



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PUENTES VIRREINALES
DE FINALES DEL SIGLO XVI A PRINCIPIOS DEL SIGLO
XIX EN MICHOCÁN, MÉXICO”**

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JOSUÉ DE JESÚS GARCÍA CHÁVEZ

ASESOR:

DR. ING. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

COASESORES:

M.A. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

DR. ANDRÉS A. TORRES ACOSTA

Morelia, Michoacán. Diciembre del 2016



RESUMEN

El interés por conservar los caminos antiguos y monumentos históricos en nuestro país, ha incrementado en los últimos años a raíz de la declaratoria de la Unesco al Camino Real de Tierra Adentro como itinerario Cultural Patrimonio de la Humanidad en agosto de 2010. El mantener este nuevo Patrimonio Mundial, desde la ubicación exacta del mismo, ha generado el interés por varios departamentos de utilizar las nuevas tecnologías de la información para catalogarlos y resguardarlos. Tal es el caso de los Puentes Virreinales y de las vías aledañas que representan al Estado de Michoacán de Ocampo en esta índole.

Según un estudio realizado en el 2013. La Red de Carreteras del Estado de Michoacán de Ocampo tiene una longitud de 15´468 km según la superficie de rodamiento, soportando el 80% del tráfico total. Del total de puentes que existen en el país, de una familia de poco más de 8000 puentes, el estado que mayor número de estructuras tiene es Michoacán con el 7% del total, es decir, 520 puentes. Muchos de estos puentes forman parte de nuestra cultura, enriqueciendo nuestro patrimonio histórico, estético e ingenieril. No debemos olvidar que, en ciertos casos, estos puentes, además de estructuras funcionales (en su mayoría), representan la cultura y arte de una época histórica y, al mismo tiempo, son valedores de los avances de la ciencia y tecnología de la época en que fueron proyectados y construidos. Es por lo tanto una necesidad de primer nivel, el poder contar con herramientas digitales para utilizar la información de inventarios no digitales de monumentos histórico-culturales (incluidas infraestructuras viarias completas), como el del INAH, y lograr así una mejor gestión de las aplicaciones de esta información para el consecuente análisis y toma de decisiones con criterios de sustentabilidad. Este proyecto presentó únicamente la parte correspondiente al Estado de Michoacán de Ocampo y es el primero que se realiza en México, no se conoce otro que esté funcionando en la actualidad, por lo que se cree será de mucha importancia y podría ser punto de partida de muchas otras actividades para la colaboración con otros países latinoamericanos o posiblemente de Europa y América del Norte.

Se plantea que este proyecto de investigación tenga un impacto social muy importante, porque ayudará a la decisión de cómo actuar en los vestigios que quedan de estos caminos coloniales y los inmuebles históricos que convergen en ellos, de tal manera que las entidades encargadas de los inmuebles históricos en México (INAH, Conaculta, Gobierno del Estado, etc.), intervengan y así, de esta manera, poder ahorrar en los trabajos con la toma de decisiones dada por expertos en cuanto a dónde intervenir y cómo ejecutar. Además asistirían en cuanto a la implementación de herramientas de última tecnología que ayuden a ubicar y administrar su patrimonio caminero construido o inmueble y con ellos realizar otras actividades con el fin de aprovechar los pocos recursos con los que cuentan para sus intervenciones.



PALABRAS CLAVE: Conservación, Patrimonio Mundial, Puentes Virreinales, Caminos Antiguos, Camino Real de Tierra Adentro, Michoacán de Ocampo.

ABSTRACT

The interest to preserve ancient roads and landmarks in our country, has increased in recent years as a result of the Declaration of the Unesco to the way Real de Tierra Adentro as Cultural Heritage route in August 2010. Keep this new world heritage, since the exact location of it, has generated interest by various departments to use new information technologies to catalog them and protect them. Such is the case of the Viceregal bridges and surrounding routes representing the State of Michoacán de Ocampo in this nature.

According to a study carried out in the 2013. The network of roads of the State of Michoacán Ocampo has a length of 15'468 km according to the surface of bearing, supporting the 80% of the traffic total. Total bridges that exist in the country, a family of about 8000 bridges, State has highest number of structures is Michoacán with 7% of the total, i.e., 520 bridges. Many of these bridges are part of our culture, enriching our historic, aesthetic and engineering heritage. Not must forget that, in certain cases, these bridges, besides structures functional (mostly), represent the culture and art of a time historic and, to the same time, are backers of them advances of the science and technology of the time in that were projected and built. It is, therefore, a need for first level, can count on digital tools to use information from non-digital inventory of cultural-historical monuments (including complete road infrastructure), as of the INAH, and achieve better management of the applications of this information for subsequent analysis and decision-making with sustainability criteria well. This project presented only the part corresponding to the State of Michoacán of Ocampo and is the first that is performed in Mexico, not is known another that is running currently, it is believed to be of great importance and could be a starting point for many other activities for the collaboration with others countries Latin American or possibly of Europe and America of the North.

Considers that this research project has a very important social impact, because it will help the decision on how to act on the vestiges that remain of these colonial roads and the historic buildings that converge in them, in such a way what the entities responsible for the historical buildings in Mexico (INAH, Conaculta, Government, etc.), to intervene and thus, in this way to save in works with the taking of decisions given by experts in terms of where to intervene and how to run. They would also attend as the implementation tools of the latest technology to help locate and manage their road assets built or immovable and with them other activities in order to take advantage of the few resources that are equipped for their interventions.



AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María por darme fortaleza y acompañarme en todo momento en este reto tan grande que es la vida y sobre todo en este gran esfuerzo que comprendió mi carrera.

A mi Familia, quienes han sido la base de mi formación, cada uno de ustedes ha aportado grandes cosas a mi vida, y me han ayudado a enfrentar la gran tarea de encarar a la sociedad.

A mi Madre. María Teresita Chávez Martínez, por creer en mí incluso antes de que naciera y darme la oportunidad de vivir. Sé que los doctores te decían que era mejor abortar a que me trajeras a la vida, pero tú nunca desististe, siempre me miraste con ojos de ternura incluso aún sin saber qué era lo que te esperaba. Te pido perdón por haberte arruinado la Navidad, sé que mientras todo mundo celebraba y cantaba villancicos tú sufrías por darme el regalo más grande que una mujer puede dar a una persona. Te doy gracias pues siempre has estado en las buenas y en las malas, creyendo en mí cuando nadie más lo hacía. No tengo como agradecer tantos cuidados, tantos desvelos y tantas alegrías. Gracias por enseñarme a ser fuerte.

A mi Padre. José García Cortés, sé que siempre dices que me conociste a los 7 años y que no pudiste verme crecer. Pero lo entiendo, la verdad nunca he conocido a una persona más fuerte y trabajadora en toda mi vida que tú, se de tus sufrimientos que vienes acarreado de toda la vida y aun así me demuestras con mano de hierro y la frente en alto que eres la persona más sabia y sin temores que conozco. Haz enfrentado la vida de una manera asombrosa y la verdad aunque no lo he dicho a los cuatro vientos hoy lo digo. Estoy orgulloso de ser tu hijo y te doy gracias por enseñarme a ganarme con el ejemplo lo que me llevo a la boca. Te pido perdón por no ser el hijo perfecto, ni el más inteligente, ni el más trabajador pero juro por Dios que cada día lo intento y espero algún día ser tan bueno como tú.

A mi hermana. Elvia Maín García Chávez. Gracias infinitas por adoptarme como hermano. Mi compañera de travesuras, mi cómplice de baúl, a ti te doy miles de gracias por que fuiste padre, madre y mentora en todo momento. Sé que estás triste porque ahora soy más alto que tú y ya no me podrás decir enano nunca más en la vida pero siempre seré tu enano. Perdón por todas esas veces que olvidaba hacer mis maquetas en la primaria o secundaria y siempre salías al rescate a las 12 de la noche a ayudarme. Siempre me demostraste que si se puede, que puedes lograr tus sueños con perseverancia, que no necesitas ser superior a nadie para lograrlo. Gracias por estar siempre ahí para mí.

A Geovanni Rangel Cortés, por ser amigo, hermano y acompañarme en esta larga carrera que es la vida. Gracias por tus consejos, por compartir tantos logros y por la ayuda en todo momento y lo mejor de todo tenerme paciencia. Paciencia con mis



chistes repetidos, mis fracasos y mis ratos de locura. Gracias hermano por todas y cada una de las experiencias vividas.

A mis mejores amigos de la Facultad, los primeros cuatro reprobados: Emmanuel González Castro, Gustavo Adolfo Ontiveros Martínez, Isaac Abraham Olivares Valencia, Alfredo Chávez Cerna, Aldo Alberto Rangel Torres, Antonio Alberto Guzmán Oropeza, Fabián López Regalado y Giovanni Áciga Mejía. Por ser los mejores amigos que podría encontrar, acompañarme durante todos estos años y darme la satisfacción de encontrar otra familia en ustedes. Hoy los veo a la mayoría realizados y eso me llena de satisfacción. Hoy amigos míos me uno a ustedes como Ingeniero Civil para afrontar ahora los problemas de la vida y los logros que en ella nos esperan.

A todos mis primos, tíos y amigos que siempre están ahí para mí. Gracias por siempre brindarme una mano amiga, por incluirme en sus vidas, por los consejos y por todos y cada uno de los momentos vividos.

