 24 modelos tendrán una nomenclatura en específico para poder identificarlos de una manera más práctica.

La nomenclatura será la siguiente:

Se usará como inicio la longitud del claro (50 o 30), seguido de la letra “P” y dos dígitos indicando la altura de la pila (05, 10, 15 o 20) y un guion además de un dígito referido a la zona donde se encuentre (1, 2 o 3). Por ejemplo, para el puente de claros de 50 m con pilas de 15 metros de altura y localizado en Tlanepantla (Zona 1), su nomenclatura es 50P15-1.

3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS

Debido a que en este trabajo no enfocaremos en los costos directos y no al diseño, se usará el diseño de los componentes propuesto en el artículo Earthquake source effect and impact of the applied methodology to assess the overstrength factors of RC bridges (Sánchez et al., 2022)

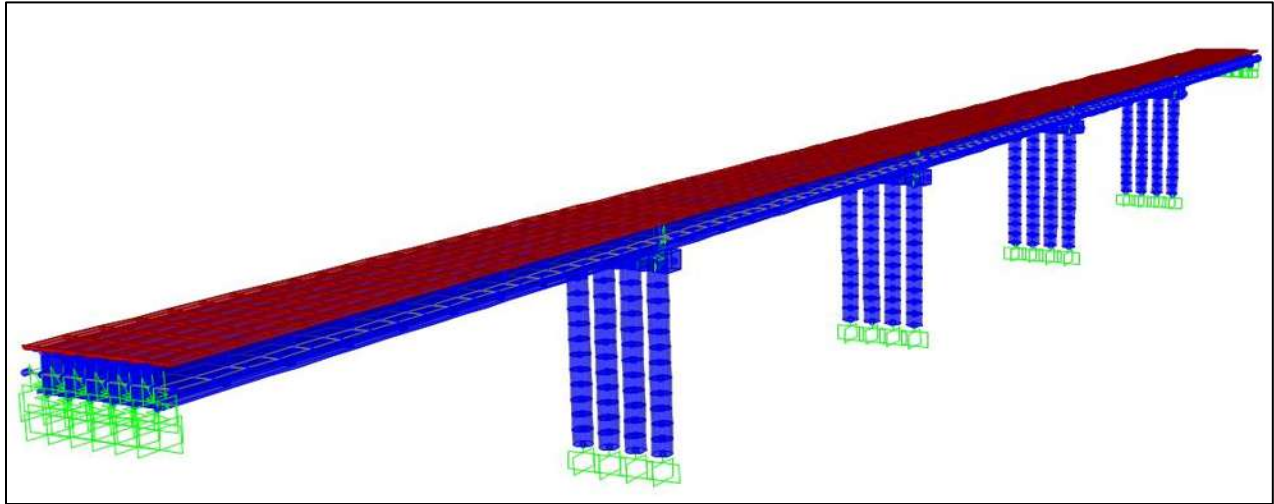


Figura 3.8. Modelo de los puentes a trabajar en SAP2000. Modelos tomados de (Sánchez et al., 2022) Earthquake source effect and impact of the applied methodology to assess the overstrength factors of RC bridges.

Subestructura

La subestructura de los modelos se compone de lo siguiente:

- **Pilas:** Debido a que son sistemas de 4 pilas el diámetro no será demasiado grande. Los detalles del armado y diámetro se especifican en la siguiente tabla para los distintos modelos que tenemos.

Para los claros de 30 metros se obtuvo el siguiente diseño:

Tabla 3.2. Resultados de diseño para las pilas de los puentes de 30 metros de claro.

CLARO DE 30 METROS

SISTEMA DE CUATRO COLUMNAS	Altura pila	Zonas	Diámetro columna	Refuerzo longitudinal	Refuerzo transversal	Nomenclatura de puente
				Num#Var	#Var@(m)	
	5	Tlanepantla	0.9	23#10	#5@0.17	30P05-1
		Apatzingán	1.05	31#10	#5@0.16	30P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.25	47#10	#5@0.14	30P05-3
	10	Tlanepantla	0.95	45#8	#4@0.12	30P10-1
		Apatzingán	1.15	39#10	#5@0.14	30P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	67#10	#5@0.12	30P10-3
	15	Tlanepantla	1.12	56#8	#4@0.10	30P15-1
		Apatzingán	1.25	47#10	#5@0.13	30P15-2
		Lázaro Cárdenas	1.65	82#10	#5@0.11	30P15-3
	20	Tlanepantla	1.28	47#10	#5@0.14	30P20-1
		Apatzingán	1.45	61#10	#5@0.12	30P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.8	94#10	#5@0.10	30P20-3

Para los claros de 50 metros se obtuvo el siguiente diseño:

Tabla 3.3. Resultados de diseño para las pilas de los puentes de 50 metros de claro.

CLARO DE 50 METROS

SISTEMA DE CUATRO COLUMNAS	Altura pila	Zonas	Diámetro columna	Refuerzo longitudinal	Refuerzo transversal	Nomenclatura de puente
				Num#Var	#Var@ (m)	
	5	Tlanepantla	0.95	44#10	#5@0.17	50P05-1
		Apatzingán	1.08	36#10	#5@0.16	50P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.27	49#10	#5@0.14	50P05-3
	10	Tlanepantla	1.03	32#10	#5@0.17	50P10-1
		Apatzingán	1.25	48#10	#5@0.14	50P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.55	71#10	#5@0.11	50P10-3
	15	Tlanepantla	1.20	41#10	#5@0.16	50P15-1
		Apatzingán	1.3	51#10	#5@0.14	50P15-2
		Lázaro Cárdenas	1.75	89#10	#5@0.10	50P15-3
	20	Tlanepantla	1.35	53#10	#5@0.13	50P20-1
		Apatzingán	1.75	87#10	#5@0.12	50P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.85	102#10	#5@0.10	50P20-3

- **Cabezales:** Elemento que ayuda a la descarga del peso de las trabes y vehículos a la pila para mandarlas a la cimentación. Funciona como un elemento viga sobre el cual descansan las trabes longitudinales del puente. El detalle de su armado se presenta en la siguiente tabla:

Para los puentes con claro de 30 metros:

Tabla 3.4. Resultados del diseño para cabezales de puentes con claro de 30 metros.

CLARO DE 30 METROS

SISTEMA DE CUATRO COLUMNAS	Altura pila	Zonas	Dimensiones cabezal (m)		Refuerzo longitudinal	Refuerzo transversal	Nomenclatura de puente
			Alto	Ancho	Num#Var	#Var@(m)	
	5	Tlanepantla	1.5	1.3	10#8 inf 10#8 sup	#6 @ 0.15	30P05-1
		Apatzingán	1.5	1.45	11#8 inf 11#8 sup	#6 @ 0.15	30P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	1.65	13#8 inf 13#8 sup	#6 @ 0.15	30P05-3
	10	Tlanepantla	1.5	1.35	10#8 inf 10#8 sup	#6 @ 0.20	30P10-1
		Apatzingán	1.5	1.55	12#8 inf 12 #8 sup	#6 @ 0.21	30P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	1.9	15#8 inf 15#8 sup	#6 @ 0.21	30P10-3
	15	Tlanepantla	1.5	1.52	12#8 inf 12 #8 sup	#6@0.28	30P15-1
		Apatzingán	1.5	1.65	13#8 inf 13#8 sup	#6@0.23	30P15-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	2.05	16#8 inf 16#8 sup	#6@0.19	30P15-3
	20	Tlanepantla	1.5	1.68	13#8 inf 13#8 sup	#6@0.27	30P20-1
		Apatzingán	1.5	1.85	14#8 inf 14#8 sup	#6@0.22	30P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	2.2	17#8 inf 17#8 sup	#6@0.13	30P20-3

Para los puentes de claro de 50 metros:

Tabla 3.5. Resultados del diseño para cabezales de puentes con claro de 50 metros.

CLARO DE 50 METROS

SISTEMA DE CUATRO COLUMNAS	Altura pila	Zonas	Dimensiones cabezal (m)		Refuerzo longitudinal	Refuerzo transversal	Nomenclatura de puente
			Alto	Ancho	Num#Var	#Var@ (m)	
	5	Tlanepantla	1.5	1.35	10#8 inf 10#8 sup	#6@0.27	50P05-1
		Apatzingán	1.5	1.5	11#8 inf 11#8 sup	#6@0.26	50P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	1.7	13#8 inf 13#8 sup	#6@0.24	50P05-3
	10	Tlanepantla	1.5	1.45	11#8 inf 11#8 sup	#6@0.26	50P10-1
		Apatzingán	1.5	1.65	13#8 inf 13#8 sup	#6@0.24	50P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	1.95	15#8 inf 15#8 sup	#6@0.22	50P10-3
	15	Tlanepantla	1.5	1.6	12#8 inf 12 #8 sup	#6@0.27	50P15-1
		Apatzingán	1.5	1.7	13#8 inf 13#8 sup	#6@0.24	50P15-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	2.15	16#8 inf 16#8 sup	#6@0.22	50P15-3
	20	Tlanepantla	1.5	1.75	13#8 inf 13#8 sup	#6@0.27	50P20-1
		Apatzingán	1.5	2.15	16#8 inf 16#8 sup	#6@0.24	50P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	2.25	17#8 inf 17#8 sup	#6@0.18	50P20-3

- **Vigas diafragma:** Es un elemento que brinda a la superestructura una conectividad importante entre otros elementos estructurales, fungiendo como una mejora para su función en conjunto. Es importante señalar, que las vigas diafragmas proveen la resistencia necesaria a las fuerzas laterales y excéntricas que actúan sobre la estructura.

Para los puentes tipo de este trabajo las dimensiones de las vigas diafragma serán las siguientes:

- Para los puentes con claro de 30 metros se usarán vigas diafragma con sección rectangular de 1.7m x 0.30 m

- Para los puentes con claro de 50 metros se usarán vigas diafragma con sección rectangular de 2.15 m x 0.30 m



Figura 3.9 Vigas diafragma de concreto. Tomada de https://www.researchgate.net/figure/Diafragma-de-arriostramiento-para-vigas-pretensadas-en-viaducto-Bahia-San-Vicente_fig1_329216784

Resultados del diseño de las vigas diafragma para ambos tipos de puente:

Tabla 3.6. Resultados del diseño de vigas diafragma.

VIGAS DIAFRAGMA							
Claro (m)	Altura pila	Zona	Dimensiones vigas diafragma (m)		Refuerzo de vigas diafragma		Nomenclatura de puente
			Alto	Ancho	Longitudinal	Transversal	
30	5	Tlanepantla	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P05-1
		Apatzingán	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P05-3
	10	Tlanepantla	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P10-1
		Apatzingán	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P10-3
	15	Tlanepantla	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P15-1
		Apatzingán	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P15-2
		Lázaro Cárdenas	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P15-3
	20	Tlanepantla	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P20-1
		Apatzingán	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.17	0.3	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	30P20-3
50	5	Tlanepantla	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P05-1
		Apatzingán	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P05-2
		Lázaro Cárdenas	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P05-3
	10	Tlanepantla	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P10-1
		Apatzingán	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P10-2
		Lázaro Cárdenas	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P10-3
	15	Tlanepantla	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P15-1
		Apatzingán	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P15-2
		Lázaro Cárdenas	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P15-3
	20	Tlanepantla	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P20-1
		Apatzingán	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P20-2
		Lázaro Cárdenas	2.15	0.3	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	50P20-3

- **Topes sísmicos:** Parte de los puentes ubicada sobre los cabezales y a los costados de las trabes, su función es evitar los desplazamientos excesivos del tablero en dirección transversal.

El diseño para los toques sísmicos de los modelos a estudiar es el siguiente:

Tabla 3.7. Resultados del diseño de los toques sísmicos.

TOPES SÍSMICOS								
Claro (m)	Altura pila	Zona	Dimensiones (m)			Refuerzo		Nomenclatura de puente
			Peralte	Ancho	Largo	Longitudinal	Transversal	
30	5	Tlanepantla	0.3	0.3	1.30	6 var #4	#6 @ 0.20	30P05-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.45			30P05-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	1.65			30P05-3
	10	Tlanepantla	0.3	0.3	1.35			30P10-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.55			30P10-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	1.90			30P10-3
	15	Tlanepantla	0.3	0.3	1.52			30P15-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.65			30P15-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	2.05			30P15-3
	20	Tlanepantla	0.3	0.3	1.68			30P20-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.85			30P20-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	2.20			30P20-3
50	5	Tlanepantla	0.3	0.3	1.35			50P05-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.50			50P05-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	1.70			50P05-3
	10	Tlanepantla	0.3	0.3	1.45			50P10-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.65			50P10-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	1.95			50P10-3
	15	Tlanepantla	0.3	0.3	1.60			50P15-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.70			50P15-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	2.15			50P15-3
	20	Tlanepantla	0.3	0.3	1.75			50P20-1
		Apatzingán	0.3	0.3	2.15			50P20-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	2.25			50P20-3

- **Apoyos:** Son hechos de neopreno y láminas de acero intercaladas, estos sistemas transmiten las acciones de la superestructura a la subestructura. También amortiguan las vibraciones provocadas por las cargas tanto vivas como muertas.

Los apoyos para utilizar en los modelos propuestos son los siguientes:

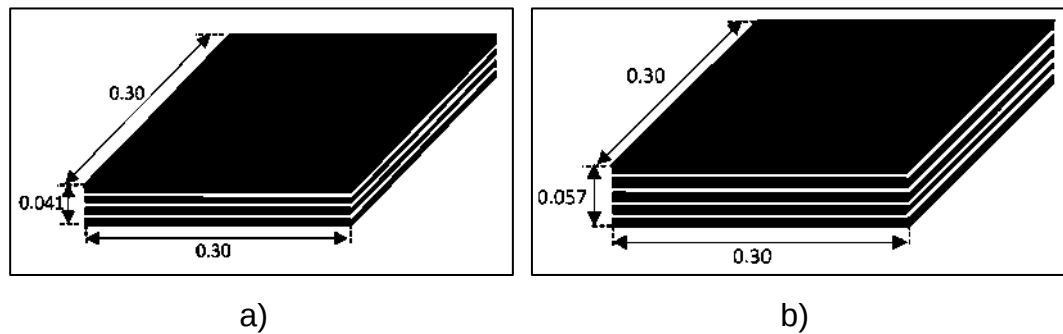


Figura 3.10 Apoyos de neopreno laminados para los puentes con claros de 30 metros. A) apoyo 1 y b) apoyo 2. Información tomada de (Sánchez et al., 2022) Earthquake source effect and impact of the applied methodology to assess the overstrength factors of RC bridges.

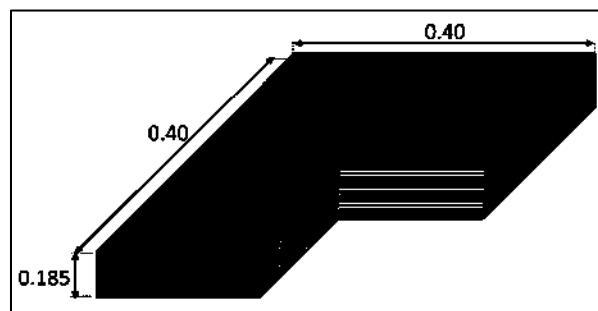


Figura 3.11. Apoyo de neopreno laminado para los puentes con claros de 50 metros. Información tomada de (Sánchez et al., 2022) Earthquake source effect and impact of the applied methodology to assess the overstrength factors of RC bridges.

Superestructura

Es la parte estructural de los puentes que se encarga de sostener y soportar las cargas vehiculares y peatonales que los mismos tengan.

Para este caso la superestructura se conformará de los siguientes componentes, una losa de concreto armado, un sistema de trabes de concreto armado de dos tipos, trabes AASHTO tipo IV para los claros de 30 metros y trabes Nebraska nu 240 para los claros de 50 metros.

- **Losa**

Se trata de un tablero conformado por concreto reforzado sobre el cual se coloca la superficie de rodamiento y es la que recibe directamente las cargas vehiculares para transmitir los esfuerzos a las trabes y a su vez a la subestructura.

Tabla 3.8. Resultado del diseño de la losa para ambos tipos de puentes.

LOSA DE CONCRETO									
Claro (m)	Altura pila	Zona	Dimensiones (m)		Volumen de concreto (m3)	Refuerzo de acero			
			Peralte	Ancho		Longitudinal inferior	Transversal inferior	Longitudinal superior	Transversal superior
30	5	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836	#8 @ 0.15	#5 @ 0.30	#5 @0.20	#5 @ 0.30
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836				
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836				
	10	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836				
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836				
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836				
	15	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836				
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836				
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836				
	20	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836				
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836				
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836				
50	5	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836				
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836				
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836				
	10	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836				
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836				
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836				
	15	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836				
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836				
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836				
	20	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836				
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836				
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836				

- **Trabes:**

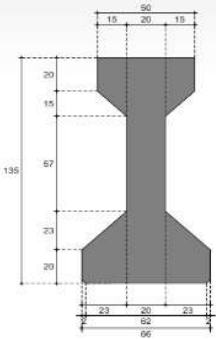
Como se mencionó previamente los elementos horizontales que serán usados en los diseños para soportar las cargas serán trabes prefabricadas de dos tipos, trabes AASHTO tipo IV para los puentes con claros de 30 metros y tipo Nebraska nu 240 para los puentes con claros de 50 metros. A continuación, se muestran los detalles de ambas trabes.

- **Trabe AASHTO IV**

Estas son utilizadas comúnmente para puentes peatonales y pasos a desnivel, son adecuadas para este tipo de proyectos debido a su funcionamiento y que son para proyectos con claros de hasta 30 metros, se puede hacer a la medida que el proyecto necesite y pueden ser pretensadas, postensadas o incluso combinadas.

Para las trabes AASHTO tipo IV se tienen las siguientes características geométricas:

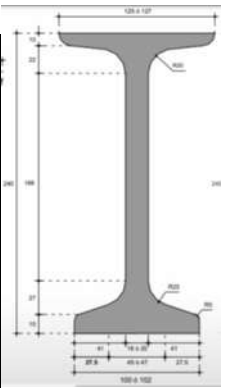
Tabla 3.4. Características geométricas de trabe AASHTO IV. Elaboración propia con información tomada de <https://sepsacv.com.mx/wp-content/uploads/2022/02/CATALOGO-DE-PIEZAS-SEPSA-V-05-27-21.pdf>

TRABE AASHTO IV					
SECCIÓN	Peralte (cm)	Ancho inferior (cm)	Ancho superior (cm)	Claro min. - máx. (m)	Área sección transversal (m ²)
	135	66	50	21-30	0.497

○ **Trabe Nebraska Nu 240**

Este tipo de travesaños son utilizados para puentes vehiculares, su sección se asemeja a una viga I de acero. Los patines de ésta son más anchos que los de una trabe AASHTO. Su peralte varía según el claro y la carga a soportar. El tipo de trabe elegida para este proyecto son las Nebraska Nu 240 para poder librar los claros de 50 metros. Las características geométricas se muestran a continuación.

Tabla 3.5 Características geométricas de trabe Nebraska nu 240. Elaboración propia con información tomada de <https://sepsacv.com.mx/wp-content/uploads/2022/02/CATALOGO-DE-PIEZAS-SEPSA-V-05-27-21.pdf>

TRABE NEBRASKA NU 240						
SECCIÓN	Peralte (cm)	Ancho de base (cm)	Ancho de patín superior (cm)	Alma (cm)	Área sección transversal alma de 18 cm (m ²)	Claro min-max (m)
	240	100	125	18	0.7247	45-50

CAPÍTULO 4: INCREMENTO DE LOS COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DURANTE LOS ÚLTIMOS AÑOS.

4.1 INTRODUCCIÓN

Como sabemos durante los últimos años han ocurrido diversos sucesos alrededor de todo el mundo, desde pandemias por virus hasta conflictos bélicos. Todo este tipo de acontecimientos afectan de manera directa a la economía de todo el mundo ya que influyen en las relaciones de los distintos países, el comercio entre los mismos y que detienen las actividades económicas.

Uno de los sectores que más afectados se han visto es el de la construcción, ya que por diversas circunstancias ya sea aumentando el costo de la mano de obra, costos indirectos como equipo de sanidad que se han instaurado tras la pandemia hasta en el aumento directo en el costo de los insumos necesarios que se necesitan para la construcción.

4.2 EL IMPACTO DE LA CRISIS DE CORONAVIRUS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.

Uno de los principales retos que existen en cuanto a vivienda para Latinoamérica es el difícil acceso a vivienda de calidad y, por lo tanto, la alta tasa de vivienda informal que existe en la región. Un estudio del Banco Interamericano para el Desarrollo estimó que, en América Latina, más de 5 millones de familias dependen de otras familias para poder acceder a una vivienda, más de 3 millones viven en vivienda precarias y por lo menos 34 millones de familias no cuentan con acceso a servicios básicos.

El covid-19 ha demostrado las pobres condiciones en las que se encuentran las viviendas informales en Latinoamérica, tales como el no acceso a instalaciones de

servicio de agua y saneamiento. Ésto a su vez demuestra la amplia inversión que se tiene que hacer en infraestructura de vivienda para atender a las poblaciones más vulnerables.

La desaceleración del sector de la construcción debido al COVID-19 se refleja en una alta tasa de desempleo. El sector de la construcción en América Latina y el Caribe representa una parte significativa de la inversión pública y es una importante fuente de empleo. En promedio, los países de América Latina invierten el 28 % de su gasto total en infraestructura de transporte público, incluidos el transporte por carretera, ferroviario, aéreo y de otro tipo. 19.7% para servicios residenciales y públicos, como redes públicas de agua y electricidad. Según la Organización Internacional del Trabajo, en América Latina y el Caribe, al 2018 el 7.5% de la población económicamente activa incide directamente en el sector de la construcción.

Como también es conocido, la industria de la construcción es un multiplicador de la economía en general, ya que genera múltiples empleos para personas que son vulnerables socioeconómicamente que depende de los ingresos diarios, afectando así a poblaciones que no cuentan con capital de respaldo que les permita mantenerse sin ingresos por tiempo prolongado.

El hecho de permitir que empresas de construcción que se encontraban realizando obra pública quiebren, afecta al hecho de que terminar una obra pública suspendida por la pandemia saliese a un costo mucho mayor al costo del porcentaje faltante, haciendo así que varios gobiernos tuviesen la incapacidad de completar las obras a mediano plazo.

4.3 EFECTO DE LA GUERRA ENTRE UCRANIA Y RUSIA EN LOS COSTOS DE LAS OBRAS.

Como es bien sabido el conflicto bélico que se ha desatado en tierras ucranianas entre los ejércitos de Rusia y Ucrania ha afectado a muchas economías del mundo. Diversos sectores se han visto afectados por lo mismo, uno de los que más han sufrido aumentos es el de la construcción; cuya alza ha llegado hasta el 40%.

La consultora inmobiliaria Lamudi ha reportado que gracias a la invasión en Ucrania diversas materias primas han presentado una depreciación importante que ya ha afectado al resto del mundo. El hecho de que las relaciones comerciales en Europa se han visto comprometidas han hecho que también se vea reflejado en los mercados inmobiliarios y de la construcción en América.

“El incremento de costos constructivos tendrá una relación directa en el aumento de los precios de desarrollos, comercios, oficinas, locales y viviendas que presenten durante el final de su construcción. Es decir, si una vivienda tenía un importe ya establecido durante su inicio, hoy puede que esta suba 25 a 30 por ciento en su precio de venta debido al incremento de los materiales”, mencionó el director de marketing de Lamudi, Daniel Narváez.

Debido a que las materias primas de la construcción han incrementado su costo de fabricación afectan directamente en los costos finales de proyectos de construcción, ya sean desarrollos inmobiliarios u obra pública.

Además de esto, como se sabe hay muchos países que en América latina mantienen relaciones comerciales directas con ambos países en conflicto; según los datos de la Secretaría de Relaciones Exteriores, durante el 2020, Rusia fue el 35vo socio comercial de México.

4.4 AUMENTO DE LOS COSTOS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO.

Como ya se mencionó hay factores que han tenido efecto sobre el costo de los materiales de construcción de forma global, y a su vez en México. Sin embargo, no es que hayan aumentado solamente por esos factores ya que el hecho de que la inflación ha aumentado durante los últimos años ha provocado a su vez un incremento en el costo de muchos de los productos que necesitamos para la construcción. La pandemia y la guerra provocaron un mayor aumento a la tendencia que ya venía teniendo el precio de los insumos de la construcción.

Durante el primer cuarto del 2022 ha habido aumentos históricos de los últimos 14 años en el costo de los insumos básicos necesarios en la construcción, por ejemplo, según cifras del INEGI elementos como castillos armados aumentaron su precio en un 43% su precio; alambre y alambrón en un 35%, y la varilla en un 31%.

A nivel productor en diciembre del 2021 se registró un alza anual promedio de 17.4%.

Los productos que más impacto tuvieron fueron los derivados del acero, como en el caso de las láminas que tuvieron un aumento de hasta el 58%.

Estos aumentos se deben al alza en los precios internacionales en las materias primas industriales derivados del encarecimiento de los energéticos y la escasez de insumos por los problemas en las cadenas globales de suministro.

Además de que también materiales como el triplay, madera para estructuras, tubería de plástico, cable eléctrico, pinturas, vidrios y cemento aumentaron más de un 30% su costo, a excepción de los últimos tres que subieron un 20%, 17% y 7% respectivamente.

El presidente de la CMIC (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción) hizo énfasis al iniciar el 2022 en que hubo productos que ya estaban presentando un alza en su costo de una manera considerable, tal es el caso de las cementeras del

país que empezaron a subir su costo de entre un 15% hasta un 20% de su precio. También hizo mención de que en el sector de la construcción la inflación se encuentra 10 puntos por encima de la inflación general del país y, por tanto, encareciendo cada vez más y más la construcción tanto privada como pública.



Figura 4.1 Variaciones anuales de los costos de materiales de construcción (Tomada de: <https://www.cmic.org/sube-hasta-49-material-de-obra/>)

Diversos insumos han incrementado su precio de una manera drástico en los primeros meses del año 2022.

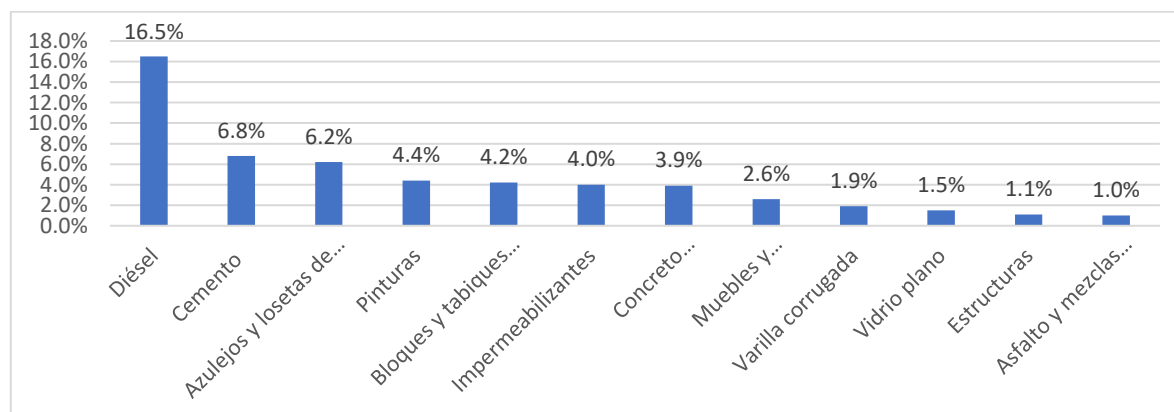


Figura 4.2 Insumos con mayor incremento en el mes de Febrero 2022. Elaboración propia con información del INEGI (2022).