A la Dra. Elia y al M.A. Wilfrido por ser mis segundos padres, por su gran ayuda y colaboración en cada momento de consulta y soporte en este trabajo de investigación y durante la carrera. Gracias por ser pacientes en la espera de este proyecto que me llevó más de un año concluirlo y por seguir ayudándome y dándome la oportunidad de encontrar mejores oportunidades. Gracias por creer en mí.

Al Dr. Andrés A. Torres Acosta por darme la oportunidad ser parte de su proyecto, por todas las tutorías y colaboración durante este trabajo de investigación. Gracias por asesorarme, ser paciente durante todo este tiempo y creer en mí.

A todos mis compañeros y amigos de laboratorio de materiales. Gracias por darme la oportunidad de trabajar con ustedes y brindarme su amistad en todo momento.

Y finalmente y no menos importante a la Facultad de Ingeniería Civil y al departamento de Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por acogerme y ayudarme a mi formación durante mi carrera.

Gracias infinitas.



DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a mi Familia. Han sido la base de mi formación, cada uno de ustedes ha aportado grandes cosas a mi vida, y me han ayudado a enfrentar la gran tarea de encarar a la sociedad. Les agradezco por todo, en especial por ser los principales benefactores del desarrollo de mi tesis.

A mi tío y Padrino Ing. José Luis Chávez Martínez. Por ser mi tutor en las mejores etapas de mi vida, por ser el impulso de mi carrera y por siempre verme como su orgullo. Que en Gloria esté.



ÍNDICE

Contenido

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. ANTECEDENTES: LOS CAMINOS DE MÉXICO	4
3.1.1. INTRODUCCIÓN	4
3.1.2. LOS CAMINOS DE LA HISTORIA: ÉPOCA VIRREINAL	7
3.1.3. CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO	17
3.2. EL IMPACTO DE LOS P'URHÉPECHAS Y SU CONEXIÓN CON EL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO	25
3.2.1. INTRODUCCIÓN	25
3.2.2. PRE-P'URHÉPECHAS Y P'URHÉPECHAS	26
3.2.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	27
3.2.4. CIUDADES	29
3.2.5. CESACIÓN	29
3.3. CAMINERÍA COLONIAL EN MÉXICO (MICHOACÁN)	30
3.4. ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO	34
3.4.1. TOPONIMIA	36
3.4.2. HISTORIA	37
3.4.3. OROGRAFÍA	39
3.4.4. HIDROGRAFÍA	39
3.4.5. POBLACIÓN	39
3.5. HISTORIA DE LOS PUENTES ANTIGUOS EN AMÉRICA	41
3.6. PARTES CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES	45
3.6.1. PUENTES ARCO	45
3.6.2. PUENTES TIPO VIGA	53
3.6.3. EVALUCACIÓN ESTRUCTURAL DE PUENTES EN ARCO	54
4. METODOLOGÍA I. USO DE LAS GEOTECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA LA UBICACIÓN DE LAS VÍAS SECUNDARIAS DEL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO, EN MICHOACÁN, MÉXICO Y, LEVANTAMIENTO DE LOS PUENTES QUE FORMAN PARTE DEL PATRIMONIO	109
4.1. LEVANTAMIENTO DE CAMINOS VIRTUALES CON LA APLICACIÓN iGis 8.2.0	110
4.2. DESCARGA DE CARTOGRAFÍA CON EL PROGRAMA SAS.PLANET.	112



4.3.	ARCGIS 9. VERSIÓN ArcMap 9.3.	114
4.4.	MODELAJE EN PLANTA DE LOS PUENTES DE ESTUDIO CON EL SOFTWARE AUTOCAD 2014.	116
4.5.	MODELADO DE LOS PUENTES DE ESTUDIO EN 3D CON EL SOFTWARE REVIT 2015.....	118
5.	METODOLOGÍA II: LEVANTAMIENTO, VISUALIZACIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE GEORREFERENCIACIÓN IN SITU DE LOS PUENTES VIRREINALES EN EL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO, MÉXICO	120
5.1.	PUENTE GRANDE, ANGAMACUTIRO	124
5.1.1.	ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE	124
5.1.2.	LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE	126
5.1.3.	IDENTIFICACIÓN	128
5.1.4.	CARACTERÍSTICAS	128
5.1.5.	ASPECTOS LEGALES	128
5.1.6.	DATOS HISTÓRICOS	128
5.1.7.	OBSERVACIONES.....	128
5.1.8.	NIVEL DE DAÑO	131
5.2.	PUENTE YAHUARO, TZINTZUNTZAN	134
5.2.1.	ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE	134
5.2.2.	LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE	135
5.2.3.	IDENTIFICACIÓN	138
5.2.4.	CARACTERÍSTICAS	138
5.2.5.	ASPECTOS LEGALES.....	138
5.2.6.	DATOS HISTÓRICOS	138
5.2.7.	OBSERVACIONES.....	139
5.2.8.	NIVEL DE DAÑO	144
5.3.	PUENTE TIRIPETÍO	146
5.3.1.	ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE	146
5.3.2.	LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE	149
5.3.3.	IDENTIFICACIÓN	151
5.3.4.	CARACTERÍSTICAS	151
5.3.5.	ASPECTOS LEGALES.....	151
5.3.6.	DATOS HISTÓRICOS	151
5.3.7.	OBSERVACIONES.....	151
5.3.8.	NIVEL DE DAÑO	154
5.4.	PUENTE CAVADAS, LA PIEDAD	156
5.4.1.	ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE	156
5.4.2.	LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE	158
5.4.3.	IDENTIFICACIÓN	160
5.4.4.	CARACTERÍSTICAS	160
5.4.5.	ASPECTOS LEGALES.....	160



5.4.6.	DATOS HISTÓRICOS	160
5.4.7.	OBSERVACIONES.....	161
5.4.8.	NIVEL DE DAÑO	165
5.5.	PUENTE URUAPAN DEL PROGRESO.....	167
5.5.1.	ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE	167
5.5.2.	LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE	168
5.5.3.	IDENTIFICACIÓN	170
5.5.4.	CARACTERÍSTICAS	170
5.5.5.	ASPECTOS LEGALES.....	170
5.5.6.	DATOS HISTÓRICOS	170
5.5.7.	OBSERVACIONES.....	170
5.5.8.	NIVEL DE DAÑO	177
5.6.	PUENTE DE SANTA FE DEL RÍO, PENJAMILLO.....	179
5.6.1.	ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE	179
5.6.2.	LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE	180
5.6.3.	IDENTIFICACIÓN	182
5.6.4.	CARACTERÍSTICAS	182
5.6.5.	ASPECTOS LEGALES.....	182
5.6.6.	DATOS HISTÓRICOS	182
5.6.7.	OBSERVACIONES.....	182
5.6.8.	NIVEL DE DAÑO	188
6.	CAMINOS DE MICHOACÁN Y SU RELACIÓN CON LA VÍA SECUNDARIA DEL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO	190
6.1.	INVENTARIO DE LA INFRAESTRUCTURA CAMINERA ACTUAL DE LOS PUENTES DE ESTUDIO Y SUS ALREDEDORES.....	193
6.1.1.	Municipio de Angamacutiro de la Unión, Michoacán.	193
6.1.2.	Municipio de La Piedad, Michoacán.	194
6.1.3.	Localidad de Sta. Fe del Río, Municipio de Penjamillo, Michoacán.....	195
6.1.4.	Localidad de Tiripetío, Municipio de Morelia, Michoacán.	197
6.1.5.	Municipio de Tzintzuntzan, Michoacán.	198
6.1.6.	Municipio de Uruapan del Progreso, Michoacán.	200
6.2.	INVENTARIO DE LA OROGRAFÍA ACTUAL DE LOS PUENTES DE ESTUDIO.....	201
6.2.1.	Municipio de Angamacutiro de la Unión, Michoacán.	201
6.2.2.	Municipio de La Piedad, Michoacán.	201
6.2.3.	Localidad de Sta. Fe del Río, Municipio de Penjamillo, Michoacán.....	202
6.2.4.	Localidad de Tiripetío, Municipio de Morelia, Michoacán.	203
6.2.5.	Municipio de Tzintzuntzan, Michoacán.	203
6.2.6.	Municipio de Uruapan del Progreso, Michoacán.	204
6.3.	PROPUESTAS DE VÍAS SECUNDARIAS ESTRUCTURADAS SOBRE LAS CARRETERAS ACTUALES DE LOS ESTADOS DE MICHOACÁN Y GUANAJUATO.....	205



6.3.1.	VÍA SECUNDARIA 1	206
6.3.2.	VÍA SECUNDARIA 2	209
6.3.3.	COMBINACIÓN DE LAS VÍAS SECUNDARIAS 1 Y 2	211
7.	CONCLUSIONES	215
8.	ABREVIATURAS	218
	Bibliografía.....	220
ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE PUENTES CONSTRUIDOS ENTRE LOS SIGLOS XVI Y XIX Y SUS CARACTERÍSTICAS GENERALES.....		232
CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS PUENTES		235
POR SU TAMAÑO.....		235
SEGÚN EL MATERIAL EMPLEADO.....		235
SEGÚN SU USO.....		235
POR SU DURACIÓN.....		235
POR SU CONDICIÓN DE OPERACIÓN.....		235
CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES POR EL TIPO DE MATERIAL QUE SE CONSTRUYEN		237
PUENTES DE MAMPOSTERÍA.....		237
PIEDRA O ROCA.....		239
LADRILLO.....		239
PUENTES DE MADERA.....		240
PUENTES METÁLICOS.....		242
PUENTES DE FUNDICIÓN		242
PUENTES DE HIERRO		243
PUENTES DE ACERO.....		244
PUENTES DE CONCRETO.....		245
CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES: FIJOS Y MÓVILES.....		248
CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES FIJOS.....		248
ANEXO 2. TIPOS DE CONSTRUCCIONES PARA PUENTES TIPO ARCO Y VIGA Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....		255
CONSTRUCCIÓN POR VOLADIZOS SUCESIVOS		255
CONSTRUCCIÓN POR VOLADIZOS SUCESIVOS ATIRANTADOS CON TORRE PROVISIONAL MEDIANTE CABLE COLGADO		255
CONSTRUCCIÓN POR VOLADIZOS SUCESIVOS CON DIAGONALES TEMPORALES (MÉNSULA TRIANGULADA)		256
CONSTRUCCIÓN SOBRE CIMBRA.....		258
CONSTRUCCIÓN POR AUTOCIMBRA.....		259
ABATIMIENTO DE LOS SEMI-ARCOS		260
TIPOS DE VIGAS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES		261
PUENTE DE VIGAS.....		261
PUENTES DE VIGAS ARMADAS.....		261
PUENTES CONTINUOS.....		262



TIPOS DE CONSTRUCCIONES PARA PUENTES TIPO VIGA Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS	265
CONSTRUCCIÓN CON CIMBRA ESTÁTICA.....	265
CONSTRUCCIÓN CON CIMBRA DESPLAZABLE.....	266
CIMBRAS AUTOPORTANTES O AUTOCIMBRAS	267
AVANCE EN VOLADIZO	267
VIGAS AUTOLANZABLES O PUENTES EMPUJADOS.....	268
ANEXO 3. PARTES GENERALES DE LOS PUENTES	270
SUPERESTRUCTURA.....	270
TABLERO	270
ARMADURAS	270
ARRIOSTRADORES LATERALES.....	271
INFRAESTRUCTURA O SUB ESTRUCTURA.....	271
PILAS.....	271
ESTRIBOS.....	271
CIMENTOS O ZAPATAS	271
VANO.....	272
TAJAMAR	272
ANEXO 4. INMUEBLES LOCALIZADOS.....	273



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. LENGUAS INDÍGENAS Y NÚMERO DE PERSONAS QUE LAS HABLAN. (INEGI, 2010).....	40
TABLA 2. MODOS DE FALLO DEBIDO A LA INTERACCIÓN T – Σ. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 49)	74
TABLA 3. SINOPSIS DE LOS DAÑOS MÁS PROBABLES EN LA ESTRUCTURA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 70).....	87
TABLA 4. REFERENCIA PARA ASIGNACIÓN DE VALORES A LOS NIVELES DE DAÑOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	131
TABLA 5. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO PARA EL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	131
TABLA 6. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO AL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	132
TABLA 7. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	132
TABLA 8. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	132
TABLA 9. REFERENCIA PARA ASIGNACIÓN DE VALORES A LOS NIVELES DE DAÑOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	144
TABLA 10. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO PARA EL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	144
TABLA 11. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO AL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	145
TABLA 12. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	145
TABLA 13. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	145
TABLA 14. REFERENCIA PARA ASIGNACIÓN DE VALORES A LOS NIVELES DE DAÑOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	154
TABLA 15. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO PARA EL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	154
TABLA 16. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO AL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	154
TABLA 17. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	155
TABLA 18. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	155
TABLA 19. REFERENCIA PARA ASIGNACIÓN DE VALORES A LOS NIVELES DE DAÑOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	165
TABLA 20. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO PARA EL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	165
TABLA 21. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO AL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	166
TABLA 22. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	166
TABLA 23. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	166
TABLA 24. REFERENCIA PARA ASIGNACIÓN DE VALORES A LOS NIVELES DE DAÑOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	177
TABLA 25. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO PARA EL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	177
TABLA 26. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO AL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	178
TABLA 27. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	178



TABLA 28. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	178
TABLA 29. REFERENCIA PARA ASIGNACIÓN DE VALORES A LOS NIVELES DE DAÑOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	188
TABLA 30. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO PARA EL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	188
TABLA 31. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO AL EXTERIOR DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	188
TABLA 32. NIVEL DE DAÑO DEL ESTUDIO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	188
TABLA 33. OBSERVACIONES DEL ESTUDIO DE NIVEL DE DAÑO REALIZADO A LAS CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	189
TABLA 34. TABLA DE MUNICIPIOS Y CARRETERAS QUE CONFORMAN A LA VÍA SECUNDARIA PROPUESTA NO.1. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	208
TABLA 35. TABLA DE MUNICIPIOS Y CARRETERAS QUE CONFORMAN A LA VÍA SECUNDARIA PROPUESTA NO.2. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	211
TABLA 36. TABLA DE MUNICIPIOS Y CARRETERAS QUE CONFORMAN A LA VÍA SECUNDARIA PROPUESTA NO.3. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	213
TABLA 37. DISTINTA UTILIZACIÓN DE LOS MATERIALES EN LAS SUCESIVAS ÉPOCAS HISTÓRICAS. (PUENTES.GALEON, 2015).....	234