CAPÍTULO 5: SISMICIDAD EN MÉXICO

5.1 INTRODUCCIÓN

Como ya es de conocimiento común, México es uno de los países que más sismicidad tiene. Es un tema prioritario que se debe de tener en cuenta para la construcción en el país, ya que en la mayor parte del territorio nacional se tienen registros de sismos de intensidad fuerte que han afectado de forma grave a la infraestructura del centro y costas del país, teniendo así grandes pérdidas económicas y humanas. Ahí radica la importancia de conocer la sismicidad de cada zona de la República Mexicana. Los puentes, al ser un elemento muy importante dentro de la infraestructura carretera y el hecho de que éstos se derrumben significa rezago económico, debido a que afecta de manera importante a los tiempos de traslado de las personas y/o productos hacia sus destinos.

Todo esto se debe a la ubicación en la que se encuentra México en el planeta, ya que en la costa del océano pacífico convergen 5 placas tectónicas: Caribe, Pacífico, Norteamérica, Rivera y Cocos. Además de que las últimas dos, tienen un efecto de subducción con la placa de Norteamérica, es decir, sumergiéndose por debajo de los estados de Colima, Jalisco y Michoacán generando así distintos movimientos telúricos por el roce entre las placas.



Figura 5.1 Placas tectónicas en México. Tomada de <https://elcomercio.pe/mundo/desastres/mexico-5-placas-tectonicas-dejan-moverse-noticia-459746-noticia/>

5.2 ZONAS SÍSMICAS EN MÉXICO

Debido a la importancia mencionada acerca del diseño antisísmico de estructuras, México se dividió en cuatro regiones sísmicas, a raíz de los registros de los sismos del país desde inicios del siglo.

- Zona A: Es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado movimientos telúricos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
- Zonas B y C: Son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

- Zona D: Es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.



Figura 5.2 Regionalización sísmica de México. Tomada de <https://hoffman-latam.com/blog/regiones-sismicas-en-mexico/>

El país también se puede dividir por regiones sísmicas, penisísmicas y asísmicas.

Las zonas sísmicas se encuentran en el sur y suroeste de la república, incluyendo Edo. de México, Colima, Michoacán, Guerrero, Morelos, Oaxaca, sur de Veracruz, Chiapas, Jalisco, Puebla y Ciudad de México.

La zona penisísmica incluye la Sierra Madre Occidental, las llanuras de Sonora, Sinaloa, Nayarit y la sección de Durango, al sur del centro de Veracruz.

Las zonas asísmicas se encuentran en casi todas partes en el norte y noreste de la República Mexicana, California y la Península de Yucatán.

Zonas de alto riesgo en México: Las zonas sísmicas más grandes en la costa oeste del país se concentran a lo largo de los bordes de varias placas llamadas trincheras de contacto. Según la SAS, el término "rango sísmico" se ha utilizado para describir un área geográfica que no ha experimentado un sismo mayor a 7 en la escala de Richter durante mucho tiempo (más de 50 años) para determinar la Brecha de Guerrero. (alrededor de 100 años) de almacenamiento de energía elástica), el puerto de Jalisco (alrededor de 70 años) y el puerto de Chiapas (más de 300 años) son las zonas más vulnerables del país.

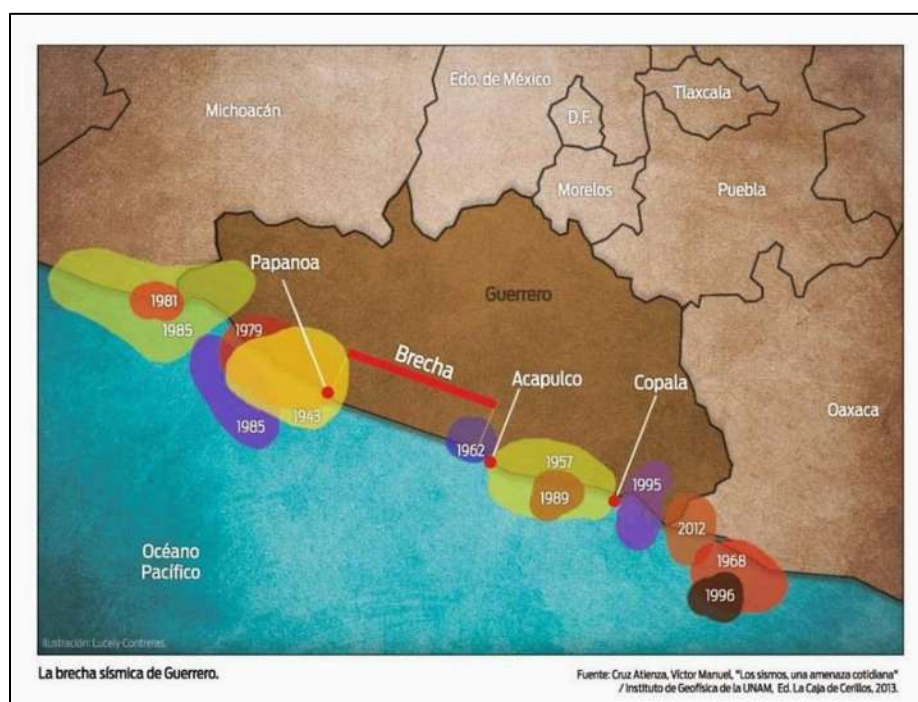


Figura 5.3 Brecha de Guerrero. Tomada de <https://www.xataka.com.mx/investigacion/que-es-la-brecha-de-guerrero-y-por-que-nos-deberia-preocupar-despues-del-sismo-de-8-2-grados-en-mexico>

Se utilizan sismógrafos y acelerómetros para estudiar la frecuencia de los terremotos en el área, y aunque los estudios están en curso, es posible que un gran terremoto cerca de la costa de Guerrero pueda liberar la energía almacenada. Por supuesto, nunca se sabe exactamente cuándo la grandeza estará en todas partes y en cualquier momento. Se sabe que existe una brecha muy grande que va desde la parte sureste de Petatlán casi hasta Pinotepa Nacional. Si esta zona colapsa en el movimiento del telurio, podría ser superior a 8 en la escala de Richter. Energía.

“Actualmente, no hay manera de decir cuál de las dos últimas posibilidades podría ocurrir” (Departamento de Geofísica UNAM, Dr. Shri Krishna Singh). Tenga en cuenta que la influencia de 1907-1911 fue inferior a 7,9.

5.3 SISMOS CATASTRÓFICOS EN LA HISTORIA DE MÉXICO

A lo largo de la historia de nuestro país han ocurrido diversos movimientos telúricos de tales magnitudes que han quedado marcados y han hecho que se cambie la manera en la que se construyen y desarrollan las urbanizaciones. Entre todos los que han ocurrido hay unos pocos que sobresalen del resto ya sea por su fuerza o por los desastres que dejaron; a continuación, se muestran los más catastróficos:

- 28 de marzo de 1787 (8.6): Este terremoto se originó dos años antes del estallido de la revolución francesa. El epicentro tuvo lugar en las costas de Oaxaca. También se le conoce como ‘El gran tsunami mexicano’ el cual afectó a toda la costa oaxaqueña inundando hasta 6 km tierra adentro. Por fortuna no se tienen registros de grandes pérdidas humanas debido a la poca concentración de población en esos lugares.



Figura 5.4 Representación gráfica de los daños por el sismo de 1787. Tomada de <https://www.nssoaxaca.com/2019/09/19/el-sismo-mas-fuerte-que-ha-tenido-mexico-ocurrio-en-oaxaca-en-1787/>

- 7 de septiembre de 2017 (8.2): Tuvo lugar en el golfo de Tehuantepec frente a costas chiapanecas. Sus daños fueron demasiado elevados ya que dañó gran cantidad de viviendas en Oaxaca y Chiapas, se estima que la cantidad de viviendas dañadas ascendieron a más de 100,000. En cuanto a pérdidas humanas se tiene registrado que llegaron a fallecer cerca de 100 personas debido a los derrumbes de muchas viviendas.



Figura 5.5 Escombros tras el sismo del 7 de septiembre de 2017. Tomada de <https://noticieros.televisa.com/historia/sismo-7-de-septiembre-de-2017-oaxaca-mexico-danos/>

- 19 de septiembre de 1985 (8.1): Quizá el más recordado por el nivel de daños y pérdidas humanas que generó. El epicentro fue en las costas de Michoacán; debido a las condiciones del suelo de la Ciudad de México, ésta se vio muy afectada ya que las arcillas del valle de México amplificaron las ondas sísmicas haciendo que la sensación sísmica fuese severa. No existen cifras exactas acerca de las personas fallecidas ya que se presentan distintos números, pero un aproximado es de 5,000 personas fallecidas, 50,000 heridos, 250,000 personas que se quedaron sin hogar y más de 770 edificios colapsados o severamente dañados. Afectó demasiado a la economía mexicana ya que las pérdidas representaron el 2.1% del Producto Interno Bruto nacional sumando pérdidas económicas de 4,103.5 millones de dólares que actualmente serían 9,268.5 millones de dólares y el 9.9% de la Ciudad de México; todo según estimaciones de la CEPAL (Comisión Económica para América Latina).



Figura 5.6 Edificio colapsado durante el sismo de 1985. Tomada de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150917_mexico_sismo_antes_despues_fotos_an

- 19 de septiembre de 2017 (7.1): Su epicentro tuvo lugar en el estado de Puebla. Este sismo es de los más recientes que han tenido una gran afectación económica ya que exhibió los bajos estándares con los que muchas veces se construía en la capital del país; fue uno de los sismos más mortales para México ya que cobró la vida de 370 personas y dejó a más de 7 mil heridos. 57 edificios fueron derribados debido al movimiento y

numerosos inmuebles resultaron gravemente dañados. Tras este sismo se tuvieron que hacer modificaciones en parámetros del reglamento de construcción, a partir de ahí se usa la nueva versión de las NTC (Normas técnicas complementarias) 2017. Además del impacto debido al cese e las actividades económicas, los daños por infraestructura se estiman en 29,000 millones de pesos para los sismos ocurridos durante el mes de septiembre de aquel año, todo de acuerdo a información del Laboratorio de Análisis en Comercio, Economía y Negocios (Lacen) de la UNAM.



Figura 5.7 Levantamiento de escombros por civiles tras el sismo del 19 de septiembre del 2017.
Tomada de <https://www.forbes.com.mx/sismo-devastador-de-septiembre-de-2017/>

5.4 ANTECEDENTES DE DERRUMBE DE PUENTES A CAUSA DE SISMOS EN MÉXICO

Los derrumbes de puentes además de la potencial pérdida de vidas humanas, también representan un gran rezago económico ya que dejan incomunicadas a distintas comunidades que tienen comercio entre las mismas, haciendo que muchas empresas tengan pérdidas por la falta de comunicación entre poblaciones. He ahí la importancia de que los mismos sean diseñados y contruidos de manera correcta y dentro de lo que la normativa vigente marque. A continuación, se mencionarán

algunos ejemplos de puentes tanto vehiculares como peatonales que costaron una pérdida ya sea económica o humana:

- Puente colapsado en la autopista del Sol tras el sismo del 19 de septiembre del 2017.

Tras el sismo de 7.1 que tuvo epicentro en Puebla un puente vehicular ubicado en el kilómetro 109+000 de la carretera Cuernavaca-Acapulco se colapsó.

La CAPUFE (Caminos y Puentes Federales) reportó que no hubo lesionados. No se pueden obtener los resultados del peritaje realizado por la autoridad en cuestión debido a que no hay publicación acerca de ello, solamente la mención del peritaje que en su momento se iba a realizar.



Figura 5.8 Puente derrumbado en carretera Cuernavaca-Acapulco tras sismo del 19/09/2017. Tomada de <https://www.razon.com.mx/mexico/tras-sismo-7-1-colapsa-puente-vehicular-en-la-mexico-acapulco/>

- Colapsa puente vehicular en Oaxaca tras sismo del 7 de septiembre de 2017. Durante el sismo de la mañana del 7/09/2017 y las dos réplicas consecuentes terminaron de colapsar edificios y estructuras, entre ellas un puente vehicular que comunica a Juchitán con Asunción Ixtaltepec.

No se tienen datos acerca de la pérdida económica causada por la caída del puente.



Figura 5.9 Puente que conecta Juchitán con

Asunción Ixtaltepec colapsado tras sismos de septiembre del 2017. Tomada de <https://www.entreveredas.com.mx/2017/09/cae-puente-en-el-istmo-tras-sismo-en.html?m=1>

- Caen puentes peatonales dentro del Tecnológico de Monterrey campus Ciudad de México después de sismo del 19 de septiembre de 2017. Dentro de las numerosas estructuras dañadas por el sismo de 2017 se encuentran unos puentes peatonales que conectaban edificios dentro del campus de CDMX del Tecnológico de Monterrey causando la muerte de 5 personas. Tras un peritaje realizado por el despacho de análisis estructural García Jarque Ingenieros se concluyó que la principal causa de caída de los puentes se debe a que los apoyos de los mismos tenían dimensiones pequeñas (15 centímetros) que resultaron ser escasas para los movimientos que el sismo generó.



Figura 5.10 Puentes del Tecnológico de Monterrey CCM colapsados después de sismo del 19 de septiembre de 2017. Tomada de <https://aristeginoticias.com/2710/kiosko/puentes-mal-construidos-cause-del-colapso-en-el-tec-de-monterrey-y-de-la-muerte-de-5-jovenes-video/>

5.6 PUENTES EN ZONAS SÍSMICAS DE MÉXICO

México es un país productor de muchas materias primas, verduras y frutas muy importante para todo el mundo destacando las grandes exportaciones e importaciones que se hacen año con año en el país, es por ello que las vías terrestres son muy importantes para las actividades económicas del país y combinado con que la topografía del territorio nacional es muy irregular hace de los puentes un elemento esencial en la red de caminos nacional. Por estas razones además de la sismicidad que se tiene en la región es necesario ofrecer proyectos que cumplan con los estándares de seguridad y que además se hagan de una manera óptima, invirtiendo la cantidad necesaria para la obra sin tener que sacrificar el aspecto de seguridad de los mismos. En el siguiente mapa se pueden observar los puentes vehiculares con los que se cuenta en el país y cómo se distribuyen en las zonas sísmicas vistas anteriormente.