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. ITINERARIO ANTONINO O ITINERARIO DE ANTONINO AUGUSTO CARACALLA ES UN DOCUMENTO DE LA ROMA ANTIGUA, QUE SE SUPONE REDACTADO EN EL SIGLO III, EN EL QUE APARECEN RECOPIADAS LAS RUTAS DEL IMPERIO ROMANO. (AYUNTAMIENTO DE A CORUÑA, ESPAÑA, 2009, PÁG. 1)	4
ILUSTRACIÓN 2. TABULA PEUTINGERIANA. (IEDA, S.F., PÁG. 1)	4
ILUSTRACIÓN 3. SACBEOB O CAMINOS BLANCOS DE LOS MAYAS. (SACBE DZIBILCHALTUN.JPG, 2002).....	5
ILUSTRACIÓN 4. EL COMIENZO DEL SACBÉ MAYA DE COBÁ HACIA YAXUNÁ. POCOS SACBEOB LARGOS SE CONSERVAN HASTA HOY EN DÍA. UN SACBÉ MUY CONOCIDO CONECTA UXMAL CON KABA, QUE SE CARACTERIZA POR UN ARCO VOLADIZO EN CADA EXTREMO. ESTE SACBÉ DE 100 KM QUE UNEN LAS CIUDADES ANTIGUAS DE COBÁ Y YAXUNÁ FUE CONSIDERADO DURANTE DÉCADAS COMO EL SACBÉ MÁS LARGO. (HISTORIA UNIVERSAL, 2015, PÁG. 1).....	5
ILUSTRACIÓN 5. PICTOGRAFÍAS Y MAPAS LOCALIZADOS DENTRO DEL ARCHIVO GENERAL DE LA NACIÓN. (ARCHIVO GENERAL DE LA NACIÓN, S.F.) Y (ESPAÑA ILUSTRADA. PLANTILLA AWESOME INC., S.F.).....	6
ILUSTRACIÓN 6. CAMINOS DE PLATA. (LOS VIAJEROS, 2013)	7
ILUSTRACIÓN 7. HERNÁN CORTES. (BIOGRAFIAS Y VIDAS, 2014-2016)	8
ILUSTRACIÓN 8. RED Y NÚCLEOS POBLACIONALES DE LA NVA. VIZCAYA. PLANO ZUMPANGO.	9
ILUSTRACIÓN 9. CAMINOS PRINCIPALES Y CAMINOS TRANSVERSALES DE LA NUEVA VIZCAYA. CAMINOS MÁS FRECUENTADOS. (BUSTAMANTE ALTAMIRANO)	10
ILUSTRACIÓN 10. CAMINO DE LOS VIRREYES. MÉXICO-VERACRUZ. (BUSTAMANTE ALTAMIRANO).....	12
ILUSTRACIÓN 11. CAMINO DE ASIA. MÉXICO-ACAPULCO. (BUSTAMANTE ALTAMIRANO).....	13
ILUSTRACIÓN 12. CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO. MÉXICO-STA. FE (BUSTAMANTE ALTAMIRANO)	15
ILUSTRACIÓN 13. CAMINO DE LOS SALAZONES. MÉXICO- GUATEMALA. (BUSTAMANTE ALTAMIRANO)	16
ILUSTRACIÓN 14. CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO. (THEBESTTRAVELLED.COM., 2016)	17
ILUSTRACIÓN 15. CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO. (GOBIERNO DEL ESTADO DE DURANGO, 2010).....	17
ILUSTRACIÓN 16. CAMINO DE LA PLATA. (MI MÉXICO DE AYER, 2013)	18
ILUSTRACIÓN 17. RECUAS DE MULAS, CARROS DE BUEYES Y EVANGELIZADORES. (GOBIERNO DEL ESTADO DE DURANGO, 2010).....	20
ILUSTRACIÓN 18. PUENTE DEL DIABLO EN NAVACROYÁN, DGO. (MOBYPICTURE.COM, 2015).....	20
ILUSTRACIÓN 19. PUENTE COLGANTE DE LA MINA DE OJUELA. DURANGO Y COAHUILA. MÉXICO. (GRUPO AVIARE EDITORIAL, 2016)	21
ILUSTRACIÓN 20. UNESCO Y PATRIMONIO MUNDIAL DE LA HUMANIDAD. (PATRIMONIO-MEXICO.INAH.GOB.MX, S.F.).....	24
ILUSTRACIÓN 21. LLEGADA DE LOS ESPAÑOLES A TZINTZUNTZAN, MICHOACÁN, MÉXICO. (PEREYRA, S.F.)	25
ILUSTRACIÓN 22. MICHOAQUE "LOS DE LA TIERRA DEL PESCADO". (CULTURAYRS.ORG.MX, S.F.)	26
ILUSTRACIÓN 23. TERRITORIO Y RIQUEZA NATURAL DEL REINO P'URHÉPECHA. (VBULLETIN SOLUTIONS, INC., 2016).....	28
ILUSTRACIÓN 24. LOS PRIMEROS MAPAS EN LOS QUE SE SEÑALAN LOS CAMBIOS HACIA EL NORTE DE MÉXICO FUERON RESULTADO DE LAS INCURSIONES QUE LOS MISIONEROS EN SU AFÁN DE CATEQUIZAR EN TIERRAS LEJANAS IBAN REALIZANDO. COMO EJEMPLO TENEMOS ESTE PLANO DE SAN AGUSTÍN DE LAS CUEVAS, TLALPAN, QUE MARCA CAMINOS Y POBLADOS. (GRUPO TRADECO, 2013, PÁG. 29)	30
ILUSTRACIÓN 25. CAMINOS PRINCIPALES Y CAMINOS TRANSVERSALES DE LA NUEVA ESPAÑA. (BUSTAMANTE ALTAMIRANO).....	32
ILUSTRACIÓN 26. UBICACIÓN DEL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO. (CUENTAME, S.F.)	34
ILUSTRACIÓN 27. ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO DIVIDIDO CON SUS 113 MUNICIPIOS (INEGI, 2010).....	35
ILUSTRACIÓN 28. NOMBRES DE LOS MUNICIPIOS DE MICHOACÁN. (INEGI, 2010)	35
ILUSTRACIÓN 29. SUPERFICIE DEL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO. (CUENTAME, S.F.)	36
ILUSTRACIÓN 30. GLIFO DE MICHHUAHCAN. (GLIFO MICHHUAHCÁN.PNG, 2009).....	36
ILUSTRACIÓN 31. VASCO DE QUIROGA (PRIMER OBISPO DE MICHOACÁN MÁS CONOCIDO COMO EL TATA VASCO ENTRE LOS INDÍGENAS DE LA NUEVA ESPAÑA). (VASCO DE QUIROGA.JPG, 2007)	38
ILUSTRACIÓN 32. CATEDRAL METROPOLITANA DE MORELIA, MICHOACÁN. (ESPEJEL.COM, 2010)	40
ILUSTRACIÓN 33. PUENTE DE ÁRBOL PREHISTÓRICO. (PUENTES.GALEON.COM, S.F.)	41
ILUSTRACIÓN 34. PUENTE COLGANTE PREHISTÓRICO. (PUENTE HISTORIA, 2016).....	42
ILUSTRACIÓN 35. PUENTE DE ARCO ROMANO ABOVEDADO. (ROBLE.PNTIC.MEC.ES, S.F.).....	43
ILUSTRACIÓN 36. PUENTE DE PIEDRA TIPO ARCO APUNTALADO DEL SIGLO XVI EN MÉXICO. (MEXPLORA.COM, 2016).....	44
ILUSTRACIÓN 37. PARTES CARACTERÍSTICAS DE UN PUENTE EN ARCO Y PARTES QUE CONFORMAN EL ARCO. (LINKEDIN CORPORATION, 2016, PÁG. 1), (WORDPRESS.COM, 2016).....	45
ILUSTRACIÓN 38. PUENTE EN ARCO CON TABLERO SUPERIOR. (CUEVADEL CIVIL, 2013)	46
ILUSTRACIÓN 39. PUENTE EN ARCO CON TABLERO INFERIOR. (CUEVADEL CIVIL, 2013)	46
ILUSTRACIÓN 40. PARTES DE UN ARCO. (MUDEJARES.BLOGSPOT, 2012).....	47



ILUSTRACIÓN 41. PARTES QUE CONFORMAN AL PUENTE EN ARCO. (CATEDU.ES, 2009).....	47
ILUSTRACIÓN 42. PARTES DEL ARCO DE UN PUENTE. (WORDPRESS.COM, 2016).....	48
ILUSTRACIÓN 43. DISEÑO EN PLANTA Y ALZADO DE UN PUENTE VIRREINAL DE PIEDRA SOBRE EL RÍO DE JAMAPA.....	49
ILUSTRACIÓN 44. OBRAS DE DESVÍO. (SCT E IMCYC, PÁG. 16)	49
ILUSTRACIÓN 45. EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO. (SCT E IMCYC, PÁG. 17)	50
ILUSTRACIÓN 46. CIMENTACIÓN PROFUNDA POR MEDIO DE PILOTES DE MADERA, ENCEPADO DE MADERA Y RELLENO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 33)	50
ILUSTRACIÓN 47. CIMBRAS PROVISIONALES PARA PUENTE EN ARCO. (ARCOS25.BLOGSPOT, 2011).....	51
ILUSTRACIÓN 48. CONSTRUCCIÓN DE ARCOS SIMULTÁNEOS. (ARCOS25.BLOGSPOT, 2011).....	51
ILUSTRACIÓN 49. COLOCACIÓN DE DOVELAS Y PIEZAS PARA MUROS LATERALES. (ARCOS25.BLOGSPOT, 2011)	51
ILUSTRACIÓN 50. CONSTRUCCIÓN DE MUROS QUITAMIEDOS Y PAVIMENTACIÓN DE LA VÍA. (ARCOS25.BLOGSPOT, 2011).....	52
ILUSTRACIÓN 51. PUENTE VIRREINAL DEL SANTIAGO DE TAUTLA. HIDALGO. MEX. CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO. (UNESCO WORLD HERITAGE CENTRE, 2015).....	52
ILUSTRACIÓN 52. PARTES CARACTERÍSTICAS DE UN PUENTE EN VIGA. (MILIARIUM.COM, 2008) Y (BLOGSPOT.MX, 2014).....	53
ILUSTRACIÓN 53. ESQUEMA RESISTENTE LONGITUDINAL EN UN PUENTE ARCO DE FÁBRICA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 6).....	57
ILUSTRACIÓN 54. ESQUEMA RESISTENTE TRANSVERSAL EN UN PUENTE ARCO DE FÁBRICA. NO SE HA REPRESENTADO LA SOBRECARGA UNIFORME. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 7).....	57
ILUSTRACIÓN 55. ELEMENTOS DE UN PUENTE ARCO DE FÁBRICA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 9).....	58
ILUSTRACIÓN 56. TIPOS DE APAREJOS UTILIZADOS EN BÓVEDAS DE FÁBRICA DE LADRILLO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 11).....	59
ILUSTRACIÓN 57. SECCIÓN LONGITUDINAL DE UN PUENTE ARCO DE FÁBRICA DONDE SE PUEDE APRECIAR, LA BÓVEDA, UN RELLENO CEMENTADO CONFECCIONADO EN SILLERÍA Y EL RELLENO SUELTO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 12).....	61
ILUSTRACIÓN 58. SECCIÓN LONGITUDINAL DEL PUENTE SOBRE EL BARRANCO DEL TORRENT. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 13).....	61
ILUSTRACIÓN 59. CONFIGURACIÓN RESISTENTE. RELLENO RÍGIDO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 26)	63
ILUSTRACIÓN 60. ALINEACIÓN EN PLANTA DE TÍMPANOS DE ANCHO VARIABLE. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 27).....	64
ILUSTRACIÓN 61. GEOMETRÍA DE PILA. TALUD CONSTANTE. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 29)	65
ILUSTRACIÓN 62. CIMENTACIÓN SUPERFICIAL POR MEDIO DE ZAPATA DE SILLERÍA CON RELLENO DE MAMPOSTERÍA RÍGIDO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 32).....	67
ILUSTRACIÓN 63. CIMENTACIÓN SUPERFICIAL POR MEDIO DE ZAPATA DE SILLERÍA. PUENTE NEUF, PARÍS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 32).....	67
ILUSTRACIÓN 64. CIMENTACIÓN SUPERFICIAL POR MEDIO DE ZAPATA DE SILLERÍA SOBRE ROCA. PUENTE DE CANGAS DE ONIS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 32).....	68
ILUSTRACIÓN 65. CIMENTACIÓN PROFUNDA POR MEDIO DE PILOTES DE MADERA, ENCEPADO DE MADERA Y RELLENO. PUENTE WILSON Á TOURS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 33).....	68
ILUSTRACIÓN 66. CIMENTACIÓN PROFUNDA POR MEDIO DE PILOTES DE MADERA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 33).....	69
ILUSTRACIÓN 67. CIMENTACIÓN PROFUNDA POR MEDIO DE PILOTES. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 34)	69
ILUSTRACIÓN 68. CIMENTACIÓN PROFUNDA POR MEDIO DE PILOTES Y CAJONES HUECOS RELLENOS DE HORMIGÓN. PUENTE BOUCICAUT. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 34)	70
ILUSTRACIÓN 69. CIMENTACIÓN POR MEDIO DE CAJÓN RELLENO DE HORMIGÓN. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 35).....	70
ILUSTRACIÓN 70. CUADRO SINÓPTICO DE LOS DAÑOS POSIBLES EN CIMENTACIONES DE PILAS Y ESTRIBOS DE PUENTES DE BÓVEDAS DE FÁBRICA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 59)	77
ILUSTRACIÓN 71. EJEMPLO DE DETERIORO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL ZAPATA DE UN PUENTE DE FÁBRICA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 60).....	78
ILUSTRACIÓN 72. COLAPSO DEL PUENTE TOURS (ABRIL DE 1978). (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 57)	78
ILUSTRACIÓN 73. COLAPSO DEL PUENTE DE FERROCARRIL DE VEGUELLINA DE ÓRBIGO (LEÓN) EN MARZO DE 2001. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 58)	79
ILUSTRACIÓN 74. ARRASTRE Y PÉRDIDA DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 61)	80