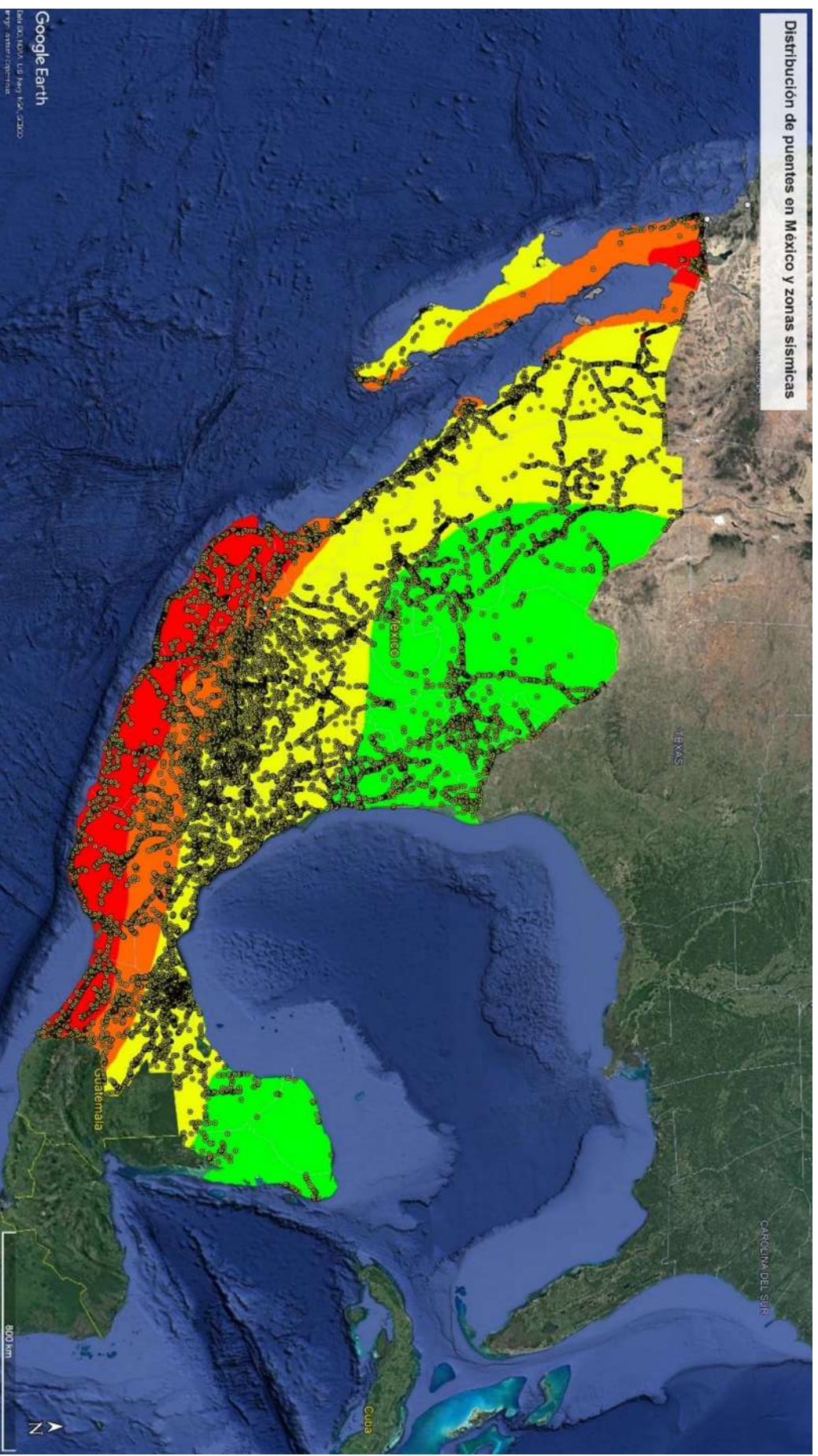


Figura 5.11 Mapa de los puentes vehiculares y su localización con respecto a las zonas sísmicas de México. Elaboración propia con información de INEGI y de la Red Nacional de Caminos (2022).

Como conclusión del anterior mapa se puede observar que en el país tenemos gran cantidad de puentes vehiculares y gran porcentaje de los mismos se ubican en las zonas con mayor actividad sísmica como la costa sur del país, la mayor concentración de ellos se localiza en el centro del país ya que es de las zonas económicas más importantes para nuestra economía que son zonas de sismicidad intermedia-alta e incluso en la Ciudad de México donde por condiciones del suelo existe una gran vulnerabilidad sísmica.

5.6 UBICACIÓN DE LAS ZONAS SÍSMICAS A TRABAJAR

El cálculo de los costos será en función de la zona sísmica donde se encuentren los puentes. Es por ello que tendremos 3 distintas locaciones con distinta sismicidad una de otra, las cuales son Lázaro Cárdenas (Alta sismicidad), Apatzingán (Media sismicidad) y Tlanepantla (Baja sismicidad).

Las dos primeras ubicadas en el estado de Michoacán y la última en Puebla. Lázaro Cárdenas al ser una ciudad costera es muy vulnerable a la actividad sísmica ya que incluso los epicentros de muchos sismos importantes en nuestra historia que han ocurrido en costas michoacanas o cerca de ellas como en Guerrero.

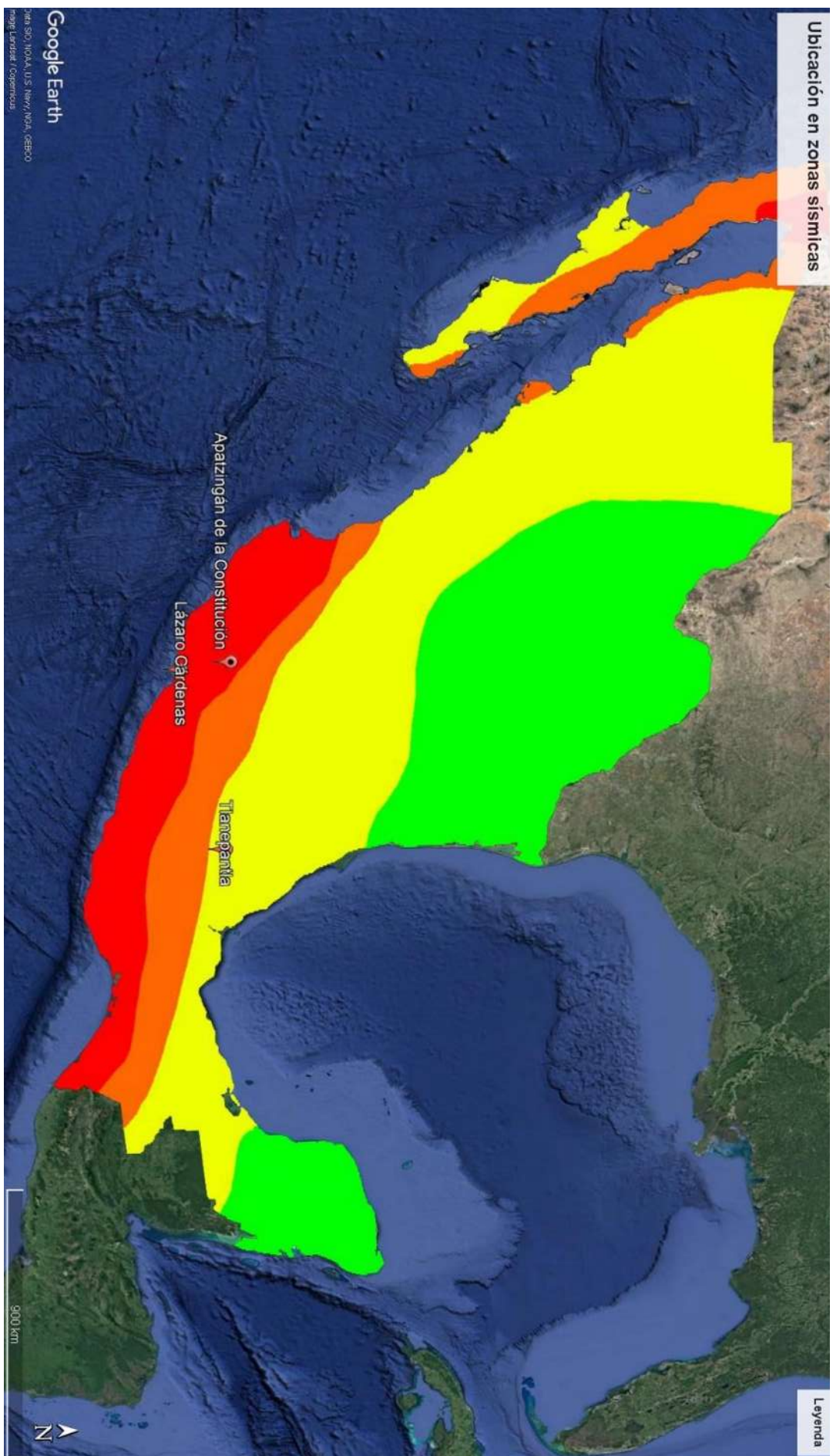


Figura 5.12 Ubicación de las zonas de estudio con respecto a las zonas sísmicas de México.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 INTRODUCCIÓN

Hacer un análisis de costos de una manera eficiente hace que haya pocos sobrecostos por imprevistos. Además de que al presentar una obra para concurso un aspecto importante a la hora de seleccionar un ganador es el costo de la misma, que sea lo más económico y eficiente posible.

En este trabajo se obtuvieron distintos costos para las materias primas, algunos con cierta dificultad debido a que la mayoría de empresas encargadas de proveer sus servicios necesitan información precisa de un proyecto a ejecutar, además de un número de licitación para proveer un costo preciso.

Con el propósito de mostrar la diferencia entre los costos de construcción por zona sísmica, se decidió tomar el mismo precio para los insumos necesarios debido a que si se tomaban en cuenta los costos en cada zona podría apreciarse una diferencia menor o mayor por la paridad de los costos que se presentan en la zona económica donde se ubica cada ciudad en la que se está cotizando.

6.2 CÁLCULO DE LAS CANTIDADES DE OBRA

Para poder llevar al cabo el análisis de precios unitarios es necesario fraccionar las partes del puente en distintos conceptos que compongan toda la obra. Seguido de ésto en cada uno de los conceptos se describen las distintas actividades que son necesarias para realizar la obra indicando las cantidades por unidad de medida de cada componente.

- **Columnas**

Para el cálculo de las cantidades de las columnas se decidió hacerlo por mL (Metro lineal) con la finalidad de multiplicarlo por la cantidad de metros de columna totales en cada uno de los puentes.

❖ **Cálculo de la cantidad del concreto:**

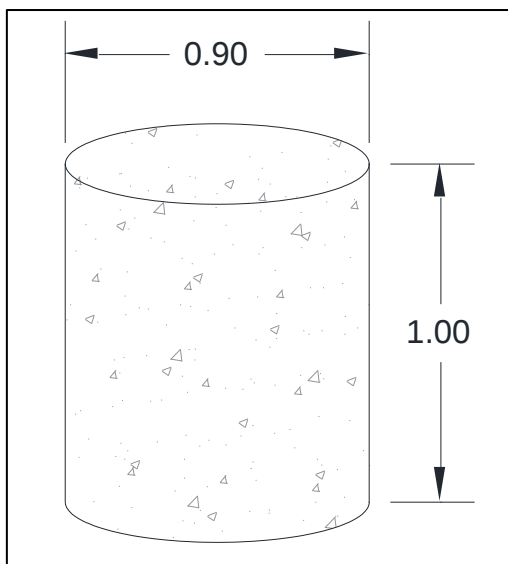


Figura 6.1. Dimensiones de columna para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.

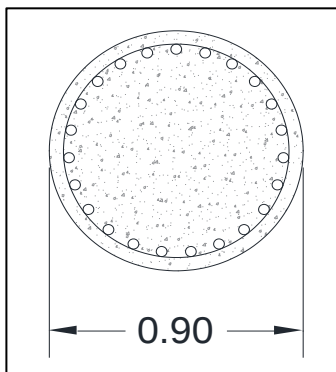
Volumen de concreto para un metro lineal de columna:

$$\text{Área} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.90\text{m})^2}{4} = 0.6362 \text{ m}^2$$

$$V = 0.6362\text{m}^2 * 1\text{m} * 1.03 = 0.6553\text{m}^3 * \text{mL}$$

El 1.03 por el que se multiplica es el factor de desperdicio que se toma en cuenta, para este caso usamos un 3% extra al valor calculado.

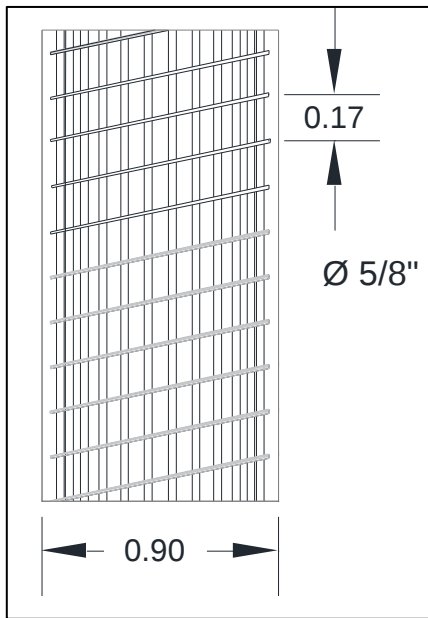
❖ **Cálculo de la cantidad de acero:**



Armado longitudinal: 23 #10

El peso por metro de la varilla del No. 10 es de 6.225 kg, se añadirá un 10% como desperdicio del mismo, por lo tanto:

Figura 6.2. Detalle de armado de columna para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.



Cantidad de acero longitudinal:

$$23 \times 1m \times 6.225kg \times 1.10 = 157.49 \text{ kg}$$

Armado transversal: #5 @ 0.17m

Peso varilla del #5: 1.56 kg por metro.

Cantidad de acero transversal:

Total de estribos = $1m / 0.17m \cong 6$ +1 estribo de inicio redondeamos a 7

Longitud de varilla para una vuelta completa:

$$= \pi * (D - 2 * \text{recubrimiento})$$

$$= \pi * (0.9 - (2 * 0.05)) = 2.513 \text{ m}$$

Figura 6.3. Detalle de acero helicoidal de columna para el puente 30P05-1.
Acotaciones en metros.

Longitud total de varilla helicoidal:

$$7 * 2.513m = 17.59m$$

Peso total de refuerzo transversal:

$$17.59m * 1.56kg * 1.10 = 30.18 \text{ kg}$$

❖ Cálculo de alambre recocido:

$$3\% * (30.18kg + 157.49kg) = 5.63 \text{ kg}$$

Este proceso fue replicado las veces necesarias para tener las cantidades de obra necesarias de los 24 puentes. El resumen de las cantidades se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6.1. Cantidades de concreto y acero para un metro lineal de columna.

COLUMNAS (mL)								
Claro (m)	Altura pila	Zona	Diámetro pila (m)	Volumen de concreto		Refuerzo de columna		Nomenclatura de puente
				Columna (m³/m)	Longitudinal	Transversal	Cantidad de acero pilas (kg/mL de columna)	
30	5	Tlanepantla	0.9	0.6553	23#10	#5@0.17	157.49	30P05-1
		Apatzingán	1.05	0.8919	31#10	#5@0.16	212.27	30P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.25	1.2640	47#10	#5@0.14	321.83	30P05-3
		Tlanepantla	0.95	0.7301	45#8	#4@0.12	196.76	30P10-1
		Apatzingán	1.15	1.0699	39#10	#5@0.14	267.05	30P10-2
	10	Lázaro Cárdenas	1.5	1.8202	67#10	#5@0.12	458.78	30P10-3
		Tlanepantla	1.12	1.0148	56#8	#4@0.10	244.86	30P15-1
		Apatzingán	1.25	1.2640	47#10	#5@0.13	321.83	30P15-2
		Lázaro Cárdenas	1.65	2.2024	82#10	#5@0.11	561.50	30P15-3
		Tlanepantla	1.28	1.3254	47#10	#5@0.14	321.83	30P20-1
20	20	Apatzingán	1.45	1.7008	61#10	#5@0.12	417.70	30P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.8	2.6210	94#10	#5@0.10	643.67	30P20-3
		Tlanepantla	0.95	0.7301	27 #10	#5@0.17	184.88	50P05-1
		Apatzingán	1.08	0.9436	36 #10	#5@0.16	246.51	50P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.27	1.3048	49 #10	#5@0.14	335.53	50P05-3
	5	Tlanepantla	1.03	0.8582	32 #10	#5@0.17	219.12	50P10-1
		Apatzingán	1.25	1.2640	48 #10	#5@0.14	328.68	50P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.55	1.9435	71 #10	#5@0.11	486.17	50P10-3
		Tlanepantla	1.2	1.1649	41 #10	#5@0.16	280.75	50P15-1
		Apatzingán	1.3	1.3671	51 #10	#5@0.14	349.22	50P15-2
50	15	Lázaro Cárdenas	1.75	2.4774	89 #10	#5@0.10	609.43	50P15-3
		Tlanepantla	1.35	1.4743	53#10	#5@0.13	362.92	50P20-1
		Apatzingán	1.75	2.4774	87#10	#5@0.12	595.73	50P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.85	2.7687	102 #10	#5@0.10	698.45	50P20-3
	20	Tlanepantla	1.03	0.8582	32 #10	#5@0.17	219.12	50P10-1
		Apatzingán	1.25	1.2640	48 #10	#5@0.14	328.68	50P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.55	1.9435	71 #10	#5@0.11	486.17	50P10-3
		Tlanepantla	1.2	1.1649	41 #10	#5@0.16	280.75	50P15-1
		Apatzingán	1.3	1.3671	51 #10	#5@0.14	349.22	50P15-2

- **Cabezales**

En el cálculo de las cantidades para el cabezal se tomó la decisión de calcularlas por cabezal, es decir, la pieza completa de un cabezal sin tener en cuenta los topes sísmicos. Esto debido a la facilidad de solo tener que multiplicarlo por los 4 cabezales de cada puente.

❖ **Cálculo de cantidad de concreto**

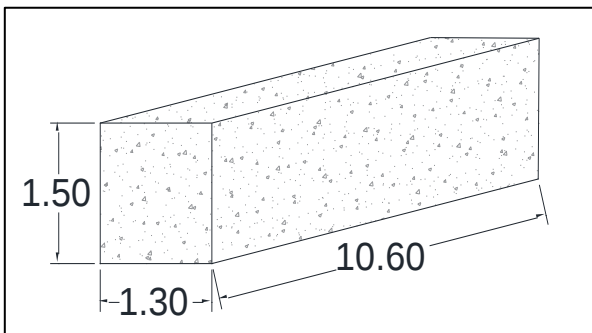


Figura 6.4. Dimensiones del cabezal para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.

Al ser una pieza con forma rectangular necesitamos saber su volumen total:

$$V = 1.5m * 1.3m * 10.60m = 20.67m^3$$

Agregándole el 3% de desperdicio:

$$V = 20.67m^3 * 1.03 = 21.29m^3$$

❖ **Cálculo de la cantidad de acero:**

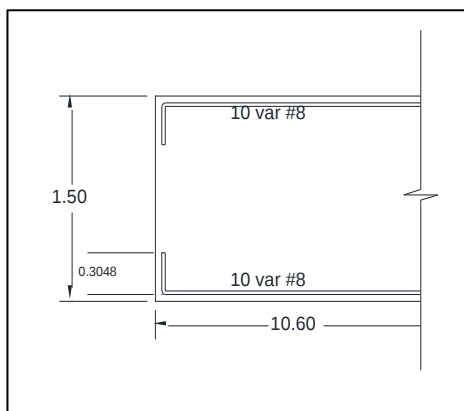


Figura 6.5. Detalle de armado longitudinal. del cabezal para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.

Refuerzo longitudinal: 10 #8 inferior y superior.

Longitud de ganchos: 12db (diámetro varilla)

Cantidad de acero longitudinal:

$$11.11m * 3.975 \frac{kg}{m} * 2 = 883.25kg$$

Multiplicando por el desperdicio:

$$883.25kg * 1.10 = 971.57kg$$

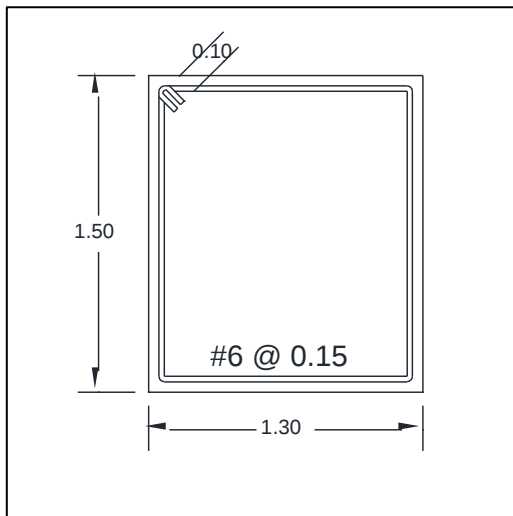


Figura 6.6. Detalle de armado transversal del cabezal para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.

Refuerzo transversal: #6 @0.15m

Longitud de ganchos: 5 veces el diámetro del estribo

Longitud del estribo:

$$2(1.3) + 2(1.5) + 2(5(0.019)) = 5.79m$$

$$Cant. de estribos = \frac{10.60}{0.15} = 71 + 1 de inicio = 72 estribos$$

Peso de refuerzo transversal:

$$72 estribos * 5.79m * 2.235kg = 931.73kg = 931.73kg * 1.10 = 1,024.90kg$$

❖ **Cantidad de alambre recocido:**

$$3\%(1,024.90kg + 971.57kg) = 59.89 kg$$

A continuación, se muestran en la tabla los resultados de las cantidades para los cabezales.

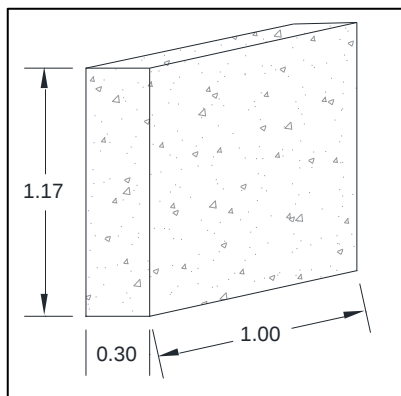
Tabla 6.2. Cantidades de concreto y acero para cada cabezal.

CABEZALES (Pza)										
Claro (m)	Altura pila	Zona	Dimensiones cabezal (m)		Volumen de concreto (m³)	Refuerzo de cabezal		Cantidad de acero cabezal (kg)		Nomenclatura de puente
			Alto	Ancho		Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	
30	5	Tlanepantla	1.5	1.3	21.29	10#8 inf 10#8 sup	#6 @ 0.15	971.57	1024.90	30P05-1
		Apatzingán	1.5	1.45	23.75	11#8 inf 11#8 sup	#6 @ 0.15	1068.73	1044.37	30P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	1.65	27.02	13#8 inf 13#8 sup	#6 @ 0.15	1263.04	1115.18	30P05-3
		Tlanepantla	1.5	1.35	22.11	10#8 inf 10#8 sup	#6 @ 0.20	971.57	756.73	30P10-1
	10	Apatzingán	1.5	1.55	25.38	12#8 inf 12 #8 sup	#6 @ 0.21	1165.88	779.84	30P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	1.9	31.12	15#8 inf 15#8 sup	#6 @ 0.21	1457.35	869.33	30P10-3
		Tlanepantla	1.5	1.52	24.89	12#8 inf 12 #8 sup	#6 @ 0.28	1165.88	579.12	30P15-1
		Apatzingán	1.5	1.65	27.02	13#8 inf 13#8 sup	#6 @ 0.23	1263.04	743.45	30P15-2
	15	Lázaro Cárdenas	1.5	2.05	33.57	16#8 inf 16#8 sup	#6 @ 0.19	1554.51	994.95	30P15-3
		Tlanepantla	1.5	1.68	27.51	13#8 inf 13#8 sup	#6 @ 0.27	1263.04	641.08	30P20-1
		Apatzingán	1.5	1.85	30.30	14#8 inf 14#8 sup	#6 @ 0.22	1360.20	823.60	30P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	2.2	36.03	17#8 inf 17#8 sup	#6 @ 0.13	1651.67	1510.01	30P20-3
50	5	Tlanepantla	1.5	1.35	22.11	10#8 inf 10#8 sup	#6 @ 0.27	971.57	574.55	50P05-1
		Apatzingán	1.5	1.5	24.57	11#8 inf 11#8 sup	#6 @ 0.26	1068.73	619.54	50P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	1.7	27.84	13#8 inf 13#8 sup	#6 @ 0.24	1263.04	723.78	50P05-3
		Tlanepantla	1.5	1.45	23.75	11#8 inf 11#8 sup	#6 @ 0.26	1068.73	609.22	50P10-1
	10	Apatzingán	1.5	1.65	27.02	13#8 inf 13#8 sup	#6 @ 0.24	1263.04	712.47	50P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	1.95	31.94	15#8 inf 15#8 sup	#6 @ 0.22	1457.35	848.18	50P10-3
		Tlanepantla	1.5	1.6	26.20	12#8 inf 12 #8 sup	#6 @ 0.27	1165.88	624.95	50P15-1
		Apatzingán	1.5	1.7	27.84	13#8 inf 13#8 sup	#6 @ 0.24	1263.04	723.78	50P15-2
	15	Lázaro Cárdenas	1.5	2.15	35.21	16#8 inf 16#8 sup	#6 @ 0.22	1554.51	897.35	50P15-3
		Tlanepantla	1.5	1.75	28.66	13#8 inf 13#8 sup	#6 @ 0.27	1263.04	655.19	50P20-1
		Apatzingán	1.5	2.15	35.21	16#8 inf 16#8 sup	#6 @ 0.24	1554.51	825.56	50P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.5	2.25	36.85	17#8 inf 17#8 sup	#6 @ 0.18	1651.67	1106.33	50P20-3

- **Vigas diafragma**

En este caso tenemos dos tipos de vigas, una para cada tipo de claro (30 o 50 metros). Por conveniencia se tomó la decisión de que las cantidades fuesen calculadas para un metro lineal de viga.

❖ **Cálculo de la cantidad de concreto:**

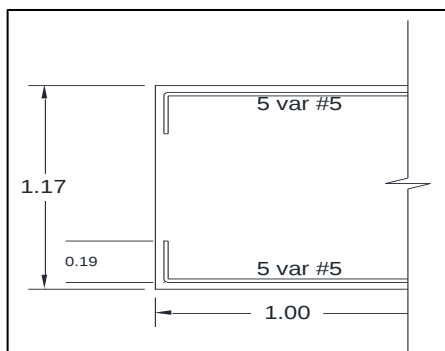


Para calcular el volumen del concreto incluyendo el desperdicio:

$$V = 1.17m * 0.30m * 1.00m * 1.03 = 0.3615 m^3$$

Figura 6.7. Dimensiones de viga diafragma para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.

❖ **Cálculo de la cantidad de acero**

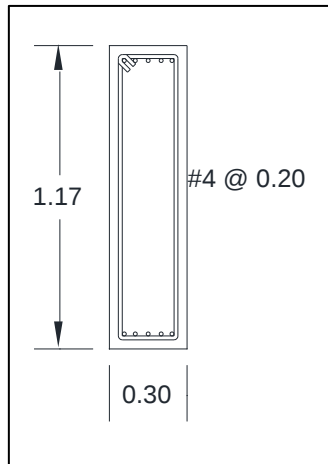


Acero longitudinal: 5 varillas #5 inferior y superior.

Cantidad de acero longitudinal incluyendo el desperdicio:

$$2 * 1.1908m * 5 * 1.56kg * 1.1 = 20.434 kg$$

Figura 6.8. Detalle de acero longitudinal de viga diafragma para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.



Acero transversal: Varillas del #4 a cada 20 centímetros.

Cantidad de acero transversal incluyendo el desperdicio:

$$3.067\text{m} * 6 \text{ estribos} * 0.996\text{kg} * 1.1 = 20.1612\text{kg}$$

Figura 6.9. Detalle de acero transversal de viga diafragma para el puente 30P05-1. Acotaciones en metros.

❖ Cálculo del alambre recocido:

$$3\% * (20.1612\text{kg} + 20.434\text{kg}) = 1.2179 \text{ kg}$$

En la siguiente tabla se muestran las cantidades de concreto y acero para un metro lineal de las vigas diafragma.