ILUSTRACIÓN 75. EMPARRILLADO DE CIMENTACIÓN AL DESCUBIERTO COMO CONSECUENCIA DEL ARRASTRE DE LA PROTECCIÓN DE ESCOLLERA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 62)80

ILUSTRACIÓN 76. DAÑOS DEBIDOS A DISOLUCIÓN DE CAL EN ZAPATA Y ZÓCALO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 62).....81

ILUSTRACIÓN 77. FISURACIÓN DEBIDA A UN ATAQUE POR SULFATOS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 63)81

ILUSTRACIÓN 78. FISURACIÓN DEBIDA A UN ATAQUE POR SULFATOS A UN MORTERO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 63)82

ILUSTRACIÓN 79. FISURACIÓN DEBIDA A UNA REACCIÓN ÁRIDO-ÁLCALI Y PRESENCIA DE "LÁGRIMAS" DE GEL SÍLICE-ÁLCALI. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 64).....82

ILUSTRACIÓN 80. ABRASIÓN Y PUDRICIÓN DE ELEMENTOS DE MADERA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 64)83

ILUSTRACIÓN 81. SOCAVACIÓN GENERAL Y LOCAL DEL CAUCE. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 67).....84

ILUSTRACIÓN 82. ACCIÓN LOCAL DE LA CORRIENTE SOBRE LA CIMENTACIÓN DE UNA PILA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 68)85

ILUSTRACIÓN 83. ACCIÓN LOCAL DE LA CORRIENTE SOBRE LA CIMENTACIÓN DEL ESTRIBO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 69).....86

ILUSTRACIÓN 84. EJEMPLO DE FALLO POR MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE DOVELAS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 71)88

ILUSTRACIÓN 85. ESQUEMA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS (MECANISMO DE COLAPSO) COMO CONSECUENCIA DE UN GIRO EN BASE DE PILA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 72)88

ILUSTRACIÓN 86. DESCENSO DIFERENCIAL O GIRO TRANSVERSAL DE EJE LONGITUDINAL EN BASE DE PILA O ESTRIBO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 74)89

ILUSTRACIÓN 87. DESCENSO RELATIVO ENTRE PARAMENTOS LONGITUDINALES DEL PUENTE. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 75).....90

ILUSTRACIÓN 88. FISURACIÓN VERTICAL EN PILA POR DESCENSO RELATIVO ENTRE EXTREMOS Y PARTE CENTRAL. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 76)90

ILUSTRACIÓN 89. EMPUJE MÁXIMO DESARROLLADO POR LAS TIERRAS TRASDOSADAS AL ESTRIBO, TENIENDO COMO PUNTO DE APLICACIÓN EL ARRANQUE DE LA BÓVEDA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 77)91

ILUSTRACIÓN 90. DAÑOS INDUCIDOS EN BÓVEDAS Y TÍMPANOS COMO CONSECUENCIA DEL GIRO DE UN ESTRIBO. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 77)91

ILUSTRACIÓN 91. DAÑOS INDUCIDOS EN BÓVEDA Y ESTRIBOS COMO CONSECUENCIA DEL GIRO DE ÉSTOS ANTE UN EMPUJE DEL RELLENO DEL TRASDÓS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 78)92

ILUSTRACIÓN 92. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS PUENTES ESVIADOS DE FÁBRICA. PROBLEMAS DERIVADOS DE LA TORSIÓN EN LA PILA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 79)92

ILUSTRACIÓN 93. DESLIZAMIENTO Y VUELCO DE TÍMPANOS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 80)93

ILUSTRACIÓN 94. CLASIFICACIÓN DE LAS ACCIONES QUE CAUSAN IMPACTO EN LOS PUENTES DE FABRICA. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 83).....96

ILUSTRACIÓN 95. SILLARES DE GRANITO EN SECO. (LAJO, 1990).....97

ILUSTRACIÓN 96. SILLARES DE ARENISCA. (WORDPRESS, 2015)98

ILUSTRACIÓN 97. SILLARES DE CALIZA. (ALIBABA.COM, 2016)98

ILUSTRACIÓN 98. SILLERÍA DE LADRILLO A HUESO. (SOGESTONE, 2011).....99

ILUSTRACIÓN 99. EJEMPLO DE DAÑOS POR DETERIORO SUPERFICIAL. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 91)101

ILUSTRACIÓN 100. EJEMPLO DE PÁTINAS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 92)102

ILUSTRACIÓN 101. EJEMPLOS DE COSTRAS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 92).....102

ILUSTRACIÓN 102. EJEMPLOS DE EFLORESCENCIAS Y CRIPTOEFLORENCIAS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 93).....103

ILUSTRACIÓN 103. EJEMPLOS DE ALVEOLIZACIÓN O VESICULACIÓN. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 94)104

ILUSTRACIÓN 104. EJEMPLO DE DEPÓSITOS SUPERFICIALES. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 94)104

ILUSTRACIÓN 105. DAÑOS PRODUCIDOS POR PÉRDIDA DE MATERIAL DE JUNTAS Y AUN DE PIEZAS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 95).....105

ILUSTRACIÓN 106. EJEMPLOS DE PROCESOS DE ARENIZACIÓN O DESAGREGACIÓN GRANULAR. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 96).....105

ILUSTRACIÓN 107. PRESENCIA DE RUPTURAS POR LA ACCIÓN DE RAÍCES EN LOS PUENTES Y DESÓRDENES OCASIONADOS. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 97).....106

ILUSTRACIÓN 108. EJEMPLOS DE DISYUNCIONES. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 98).....107