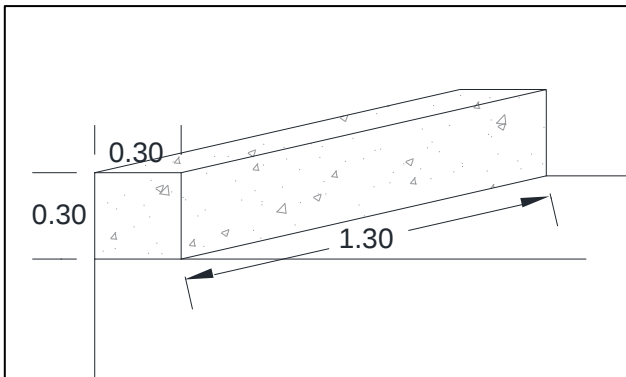
Tabla 6.3. Cantidades de concreto y acero para un metro lineal de viga diafragma.

VIGAS DIAFRAGMA (mL)										
Claro (m)	Altura pile	Zona	Dimensiones vigas diafragma (m)		Volumen de concreto (m³)	Refuerzo de vigas diafragma		Cantidad de acero (kg)		Nomenclatura de puente
			Alto	Ancho		Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	
30	5	Tlaneapantla	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P05-1
		Apatzingán	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P05-2
		Lázaro Cárdenas	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P05-3
	10	Tlaneapantla	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P10-1
		Apatzingán	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P10-2
		Lázaro Cárdenas	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P10-3
	15	Tlaneapantla	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P15-1
		Apatzingán	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P15-2
		Lázaro Cárdenas	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P15-3
	20	Tlaneapantla	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P20-1
		Apatzingán	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P20-2
		Lázaro Cárdenas	1.17	0.3	2.78	5 var #5 inf y sup	#4@0.20	20.43	20.16	30P20-3
50	5	Tlaneapantla	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P05-1
		Apatzingán	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P05-2
		Lázaro Cárdenas	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P05-3
	10	Tlaneapantla	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P10-1
		Apatzingán	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P10-2
		Lázaro Cárdenas	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P10-3
	15	Tlaneapantla	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P15-1
		Apatzingán	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P15-2
		Lázaro Cárdenas	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P15-3
	20	Tlaneapantla	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P20-1
		Apatzingán	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P20-2
		Lázaro Cárdenas	2.15	0.3	5.12	9 var #5 inf y sup	#3@0.30	36.78	23.87	50P20-3

- **Topes sísmicos**

Éstos al ser dependientes del ancho del cabezal varían su volumen en cada tipo de puente, es por ello que hay que calcular las cantidades de cada uno de acuerdo a las dimensiones del mismo.

❖ **Cálculo de la cantidad de concreto:**

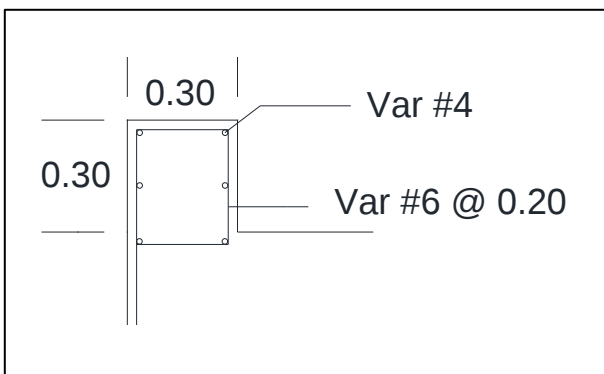


$$V = 0.30m * 0.30m * 1.30m * 1.03$$

$$= 0.12m^3$$

Figura 6.10. Dimensiones de tope sísmico para el puente 30P05-1.
Acotaciones en metros.

❖ **Cálculo de la cantidad de acero:**



Armado longitudinal: 6 Var #4

$$1.3m * 6 * 0.996kg * 1.1 = 8.55 kg$$

Armado transversal: Var #6 @ 0.20m

$$\frac{1.30m}{0.20m} = 6.5 \rightarrow \text{redondeamos a } 7$$

Figura 6.11. Detalle de armado de tope sísmico para el puente 30P05-1.
Acotaciones en metros.

$$2(0.20\text{m}) + 2(0.25\text{m}) + 2(5(1.27\text{m})) = 1.027 \text{ m}$$

$$7 * 1.027\text{m} * 2.25\text{kg} * 1.1 = 17.79 \text{ kg}$$

❖ Cálculo del alambre recocido

$$3\% * (8.55\text{kg} + 17.79\text{kg}) = 0.79 \text{ kg}$$

El resumen de las cantidades de concreto y acero se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6.4. Cantidades de acero y concreto para los topes sísmicos.

TOPES SÍSMICOS (Pza)									
Claro (m)	Altura pila	Zona	Dimensiones (m)			Volumen de concreto (m³)	Refuerzo de acero (kg)		Nomenclatura de puente
			Peralte	Ancho	Largo		Longitudinal	Transversal	
30	5	Tlanepantla	0.3	0.3	1.3	0.1205	8.55	17.79	30P05-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.45	0.1344	9.53	20.33	30P05-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	1.65	0.1530	10.85	22.88	30P05-3
	10	Tlanepantla	0.3	0.3	1.35	0.1251	8.87	17.79	30P10-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.55	0.1437	10.19	20.33	30P10-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	1.9	0.1761	12.49	25.42	30P10-3
	15	Tlanepantla	0.3	0.3	1.52	0.1409	9.99	20.33	30P15-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.65	0.1530	10.85	22.88	30P15-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	2.05	0.1900	13.48	27.96	30P15-3
	20	Tlanepantla	0.3	0.3	1.68	0.1557	11.04	22.88	30P20-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.85	0.1715	12.16	25.42	30P20-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	2.2	0.2039	14.46	27.96	30P20-3
50	5	Tlanepantla	0.3	0.3	1.35	0.1251	8.87	17.79	50P05-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.5	0.1391	9.86	20.33	50P05-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	1.7	0.1576	11.18	22.88	50P05-3
	10	Tlanepantla	0.3	0.3	1.45	0.1344	9.53	20.33	50P10-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.65	0.1530	10.85	22.88	50P10-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	1.95	0.1808	12.82	25.42	50P10-3
	15	Tlanepantla	0.3	0.3	1.6	0.1483	10.52	20.33	50P15-1
		Apatzingán	0.3	0.3	1.7	0.1576	11.18	22.88	50P15-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	2.15	0.1993	14.13	27.96	50P15-3
	20	Tlanepantla	0.3	0.3	1.75	0.1622	11.50	22.88	50P20-1
		Apatzingán	0.3	0.3	2.15	0.1993	14.13	27.96	50P20-2
		Lázaro Cárdenas	0.3	0.3	2.25	0.2086	14.79	30.50	50P20-3

- **Losa de concreto**

El tablero del puente consta de una losa de concreto armado de 20 centímetros de peralte, la manera en la que se calcularon las cantidades fue para un metro lineal de losa para al final solo multiplicar por los metros totales ya sean 150 metros para los 5 claros de los puentes de 30 metros o 250 metros para los 5 claros de los puentes de 50 metros.

❖ **Cálculo de la cantidad de concreto**

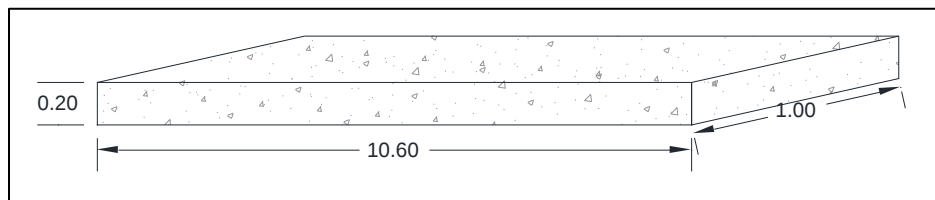
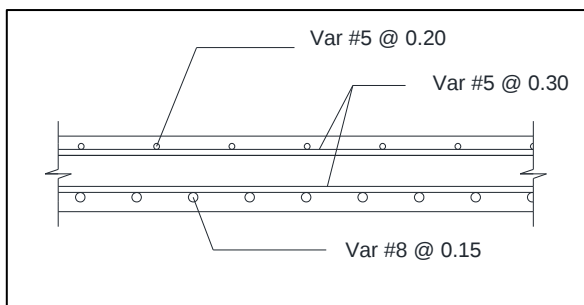


Figura 6.12. Dimensiones de la losa de concreto armado. Acotaciones en metros.

$$V = 0.20\text{m} * 10.60\text{m} * 1\text{m} * 1.03 = 2.1836 \text{ m}^3$$

❖ **Cálculo de la cantidad de acero:**



Acero longitudinal superior:

$$\frac{10.60\text{m}}{0.20\text{m}} = 53 \rightarrow 54 \text{ varillas}$$

$$54\text{var} * 1.05\text{m} * 1.56\text{kg} = 88.45 \text{ kg}$$

Figura 6.13. Detalle de armado de la losa de concreto armado. Acotaciones en metros.

Acero longitudinal inferior:

$$\frac{10.60\text{m}}{0.15\text{m}} = 71 \rightarrow 72 \text{ varillas}$$

$$72\text{var} * 1.05\text{m} * 3.975\text{kg} = 300.51\text{kg}$$

Acero transversal:

$$\frac{1\text{m}}{0.30\text{m}} = 3 \rightarrow 4 \text{ varillas}$$

$$10.60\text{m} * 4\text{var} * 1.56\text{kg} = 66.14\text{kg} \rightarrow 145.51 \text{ kg incluyendo desperdicio}$$

❖ Cantidad de alambre recocado:

$$3\% * (427.86\text{kg} + 145.51\text{kg}) = 17.20 \text{ kg}$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen del armado y cantidades de acero y concreto del tablero para los puentes.

Tabla 6.5. Cantidades de acero y concreto de la losa de concreto.

LOSA DE CONCRETO (mL)																		
Claro (m)	Altura pila	Zona	Dimensiones (m)		Volumen de concreto (m³)	Refuerzo de acero				Cantidad de acero (kg)		Nomenclatura de puente						
			Peralte	Ancho		Longitudinal inferior	Transversal inferior	Longitudinal superior	Transversal superior	Longitudinal	Transversal							
30	5	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836	#8 @ 0.15	#5 @ 0.30	#5 @0.20	#5 @ 0.30	427.86	145.51	30P05-1						
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836							30P05-2						
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836							30P05-3						
	10	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836							30P10-1						
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836							30P10-2						
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836							30P10-3						
	15	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836							30P15-1						
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836							30P15-2						
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836							30P15-3						
	20	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836							30P20-1						
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836							30P20-2						
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836							30P20-3						
50	5	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836							#8 @ 0.15	#5 @ 0.30	#5 @0.20	#5 @ 0.30	427.86	145.51	50P05-1
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836													50P05-2
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836													50P05-3
	10	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836													50P10-1
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836													50P10-2
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836													50P10-3
	15	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836													50P15-1
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836													50P15-2
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836													50P15-3
	20	Tlanepantla	0.2	10.6	2.1836													50P20-1
		Apatzingán	0.2	10.6	2.1836													50P20-2
		Lázaro Cárdenas	0.2	10.6	2.1836													50P20-3

6.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Para el cálculo de los costos se usó el software OPUS para hacer un análisis eficiente. Debido a ciertas complicaciones con la obtención de precios/salarios y rendimientos tanto de mano de obra como equipo se tomó la decisión de omitirlos en el análisis, además de que por conveniencia se tomaron precios base de los insumos necesarios para hacer notoria una diferencia por el diseño de los componentes de los puentes, y no por el sobreprecio de la zona económica donde se ubiquen los mismos.

Para los conceptos del análisis se dividió en subestructura y superestructura e incluyendo sus respectivos conceptos como se muestra en la siguiente imagen.

Presupuesto programable								
		Tipo	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total: 15,135,000.75
1			Capítulo Sub01	Subestructura				1,024,480.72
2		Concepto	COLCIRD90	Columna circular de 0.90 mts de diámetro, con Concreto de 250 kg/cm2 clase I	m	80.00	6,541.05	523,284.00
3		Concepto	Cab130X150X1060	Cabezal rectangular de concreto armado con sección transversal de 1.3 m de	pza	4.00	92,901.50	371,606.00
4		Concepto	TEMP*2	Suministro y colocación de apoyo de neopreno para claros de 30m con	pza	40.00	1,271.28	50,851.20
5		Concepto	TEMP*3	Suministro y colocación de apoyo de neopreno para claros de 30m con	pza	40.00	1,767.39	70,695.60
6		Concepto	TOPESES	Tope sísmico de concreto armado	pza	8.00	1,005.49	8,043.92
7			Capítulo	Superestructura				14,110,520.03
8		Concepto	TRAASHTOIV-30	Fabricación y montaje de trabe AASHTO IV pretensada de 30 metros de	pza	40.00	248,813.04	9,952,521.60
9		Concepto	TEMP*4	Losa de concreto armado de 20 cm de espesor y 10.60 m de ancho. Armada	m	150.00	20,455.54	3,068,331.00
10		Concepto	VDIAF	Viga diafragma de concreto reforzado con medidas de 1.17m de alto por 30 cm	m	192.50	5,660.61	1,089,667.43

Figura 6.14. Captura del análisis de precios unitarios en OPUS.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los costos de cada uno de los puentes divididos por los distintos conceptos que los conforman.

Tabla 6. 6. Resumen de los costos de los puentes.