ILUSTRACIÓN 109. EJEMPLO DE ACCIONES VANDÁLICAS EN EL PUENTE DE LA PIEDAD, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	108
ILUSTRACIÓN 110. EJEMPLOS DE DEFICIENCIAS DEBIDAS A INTERVENCIONES ANTERIORES. (MARTÍNEZ, MARTÍN-CARO, & LEÓN, 2003, PÁG. 98).....	108
ILUSTRACIÓN 111. PROGRAMA UTILIZADO PARA EL LEVANTAMIENTO DEL "CAMINO VIRTUAL" DE LOS PUENTES DE ESTUDIO. IGIS 8.2.0. (APPLE INC. , 2016).....	110
ILUSTRACIÓN 112. PLATAFORMAS DEL PROGRAMA IGIS 8.2.0. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	110
ILUSTRACIÓN 113. LEVANTAMIENTO DEL CAMINO VIRTUAL Y CENTRO DEL PUENTE CON LA APLICACIÓN IGIS MÓVIL UBICADO EN STA. FE DEL RÍO, MPIO. DE PENJAMILLO, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	111
ILUSTRACIÓN 114. PROGRAMA PARA DESCARGAS DE CARTOGRAFÍA SAS.PLANET (CARTOGRAFÍA DIGITAL, 2014).....	112
ILUSTRACIÓN 115. CARTOGRAFÍA DEL PUENTE CAVADAS, UBICADO EN EL MPIO. DE LA PIEDAD, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	112
ILUSTRACIÓN 116. SELECTOR DE CAPAS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	113
ILUSTRACIÓN 117. SELECCIÓN DEL ÁREA MEDIANTE POLÍGONOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	113
ILUSTRACIÓN 118. VENTANA DE DESCARGA CON SELECCIÓN DE MAPA Y DE NIVEL DE ZOOM. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	113
ILUSTRACIÓN 119. SOFTWARE ARCGIS9. VERSIÓN ARCMAP 9.3 (BLOGSPOT.MX, 2011).....	114
ILUSTRACIÓN 120. CAPAS DE LÍMITES DE LOS ESTADOS DE LA REPÚBLICA, ASÍ COMO LOS MUNICIPIOS DE MICHOACÁN DE OCAMPO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	114
ILUSTRACIÓN 121. LAYOUTS. PLATAFORMA PARA LA VISUALIZACIÓN, EDICIÓN E IMPRESIÓN DE MAPAS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	115
ILUSTRACIÓN 122. MAPA TERMINADO DE LOS MUNICIPIOS DONDE SE LOCALIZARON LOS PUENTES DE ESTUDIO EN EL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	115
ILUSTRACIÓN 123. PROGRAMA DE DIBUJO TÉCNICO AUTOCAD VERSIÓN 2014. (AUTODESK.COM, S.F.).....	116
ILUSTRACIÓN 124. INTERACCIÓN DE COMANDOS CON LA PLATAFORMA PRINCIPAL DE AUTOCAD2014. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	116
ILUSTRACIÓN 125. PUENTE CAVADAS UBICADO EN EL MPIO. DE LA PIEDAD, MICH. DIBUJADO EN PLANTA EN EL PROGRAMA AUTOCAD VERSIÓN 2014. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	117
ILUSTRACIÓN 126. PROGRAMA DE MODELADO EN 3D, REVIT VERSIÓN 2015. (IDENTI.LI, 2014).....	118
ILUSTRACIÓN 127. MODELO EN 3D DEL PUENTE UBICADO EN LA LOCALIDAD DE TIRIPETÍO, MPIO. DE MORELIA, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	119
ILUSTRACIÓN 128. PERSPECTIVA EN OTRO ÁNGULO DEL PUENTE DE TIRIPETÍO, MPIO. DE MORELIA, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	119
ILUSTRACIÓN 129. LOCALIZACIÓN DEL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO EN LA REPÚBLICA MEXICANA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	120
ILUSTRACIÓN 130. APARATOS DE MEDICIÓN DE LOS PUENTES. (CARTEGO.NET, 2014), (SUMINISTROS INDUSTRIALES HERMANOS BILLETE S.L., 2013) Y (GRUPO ACRE, S.L., S.F.).....	121
ILUSTRACIÓN 131. LEVANTAMIENTO DEL PUENTE EN PLANTA POR MEDIO DE LOS APARATOS DE MEDICIÓN ANTES MENCIONADOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	121
ILUSTRACIÓN 132. MUNICIPIOS EN EL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO EN LOS QUE SE LOCALIZARON LOS PUENTES A ESTUDIAR. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	122
ILUSTRACIÓN 133. CÓDICE PLANCARTE O CÓDICE CARAPAN. (STANFORD UNIVERSITY, STANFORD, CALIFORNIA 94305., S.F.) Y (VBULLETIN SOLUTIONS, INC., 2016).....	123
ILUSTRACIÓN 134. PUENTE UBICADO EN EL MUNICIPIO DE ANGAMACUTIRO, MICHOACÁN. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	124
ILUSTRACIÓN 135. LOCALIZACIÓN DEL MPIO. DE ANGAMACUTIRO EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉX. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	125
ILUSTRACIÓN 136. UBICACIÓN DEL PUENTE VÍA GPS. (SAS.PLANET.BIN, 2016), (ARCGIS9. VERSIÓN ARCMAP 9.3) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	126
ILUSTRACIÓN 137. CROQUIS EN PLANTA DEL PUENTE UBICADO EN EL MUNICIPIO DE ANGAMACUTIRO, MICHOACÁN. (AUTOCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	127
ILUSTRACIÓN 138. VEGETACIÓN EN MUROS DEL PRETIL (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	129
ILUSTRACIÓN 139. DESLAVE DE MATERIAL ASFÁLTICO Y SIGNOS DE VEGETACIÓN EN LA CALZADA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	129
ILUSTRACIÓN 140. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PUENTE Y ARRASTRE DE MATERIAL GRANULAR DE TAJAMARES. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	130
ILUSTRACIÓN 141. MUROS RESTAURADOS CON JUNTAS DE ROCA VOLCÁNICA Y MORTERO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	130
ILUSTRACIÓN 142. FRACTURAS EN EL INTRADÓS DEL ARCO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	130
ILUSTRACIÓN 143. DESMORONAMIENTO DE LA CORONA DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	131
ILUSTRACIÓN 144. RENDERIZADO DEL PUENTE GRANDE UBICADO EN EL MPIO. DE ANGAMACUTIRO, MICH. REALIZADO CON EL PROGRAMA REVIT2015. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	133



ILUSTRACIÓN 145. RENDERIZADO DEL PUENTE GRANDE UBICADO EN EL MPIO. DE ANGAMACUTIRO, MICH. REALIZADO CON EL PROGRAMA 3DS MÁX2015. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	133
ILUSTRACIÓN 146. PUENTE UBICADO EN EL MUNICIPIO DE TZINTZUNTZAN, MICHOACÁN. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	134
ILUSTRACIÓN 147. LOCALIZACIÓN DEL MPIO. DE TZINTZUNTZAN EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉX. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	134
ILUSTRACIÓN 148. UBICACIÓN DEL PUENTE VÍA GPS. (ARCGIS9. VERSIÓN ARCMAP 9.3), (SAS.PLANET.BIN, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	136
ILUSTRACIÓN 149. CROQUIS EN PLANTA DEL PUENTE UBICADO EN EL MUNICIPIO DE TZINTZUNTZAN, MICHOACÁN. (AUTOCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	137
ILUSTRACIÓN 150. INSCRIPCIONES EN EL PUENTE YAHUARO, TZINTZUNTZAN, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	138
ILUSTRACIÓN 151. PROPIEDAD DEL SR. ARTURO RENDÓN UBICADA AL PIE DEL PUENTE YAHUARO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	139
ILUSTRACIÓN 152. CALLE VICTORIA, CAMINO QUE DA A LA CALZADA DEL PUENTE YAHUARO. AL FONDO A LA IZQUIERDA LA CALLE ÁLAMO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	139
ILUSTRACIÓN 153. CASAS ALEDAÑAS CONSTRUIDAS AL PIE DE LOS ESTRIBOS DEL PUENTE, ASÍ COMO EL INVIABLE ACCESO AL PIE DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	140
ILUSTRACIÓN 154. SIGNOS DE VEGETACIÓN EN LAS ENJUTAS O TÍMPANOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	140
ILUSTRACIÓN 155. SIGNOS DE VEGETACIÓN EN LA CALZADA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	141
ILUSTRACIÓN 156. GAVIÓN EN EL INTERIOR DEL ARCO REALIZADO CON CONCRETO POR EL DPTO. DE OBRAS PÚBLICAS DEL MPIO. DE TZINTZUNTZAN. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	141
ILUSTRACIÓN 157. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	142
ILUSTRACIÓN 158. RESTAURACIONES REALIZADAS AL PUENTE POR LOS HABITANTES DE LA ZONA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	142
ILUSTRACIÓN 159. CAPA DE ASFALTO COLOCADA SOBRE LA CALZADA DE MATERIAL GRANULAR. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	142
ILUSTRACIÓN 160. PLACAS COLOCADAS EN EL PRETIL DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	143
ILUSTRACIÓN 161. MANCHAS DE HUMEDAD Y TELARAÑAS EN EL GAVIÓN Y EN EL INTRADÓS DEL ARCO DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	143
ILUSTRACIÓN 162. JUNTAS DE LOS ARCOS CERRADAS CON HORMIGÓN. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	143
ILUSTRACIÓN 163. RESTAURACIÓN DEL MURO DEL PRETIL CON LAJAS DE BASALTO Y MORTERO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	144
ILUSTRACIÓN 164. PUENTE UBICADO EN LA LOCALIDAD DE TIRIPETÍO, EN EL MPIO. DE MORELIA, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	146
ILUSTRACIÓN 165. LOCALIZACIÓN DE LA LOCALIDAD DE TIRIPETÍO EN EL MPIO. DE MORELIA EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉX. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	146
ILUSTRACIÓN 166. PRINCIPALES LOCALIDADES DE MORELIA, MICH. (MORELIA LOCALIDADES.SVG, 2010).....	148
ILUSTRACIÓN 167. UBICACIÓN VÍA GPS DEL PUENTE DE TIRIPETÍO. (ARCGIS9. VERSIÓN ARCMAP 9.3), (SAS.PLANET.BIN, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	149
ILUSTRACIÓN 168. CROQUIS EN PLANTA DEL PUENTE UBICADO EN LA LOCALIDAD DE TIRIPETÍO EN MORELIA, MICHOACÁN. (AUTOCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	150
ILUSTRACIÓN 169. VEGETACIÓN EN LA CALZADA DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	152
ILUSTRACIÓN 170. PRESENCIA DE VEGETACIÓN EN EL PRETIL DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	152
ILUSTRACIÓN 171. AISLAMIENTO DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	152
ILUSTRACIÓN 172. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	153
ILUSTRACIÓN 173. COLORACIÓN, HUMEDAD Y DESPRENDIMIENTO GRANULAR. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	153
ILUSTRACIÓN 174. JUNTAS RESTAURADAS CON MORTERO Y LAJA BASÁLTICA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	154
ILUSTRACIÓN 175. PUENTE UBICADO EN EL MPIO. DE LA PIEDAD, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	156
ILUSTRACIÓN 176. LOCALIZACIÓN DEL MPIO. DE LA PIEDAD EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉX. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	156
ILUSTRACIÓN 177. UBICACIÓN VÍA GPS DEL PUENTE CAVADAS. (ARCGIS9. VERSIÓN ARCMAP 9.3), (SAS.PLANET.BIN, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	158
ILUSTRACIÓN 178. CROQUIS EN PLANTA DEL PUENTE UBICADO EN EL MUNICIPIO DE LA PIEDAD, MICHOACÁN. (AUTOCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	159
ILUSTRACIÓN 179. AL FONDO, PUENTE VEHICULAR CONSTRUIDO PARA LA CONSERVACIÓN DEL PUENTE CAVADAS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	161
ILUSTRACIÓN 180. CABALLETE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	161
ILUSTRACIÓN 181. MANCHA URBANA ALCANZADA AL PIE DE LOS ESTRIBOS DEL PUENTE CAVADAS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	162
ILUSTRACIÓN 182. LUMINARIAS COLOCADAS EN EL PUENTE PARA DAR UNA MEJOR PROYECCIÓN DE ÉSTE CUANDO ANOCHECE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	162
ILUSTRACIÓN 183. PRESENCIA DE VEGETACIÓN EN LOS CONTRAFUERTE Y TAJAMARES. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	163