RESUMEN DE COSTOS POR PUENTE													
Claro (m)	Altura pila	Zona	Subestructura					Superestructura				TOTAL	
			Columna	Cabezal	Apoyo 1	Apoyo 2	Tope sísmico	Total	Trabe	Losa	Viga diafragma		Total
30	5	Tlaneantla	\$ 523,284.00	\$371,606.00	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 8,043.92	\$ 1,024,480.72	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 15,135,000.75
		Apatzingán	\$ 706,903.20	\$401,045.28	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 9,238.80	\$ 1,238,734.08	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 15,349,254.11
		Lázaro Cárdenas	\$ 1,045,104.20	\$453,189.40	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 10,444.80	\$ 1,630,285.20	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 15,740,805.23
	10	Tlaneantla	\$ 1,258,070.40	\$345,126.60	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 8,505.92	\$ 1,733,249.72	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 15,843,769.75
		Apatzingán	\$ 1,763,456.00	\$391,632.68	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 9,709.36	\$ 2,286,344.84	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 16,396,864.87
		Lázaro Cárdenas	\$ 2,979,737.60	\$473,185.68	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 11,882.88	\$ 3,586,352.96	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 17,696,872.99
	15	Tlaneantla	\$ 2,423,308.80	\$364,789.64	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 9,567.44	\$ 2,919,212.68	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 17,029,732.71
		Apatzingán	\$ 3,165,804.00	\$409,251.00	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 10,444.80	\$ 3,707,046.60	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 17,817,566.63
		Lázaro Cárdenas	\$ 5,447,844.00	\$515,107.72	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 12,851.68	\$ 6,097,350.20	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 20,207,870.23
	20	Tlaneantla	\$ 4,226,988.80	\$400,268.72	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 10,585.52	\$ 4,759,389.84	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 18,869,909.87
Apatzingán		\$ 5,486,883.20	\$451,079.64	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 11,647.20	\$ 6,071,156.84	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 20,181,676.87	
Lázaro Cárdenas		\$ 8,420,105.60	\$603,125.00	\$ 50,851.20	\$70,695.60	\$ 13,555.76	\$ 9,158,333.16	\$ 9,952,521.60	\$ 3,068,331.00	\$ 1,089,667.43	\$ 14,110,520.03	\$ 23,268,853.19	
50	5	Tlaneantla	\$ 608,115.20	\$323,592.96	\$ 521,467.20	\$ 8,505.92	\$ 1,461,681.28	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 57,267,924.38	
		Apatzingán	\$ 797,076.80	\$354,871.52	\$ 521,467.20	\$ 9,475.92	\$ 1,682,891.44	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 57,489,134.54	
		Lázaro Cárdenas	\$ 1,085,518.40	\$410,854.36	\$ 521,467.20	\$ 10,680.64	\$ 2,028,520.60	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 57,834,763.70	
	10	Tlaneantla	\$ 1,423,912.00	\$349,610.44	\$ 521,467.20	\$ 9,238.80	\$ 2,304,228.44	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 58,110,471.54	
		Apatzingán	\$ 2,124,246.40	\$405,589.08	\$ 521,467.20	\$ 10,360.80	\$ 3,061,663.48	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 58,867,906.58	
		Lázaro Cárdenas	\$ 3,184,353.60	\$475,903.44	\$ 521,467.20	\$ 12,117.60	\$ 4,193,841.84	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 59,000,084.94	
	15	Tlaneantla	\$ 2,881,449.60	\$390,456.88	\$ 521,467.20	\$ 9,942.88	\$ 3,803,316.56	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 59,609,559.66	
		Apatzingán	\$ 3,506,572.80	\$423,372.68	\$ 521,467.20	\$ 10,680.64	\$ 4,462,093.32	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 60,266,336.42	
		Lázaro Cárdenas	\$ 5,996,366.40	\$514,006.72	\$ 521,467.20	\$ 13,322.40	\$ 7,045,162.72	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 62,851,405.82	
	20	Tlaneantla	\$ 4,910,700.80	\$417,594.20	\$ 521,467.20	\$ 10,914.16	\$ 5,860,676.36	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 61,666,919.46	
Apatzingán		\$ 7,705,801.60	\$505,521.08	\$ 521,467.20	\$ 13,322.40	\$ 8,746,112.28	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 64,552,355.38		
Lázaro Cárdenas		\$ 8,979,184.00	\$560,627.76	\$ 521,467.20	\$ 14,055.36	\$ 10,075,334.32	\$ 47,550,000.00	\$ 5,113,885.00	\$ 3,142,358.10	\$ 55,806,243.10	\$ 65,881,577.42		

CAPÍTULO 7: RESULTADOS

7.1 COMPARATIVA DE COSTOS FINALES POR ZONA SÍSMICA

Una vez obtenidos los costos directos de cada uno de los puentes y sus componentes, procedemos a hacer las comparaciones entre las zonas sísmicas y los respectivos modelos. Las comparaciones hechas entre los componentes de los puentes se muestran en las siguientes figuras:

- **Comparación porcentual entre los costos de la subestructura de los modelos de puentes por zona sísmica.**

En la figura 7.1 se hace la comparación porcentual en los costos de la subestructura (pilas, cabezales, topes sísmicos y apoyos) entre los puentes de claro de 30 metros y de misma altura de pila en las distintas zonas sísmicas, tomando como 100% el costo de los que se encuentran en zona de alta sismicidad.

En el eje vertical se muestran los porcentajes, en el horizontal las distintas alturas de las pilas y en el eje z se indican las zonas sísmicas por intensidad.

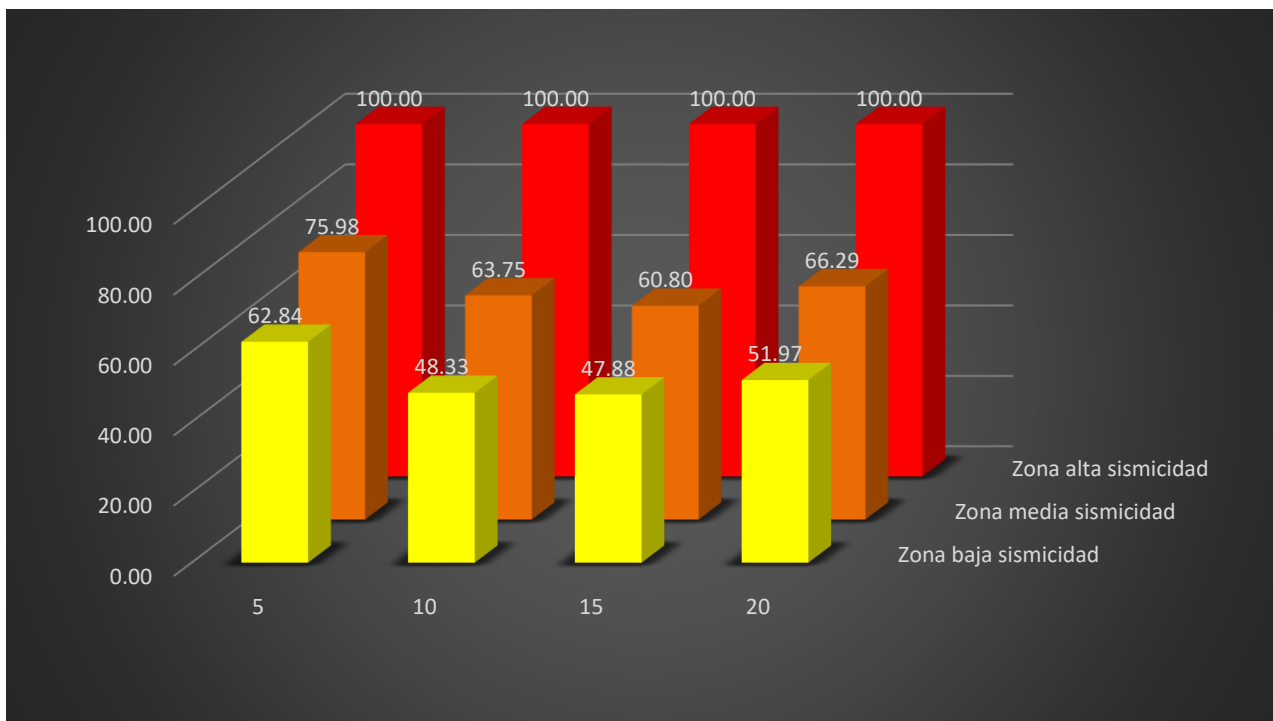


Figura 7.1. Comparación porcentual del costo de la subestructura para los puentes con claro de 30 metros.

Para los puentes 30P05 se aprecia una disminución de aproximadamente del 24% entre las zonas sísmicas de alta a mediana sismicidad y de más del 37% de alta a baja sismicidad. Mientras que para los puentes 30P10 hay un decremento del 36% entre las zonas de alta y mediana sismicidad e incluso de más del 50% de alta a baja sismicidad. Con los puentes 30P15 sucede algo similar a los puentes con pila de 10 metros, ya que la disminución de alta a media es aproximadamente del 39% y de alta a baja es cerca del 52%. Por último, en los puentes 30P20 la diferencia entre los puentes ubicados en media sismicidad se diferencian de los de alta sismicidad en un 33% y de un 48% entre los de alta y baja sismicidad.

En la figura 7.2 se hace la comparación porcentual en los costos de la subestructura (pilas, cabezales, topes sísmicos y apoyos) entre los puentes con claro de 50 metros y misma altura de pila en las distintas zonas sísmicas, tomando como 100% el costo de los que se encuentran en zona de alta sismicidad.

En el eje vertical se muestran los porcentajes, en el horizontal las distintas alturas de las pilas y en el eje z se indican las zonas sísmicas por intensidad.

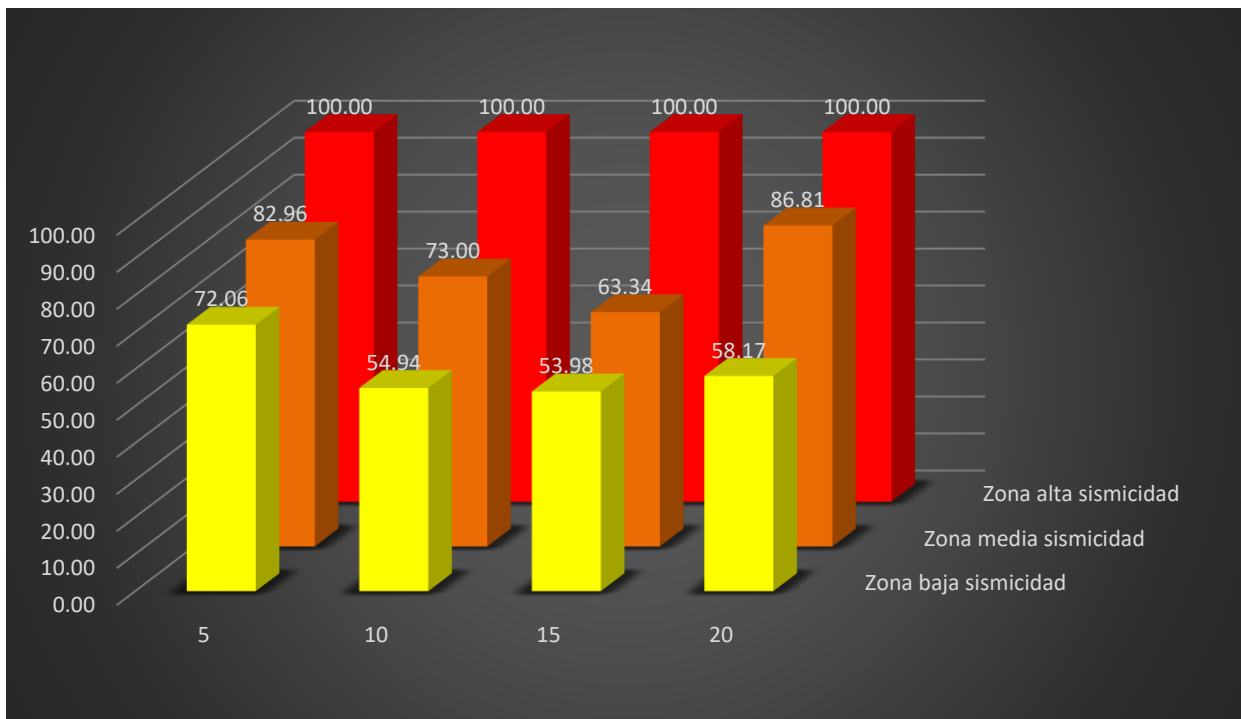


Figura 7.2. Comparación porcentual del costo de la subestructura para los puentes con claro de 50 metros.

Para los puentes 50P05 se aprecia una disminución de aproximadamente del 17% entre las zonas sísmicas de alta a mediana sismicidad y de más del 28% de alta a baja sismicidad. Mientras que para los puentes 50P10 hay un decremento del 27% entre las zonas de alta y mediana sismicidad e incluso de cerca del 50% de alta a baja sismicidad. Con los puentes 50P15 tenemos que la disminución de alta a media es aproximadamente del 36% y de alta a baja es cerca del 46%. Por último, en los puentes 50P20 la diferencia entre

los puentes ubicados en media sismicidad con los de alta sismicidad es apreciable un 13% y de un 41% entre los de alta y baja sismicidad.

Observando las gráficas nos damos cuenta que los porcentajes van de acuerdo a lo esperado, al tomar en cuenta el costo de los puentes en zonas de alta sismicidad como un 100%, los precios van disminuyendo los porcentajes según baja la intensidad sísmica de las zonas, siendo Lázaro Cárdenas (Zona de alta sismicidad) la región donde más caro resulta la subestructura de los mismos debido a que las dimensiones de sus componentes son mayores.

La diferencia promedio entre los costos de subestructura de zona de alta y media sismicidad es de 28.38%, mientras que la diferencia promedio entre la zona de alta y baja sismicidad es de 43.73%.

- **Comparación porcentual entre los costos de las pilas de los modelos de puentes por zona sísmica.**

En la figura 7.3 se hace la comparación porcentual en los costos de las pilas entre los puentes con claro de 30 metros y misma altura en las distintas zonas sísmicas, tomando como 100% el costo de los que se encuentran en zonas de alta sismicidad.

En el eje vertical se muestran los porcentajes, en el horizontal las distintas alturas de las pilas y en el eje z se indican las zonas sísmicas por intensidad.

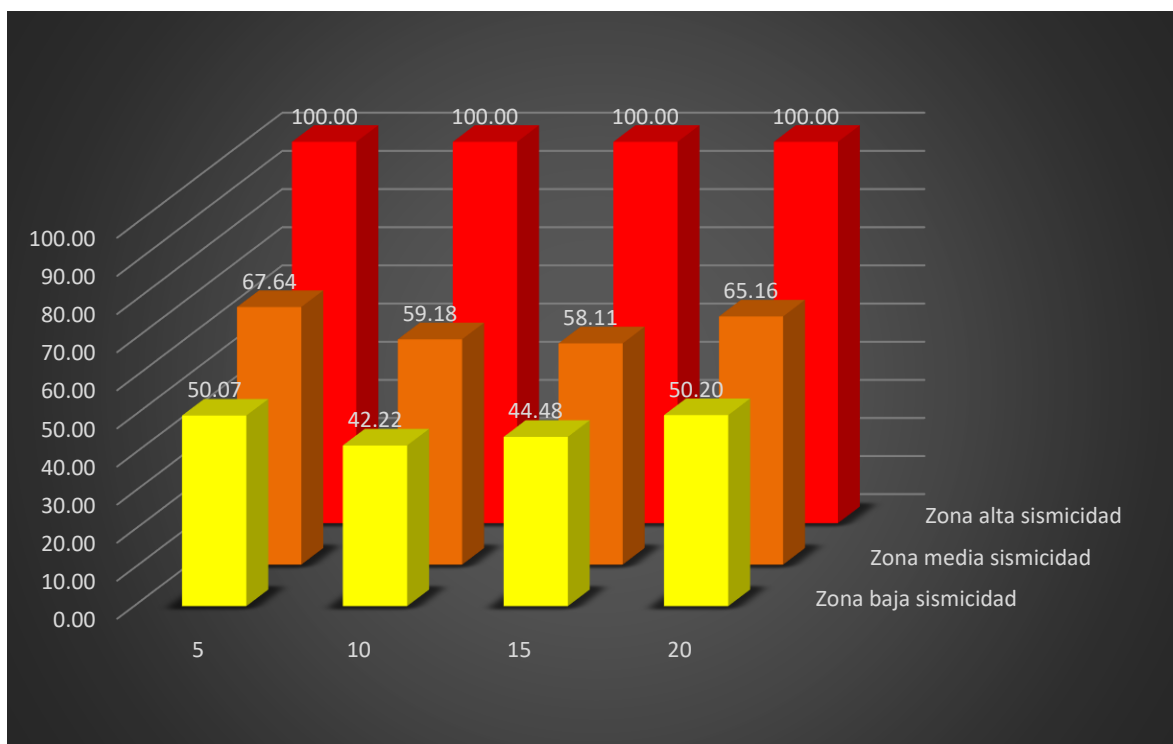


Figura 7.3. Comparación porcentual del costo de las pilas para los puentes con claro de 30 metros.

Para los puentes 30P05 se aprecia una disminución aproximadamente del 32% entre las zonas sísmicas de alta a mediana sismicidad y de cerca del 50% de alta a baja sismicidad. Mientras que para los puentes 30P10 hay un decremento del 41% entre las zonas de alta y mediana sismicidad y cerca del 58% de alta a baja sismicidad. Con los puentes 30P15 tenemos que la disminución de alta a media es aproximadamente del 42% y de alta a baja es cerca del 55%. Por último, en los puentes 30P20 la diferencia entre los puentes ubicados en media sismicidad y los de alta sismicidad es de un 34% y de un 49% entre los de alta y baja sismicidad.

En la figura 7.4 se hace la comparación porcentual en los costos de las pilas entre los puentes con claro de 50 metros y misma altura en las distintas zonas sísmicas, tomando como 100% el costo de los que se encuentran en zonas de alta sismicidad.

En el eje vertical se muestran los porcentajes, en el horizontal las distintas alturas de las pilas y en el eje z se indican las zonas sísmicas por intensidad.

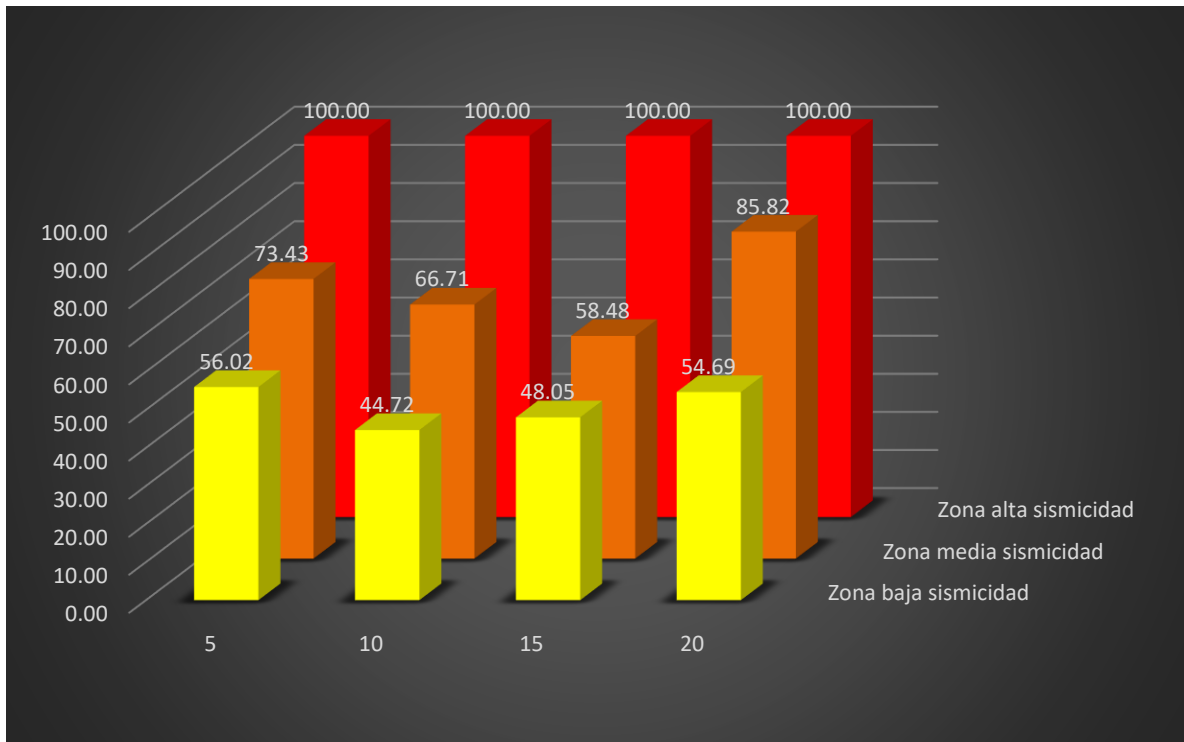


Figura 7.4. Comparación porcentual del costo de las pilas para los puentes con claro de 50 metros.

Para los puentes 50P05 se aprecia una disminución aproximadamente del 26% entre las zonas sísmicas de alta a mediana sismicidad y de cerca del 44% de alta a baja sismicidad. Mientras que para los puentes 50P10 hay un decremento del 33% entre las zonas de alta y mediana sismicidad y de cerca del 55% de alta a baja sismicidad. Con los puentes 50P15 tenemos que la disminución de alta a media es aproximadamente del 41% y de alta a baja es cerca del 52%. Por último, en los puentes 50P20 la diferencia entre los puentes ubicados en media sismicidad y alta sismicidad es de 14% y de un 45% entre los de alta y baja sismicidad.

Tras ver las comparaciones nos damos cuenta que los resultados siguen lo esperado y la misma tendencia que los costos de la subestructura, al ser las pilas las que absorben el mayor costo dentro de la subestructura afectan de una manera importante al precio final de la misma.

La diferencia entre los costos de la zona de alta sismicidad a la de media sismicidad es un promedio de 33.18%, mientras que de zona de media sismicidad y la zona de baja sismicidad la diferencia es de 18.01%.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

Dados los distintos resultados podemos observar la clara tendencia de incremento en los costos conforme la actividad sísmica va incrementando, la diferencia se hace notoria en la subestructura debido al cambio de diseño de sus componentes, haciendo que las cantidad de materiales necesarios aumente impactando directamente en el costo. El hecho de que los costos de la subestructura y pilas en zona de baja sismicidad representen aproximadamente el 50% menos que en alta sismicidad nos da a entender la importancia que tiene el diseño por sismo ya que un análisis óptimo nos ahorra demasiado dinero, sobretodo conociendo la situación sísmica en la que se encuentra nuestro país.

El haber tenido en cuenta sólo lo que conforma la subestructura es debido a la composición de la superestructurala cual depende de la longitud de los claros y de la cantidad de tránsito a soportar, ademásde que el alto costo que tiene el principal componente de la misma como lo son las trabes ya sean AASHTO o Nebraska absorben un porcentaje muy alto del precio final de un puente; y no nos permite hacer una comparación directa en los costos por el dieño por sismo.

Es importante que en un diseño de obras tan importantes para la economía de un país no se escatime en gastos y se haga un diseño y construcción de manera correcta ya que el hecho de que una estructura con tal importancia como lo es un puente carretero falle frente a movimientos sísmicos representa pérdida de vidas humanas, rezago económico e incomuniación entre comunidades.

Un diseño para cargas sísmicas elaborado de la manera correcta nos garantiza un costo óptimo, un funcionamiento correcto y una vida útil de larga duración. El hecho de empobrecer un diseño estructural con el fin de ahorrar gastos es un potencial peligro al enfrentarse con casos extremos de carga como lo es un movimiento telúrico llegando a ocasionar fallas en su función estructural como en ejemplos vistos en esta tesis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Deulofeu, E. R., Beira-Fontaine, E., Cabrera Castro, P. M. & Daoud Mohamed, M. (2021, 22 septiembre). Estimación de costos adicionales por seguridad sísmica en proyectos de cimentaciones superficiales. Recuperado 24 de septiembre de 2022, de <https://www.redalyc.org/journal/2235/223568401003/html/>
- Mora, R. E. (2012). Estudio del comportamiento de marcos de concreto de puentes urbanos sometidos a distintas intensidades sísmicas, incursionando en diferentes estados limite [Tesis de maestría]. Instituto Politécnico Nacional.
- Portal SCT: Obras en proceso. (s. f.). Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Recuperado 26 de septiembre de 2022, de <https://www.sct.gob.mx/carreteras-v2/servicios/informacion-de-carreteras/obras-en-proceso/>
- Secretaria de Comunicaciones y Transportes: Datos Viales. (s. f.). Recuperado 26 de septiembre de 2022, de <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales/>
- IMT. (s. f.). Recuperado 26 de septiembre de 2022, de <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>
- Secretaria de Comunicaciones y Transportes: Puentes de la Red Federal de Carreteras. (s. f.). Recuperado 26 de septiembre de 2022, de <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/puentes-de-la-red-federal-de-carreteras/>
- Sánchez, A. R. (2019). LA SOBRRERRESISTENCIA EN PUENTES MEXICANOS DE CONCRETO REFORZADO [Tesis de doctorado]. Universidad de Porto.
- Sánchez, A. R., Arede, A., Jara, J. M. & Delgado, P. (2022). Earthquake source effect and impact of the applied methodology to assess the

overstrength factors of RC bridges. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 157, 7.

- González, W. (s. f.). Sube hasta 49% material de obra. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. Recuperado 22 de septiembre de 2022, de <https://www.cmic.org/sube-hasta-49-material-de-obra/>
- El impacto de la crisis del coronavirus en el sector de la construcción pública. (2020, 22 septiembre). Ciudades Sostenibles. Recuperado 22 de septiembre de 2022, de <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/el-impacto-del-covid-19-en-la-construccion-publica/>
- Escudero, E. (2022, 25 abril). Guerra en Ucrania provoca alzas de hasta 40% en materiales de construcción. Ambiente Plástico. Recuperado 22 de septiembre de 2022, de <https://www.ambienteplastico.com/guerra-en-ucrania-provoca-alzas-de-hasta-40-en-materiales-de-construccion/>
- Suárez, G. (2017, 27 octubre). Diseño y soportes de puentes, causas de colapso en el Tec de Monterrey. El Universal. Recuperado 16 de septiembre de 2022, de <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/disenio-y-soportes-de-puentes-causas-de-colapso-en-el-tec-de-monterrey>
- Celis, F. (2017, 2 octubre). ¿Por qué el costo de los sismos de 2017 no se compara al de 1985? Forbes México. Recuperado 16 de septiembre de 2022, de <https://www.forbes.com.mx/por-que-el-costode-los-sismos-de-2017-no-se-compara-al-de-1985/>
- Veredas, E. (s. f.). Cae puente en el Istmo tras sismo en Oaxaca; tenía daños de temblor anterior. Entre Veredas. Recuperado 16 de septiembre de 2022, de <https://www.entreveredas.com.mx/2017/09/cae-puente-en-el-istmo-tras-sismo-en.html?m=1>
- Publimetro. (2021, 29 octubre). Colapsa puente vehicular en Autopista del Sol. Publimetro México. Recuperado 16 de septiembre de 2022, de <https://www.publimetro.com.mx/mx/noticias/2017/09/19/colapsa-puente-vehicular-autopista-del-sol.html>
- Ec, R. (2017, 21 septiembre). México: Las cinco placas tectónicas que no dejan de moverse. El Comercio Perú. Recuperado 16 de septiembre de 2022,

de <https://elcomercio.pe/mundo/desastres/mexico-5-placas-tectonicas-dejan-moverse-noticia-459746-noticia/?ref=ecr>

- La huella del sismo que sacudió a México. (2021, 7 septiembre). N+. Recuperado 16 de septiembre de 2022, de <https://noticieros.televisa.com/historia/sismo-7-de-septiembre-de-2017-oaxaca-mexico-danos/>
- BBC News Mundo. (2017, 19 septiembre). Terremoto de 1985: el devastador sismo que cambió para siempre el rostro de Ciudad de México. Recuperado 16 de septiembre de 2022, de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150917_mexico_sismo_antes_despues_fotos_an
- Hoffman, n. (2021, 10 septiembre). Regiones sísmicas en México. Vent HOFFMAN. Recuperado 16 de septiembre de 2022, de <https://hoffman-latam.com/blog/regiones-sismicas-en-mexico/>
- Staff, F. (2021, 13 septiembre). Los 8 sismos más catastróficos en la historia de México. Forbes México. Recuperado 16 de septiembre de 2022, de <https://www.forbes.com.mx/los-8-sismos-mas-catastroficos-en-la-historia-de-mexico/>
- Sismología de México. (s. f.). Recuperado 16 de septiembre de 2022, de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>