ILUSTRACIÓN 184. CALIDAD DEL AGUA DEL CAUCE QUE TRANSPORTA EL RÍO LERMA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	163
ILUSTRACIÓN 185. GAVIÓN AL PIE DEL ESTRIBO DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	163
ILUSTRACIÓN 186. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PUENTE EN ESTUDIO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	163
ILUSTRACIÓN 187. DESMORONAMIENTO EN LOS TAJAMARES. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	164
ILUSTRACIÓN 188. PÁTINAS, COSTRAS, ARENIZACIÓN Y FRACTURAS EN EL INTRADÓS DE LOS ARCOS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	164
ILUSTRACIÓN 189. CABALLETES Y CONTRAFUERTE SEMICIRCULARES CON DAÑOS ANTRÓPICOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	165
ILUSTRACIÓN 190. RESTAURACIONES AL PUENTE CON MORTERO Y/O CEMENTO, LAJAS DE CANTERA Y BASALTO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	165
ILUSTRACIÓN 191. PUENTE UBICADO EN EL MPIO. DE URUAPAN DEL PROGRESO, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	167
ILUSTRACIÓN 192. LOCALIZACIÓN DEL MPIO. DE URUAPAN DEL PROGRESO EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉX. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	167
ILUSTRACIÓN 193. LOCALIZACIÓN VÍA GPS DEL PUENTE. (ARCGIS9. VERSIÓN ARCMAP 9.3), (SAS.PLANET.BIN, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	168
ILUSTRACIÓN 194. CROQUIS EN PLANTA DEL PUENTE UBICADO EN EL MUNICIPIO DE URUAPAN, MICHOACÁN. (AUTOCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	169
ILUSTRACIÓN 195. PUENTE PEATONAL Y VEHICULAR. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	171
ILUSTRACIÓN 196. INVASIÓN DEL PUENTE POR LA MANCHA URBANA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	171
ILUSTRACIÓN 197. EXCESO DE VEGETACIÓN EN LA ZONA SUR PONIENTE DEL PUENTE. IMPOSIBLE EL ACCESO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	172
ILUSTRACIÓN 198. VEGETACIÓN EN LA ZONA SUR ORIENTE DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	172
ILUSTRACIÓN 199. MUSGO Y DESPRENDIMIENTO DE APLANADO EN EL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	172
ILUSTRACIÓN 200. GRAFITIS EN LAS DOVELAS Y ENJUTAS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	173
ILUSTRACIÓN 201. BALAUSTRÉS DEL PUENTE REALIZADOS EN FIERRO VACIADO Y DECORADO CON ADORNOS FLORALES. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	173
ILUSTRACIÓN 202. PILASTRAS DE CANTERÍA, CON EXFOLIACIÓN Y FALTANTE DE ELEMENTOS QUE LA COMPONEN. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	174
ILUSTRACIÓN 203. CALZADA DEL PUENTE CON AGRIETAMIENTOS Y DESPRENDIMIENTOS DE LA CARPETA ASFÁLTICA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	174
ILUSTRACIÓN 204. BANQUETAS EN PÉSIMAS CONDICIONES. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	175
ILUSTRACIÓN 205. DESMORONAMIENTO DE LOS BORDES DE LA CALZADA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	175
ILUSTRACIÓN 206. PILASTRAS Y DOVELAS CON PROBLEMAS DE ADHERENCIA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	175
ILUSTRACIÓN 207. ENJUTAS RESTAURADAS CON MORTERO Y ROCA BASÁLTICA Y/O VOLCÁNICA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	176
ILUSTRACIÓN 208. INTRADÓS DE LOS ARCOS CONTAMINADOS CON TELARAÑAS, PRESENCIA DE COSTRAS, DETERIORO DIFERENCIAL, ALVEOLOS, EXFOLIACIÓN, CRIPTOFLORESCENCIAS Y DESPRENDIMIENTO DE LAS CANTERAS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	176
ILUSTRACIÓN 209. TAJAMARES CON INVASIÓN DE VEGETACIÓN, DESMORONAMIENTO DE MATERIAL Y EFLORESCENCIAS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	177
ILUSTRACIÓN 210. PUENTE UBICADO EN EL MPIO. DE PENJAMILLO, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	179
ILUSTRACIÓN 211. LOCALIZACIÓN DEL MPIO. DE PENJAMILLO EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉX. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	180
ILUSTRACIÓN 212. UBICACIÓN DEL PUENTE VÍA GPS. (ARCGIS9. VERSIÓN ARCMAP 9.3), (SAS.PLANET.BIN, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	180
ILUSTRACIÓN 213. CROQUIS EN PLANTA DEL PUENTE UBICADO EN EL MUNICIPIO DE PENJAMILLO, MICHOACÁN. (AUTOCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	181
ILUSTRACIÓN 214. CONDICIONES DEL PUENTE Y FAUNA QUE HABITA EN EL RÍO LERMA CERCA DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	183
ILUSTRACIÓN 215. CONDICIONES DE LA CALZADA DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	183
ILUSTRACIÓN 216. SIGNOS DE VEGETACIÓN PRESENTES AL CONTORNO DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	184
ILUSTRACIÓN 217. FALTA DE PARAPETO PARA PROTECCIÓN DE USUARIOS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	184
ILUSTRACIÓN 218. CONDICIONES DE LAS GUARNICIONES DE LA CALZADA, ASÍ COMO LAS CONDICIONES DE LAS CAPAS DE CONCRETO QUE LAS CONFORMAN. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	184
ILUSTRACIÓN 219. CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE DE PENJAMILLO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	185
ILUSTRACIÓN 220. VIGUETAS DE ACERO QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	185
ILUSTRACIÓN 221. GUARNICIÓN O BANQUETA DE 90CM DE ANCHO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	186
ILUSTRACIÓN 222. A LA IZQUIERDA SOPORTES O PILASTRAS EN FORMA SEMICIRCULAR. A LA DERECHA PILASTRAS RECTAS. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	186



ILUSTRACIÓN 223. GUARNICIONES ELABORADAS CON MAMPOSTERÍA EN LOS EXTREMOS DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	186
ILUSTRACIÓN 224. PILARES DEL PUENTE CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	187
ILUSTRACIÓN 225. VIGAS CORROÍDAS DEBIDO A LA EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016) ..	187
ILUSTRACIÓN 226. A LA IZQUIERDA. DEFORMACIONES EN LA CALZADA DEBIDO A LAS CARGAS DE LOS VEHÍCULOS. A LA DERECHA. FISURAS Y EXFOLIACIÓN DE LA PARTE INFERIOR DE LA CALZADA DEL PUENTE. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	187
ILUSTRACIÓN 227. CAMINOS PRINCIPALES Y TRANSVERSALES DE LA NUEVA ESPAÑA. (BUSTAMANTE ALTAMIRANO).....	191
ILUSTRACIÓN 228. RUTAS TRAZADAS SOBRE AUTOPISTAS Y CAMINOS ACTUALES AL NORT-ORIENTE DE MICHOACÁN. EN EL SEGMENTO MÉXICO-ZACATECAS. (BUSTAMANTE ALTAMIRANO).....	191
ILUSTRACIÓN 229. CORREDORES TRONCALES DE LA RED CARRETERA ACTUAL DE MÉXICO. (SCT.GOB, 2012) 192	
ILUSTRACIÓN 230. CARRETERAS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE ANGAMACUTIRO DE LA UNIÓN, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	194
ILUSTRACIÓN 231. CARRETERAS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE LA PIEDAD DE CAVADAS, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	195
ILUSTRACIÓN 232. CARRETERAS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE STA. FE DEL RÍO, PENJAMILLO, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	196
ILUSTRACIÓN 233. CARRETERAS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE TIRIPETÍO, MORELIA, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	198
ILUSTRACIÓN 234. CARRETERAS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE TZINTZUNTZAN, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	199
ILUSTRACIÓN 235. CARRETERAS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE URUAPAN DEL PROGRESO, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	200
ILUSTRACIÓN 236. RÍOS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE ANGAMACUTIRO DE LA UNIÓN, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	201
ILUSTRACIÓN 237. RÍOS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE LA PIEDAD DE CAVADAS, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	202
ILUSTRACIÓN 238. RÍOS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE STA. FE DEL RÍO, PENJAMILLO, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	202
ILUSTRACIÓN 239. RÍOS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE TIRIPETÍO, MORELIA, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	203
ILUSTRACIÓN 240. RÍOS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE TZINTZUNTZAN, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	204
ILUSTRACIÓN 241. RÍOS QUE CONFORMAN AL PUENTE DE URUAPAN DEL PROGRESO, MICH. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	204
ILUSTRACIÓN 242. VÍAS PROPUESTAS SOBRE LAS CARRETERAS ACTUALES DE LOS ESTADOS DE MICHOACÁN Y GTO, TOMANDO COMO PUNTO DE PARTIDA EL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO Y EL CAMINO MÉXICO- ZACATECAS, ASÍ COMO LOS VESTIGIOS DE LOS PUENTES VIRREINALES. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	206
ILUSTRACIÓN 243. DISEÑO DE LA PRIMER VÍA SECUNDARIA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	206
ILUSTRACIÓN 244. ENUMERACIÓN DE LOS MUNICIPIOS POR LOS QUE PASA LA VÍA PROPUESTA NO.1. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	207
ILUSTRACIÓN 245. DISEÑO DE LA SEGUNDA VÍA SECUNDARIA. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	209
ILUSTRACIÓN 246. ENUMERACIÓN DE LOS MUNICIPIOS POR LOS QUE PASA LA VÍA PROPUESTA NO.2. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	210
ILUSTRACIÓN 247. COMBINACIÓN DE LAS VÍAS SECUNDARIAS PROPUESTAS. DE COLOR ROSA: VÍA SECUNDARIA 1, DE AZUL: VÍA SECUNDARIA 2 Y DE MORADO: UNIÓN DE LAS VÍAS 1 Y 2. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	211
ILUSTRACIÓN 248. ENUMERACIÓN DE LOS MUNICIPIOS POR LOS QUE PASA LA VÍA PROPUESTA NO.3. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)	212
ILUSTRACIÓN 249. PARAMENTO VERTICAL DE UNA CONSTRUCCIÓN. (CHOISY, 2003).....	237
ILUSTRACIÓN 250. PUENTE DE LA LIBERTAD, GUADALAJARA DE BUGA, COLOMBIA. (GUADALAJARADEBUGA- VALLE, S.F.).....	239
ILUSTRACIÓN 251. NOMENCLATURA DE LAS CARAS Y ARISTAS DE UN LADRILLO. (TIPOSDE.ORG, 2016)	240
ILUSTRACIÓN 252. PUENTE AJOLÍ O PUENTE DEL REY, SEVILLA, ESPAÑA. (UNIVO.EDU, 2016) Y (HERMANDADROCIOSEVILLA, S.F.)	242
ILUSTRACIÓN 253. PUENTE DE LA PASARELA DE LAS ARTES EN PARÍS. (PREVIEWS.123RF, S.F.).....	243
ILUSTRACIÓN 254. PUENTE IRONBRIDGE, (SIGLO XVIII), SHOPSHIRE, GRAN BRETAÑA. (PUENTEMANIA, 2011) ..	244
ILUSTRACIÓN 255. PUENTE EADS BRIDGE. SAINT-LOUIS, EEUU, (SIGLO XIX), (PUENTEMANIA, 2011).....	245
ILUSTRACIÓN 256. PUENTE SALGINATOBEL. (INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, 2011) ..	246
ILUSTRACIÓN 257. PUENTE DEL BLVD. QUIROGA EN HERMOSILLO, (ENTUOBRA, 2011) Y (TRABIS, 2016).....	247
ILUSTRACIÓN 258. PUENTE DE OSERA DE EBRO, SIGLO XX, (PUENTEMANIA, 2011).....	249
ILUSTRACIÓN 259. EL PUENTE DE FORTH (EN INGLÉS, FORTH BRIDGE). (MEGACONSTRUCCIONES, S.F.).....	249
ILUSTRACIÓN 260. PUENTE DE PIEDRA DE VALDERROBRES, (PUENTEMANIA, 2011).....	251



ILUSTRACIÓN 261. PUENTE CLIFTON BRIDGE, (PUENTEMANIA, 2013).....	252
ILUSTRACIÓN 262. PUENTE POSADAS-ENCARNACIÓN, PUENTE INTERNACIONAL SAN ROQUE GONZÁLEZ DE SANTACRUZ, (PUENTEMANIA, 2011, PÁG. 1).....	253
ILUSTRACIÓN 263. PUENTES ATIRANTADOS: PUENTE ESPECIAL BALUARTE, PUENTE NORMANDÍA Y PUENTE DE TATARA. (BOWERBIRD INGENIERÍA. ING. S.F.), (CADIZENBICI, S.F.) Y (ARQHYS, 2015).....	254
ILUSTRACIÓN 264. PUENTE EN VOLADIZO, MEDIANTE ATIRANTAMIENTO EN ABANICO: A PARTIR DEL PRIMER SOPORTE DEL TABLERO SITUADO SOBRE EL ARRANQUE DEL ARCO, ACTUANDO COMO PARTE DE LA TORRE DE ATIRANTAMIENTO. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.PDF, S.F., PÁG. 24).....	256
ILUSTRACIÓN 265. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE PUENTE POR VOLADIZOS SUCESIVOS ATIRANTADOS CON TORRE PROVISIONAL MEDIANTE CABLE COLGADO. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.PDF, S.F., PÁGS. 25, 26) .	256
ILUSTRACIÓN 266. PUENTE EN VOLADIZO, TRIANGULACIÓN DEL CONJUNTO ARCO-TABLERO: SE CREA UN SISTEMA RETICULADO PROVISIONAL UTILIZANDO COMO MONTANTES LOS SOPORTES DEL TABLERO, EL TABLERO COMO CORDÓN SUPERIOR Y DISPONIENDO DE TIRANTES SEGÚN LAS DIAGONALES. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.PDF, S.F., PÁG. 28)	257
ILUSTRACIÓN 267. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE RÍO ALMONTE, CÁCERES, SEVILLA. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.PDF, S.F., PÁG. 29)	257
ILUSTRACIÓN 268. ARCO DEL PUENTE DEL RÍO ALMONTE, SEVILLA EN CONSTRUCCIÓN. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.PDF, S.F., PÁG. 31)	258
ILUSTRACIÓN 269. DETALLE DE LA CIMBRA Y ENCOFRADOS DEL PUENTE ALBRECHTSGRABEN, ALEMANIA. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.PDF, S.F., PÁGS. 20, 21)	259
ILUSTRACIÓN 270. CONSTRUCCIÓN DE PUENTE POR EL MÉTODO DE LA AUTOCIMBRA. (CIVILGEEKS.COM, 2016)	259
ILUSTRACIÓN 271. EJECUCIÓN DEL PUENTE ARCOS DE ALCONÉJAR, CÁCERES, ESPAÑA. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.PDF, S.F., PÁG. 22)	260
ILUSTRACIÓN 272. EL PUENTE ARCOS DE ALCONÉJAR, CÁCERES, ESPAÑA. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.PDF, S.F., PÁG. 23).....	260
ILUSTRACIÓN 273. PUENTE TIPO VIGA O VIGUETAS. (BLOGSPOT.MX, 2013)	261
ILUSTRACIÓN 274. PUENTE DE VIGAS ARMADAS DE VÍA INFERIOR. (INGENIEROCIVILINFO.COM, 2015)	261
ILUSTRACIÓN 275. PUENTE DE VIGAS ARMADAS DE PASO ALTO. (INGENIEROCIVILINFO.COM, 2015)	262
ILUSTRACIÓN 276. PUENTE CONTINUO DE TRES TRAMOS. (PUENTES.GALEON.COM, 2015)	262
ILUSTRACIÓN 277. TIPOS DE ELEMENTOS HORIZONTALES EMPLEADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES EN VIGA. (INGENIEROCIVILINFO.COM, 2015)	263
ILUSTRACIÓN 278. EJEMPLOS DE VIGAS ARTESA, DOBLE T Y PREFABRICADAS. (OCW, S.F.)	263
ILUSTRACIÓN 279. DISEÑO DE LOSA ALIGERADA. (OCW, S.F.).....	264
ILUSTRACIÓN 280. ELEMENTO HORIZONTAL TIPO CAJÓN. (EISENBAHNBRUECKENQUERSCHNITT.PNG, 2006) ..	264
ILUSTRACIÓN 281. EJEMPLO DE CAJÓN PREFABRICADO. (OCW, S.F.).....	265
ILUSTRACIÓN 282. EMPLEO DE GRÚAS EN PUENTES TIPO VIGA. (OCW, S.F., PÁG. 27).....	265
ILUSTRACIÓN 283. MONTAJE DE LOSA EN PUENTE TIPO VIGA. (OCW, S.F., PÁG. 27).....	265
ILUSTRACIÓN 284. EJEMPLOS DE CIMBRA ESTÁTICA. (OCW, S.F., PÁG. 28)	266
ILUSTRACIÓN 285. EJEMPLO DE CIMBRA ESTÁTICA. (OCW, S.F., PÁG. 28)	266
ILUSTRACIÓN 286. EJEMPLO DE CIMBRA DESPLAZABLE. MOVIMIENTO DE LA CIMBRA Y DEL ENCOFRADO SOBRE EL CARRIL DE LA RODADURA INFERIOR. (OCW, S.F., PÁG. 29)	266
ILUSTRACIÓN 287. EJEMPLO DE AUTOCIMBRA. (ULMA C Y E, S. COOP., 2015).....	267
ILUSTRACIÓN 288. MECANISMOS DE USO DE UNA AUTOCIMBRA. (ULMACONSTRUCTION.ES, 2015)	267
ILUSTRACIÓN 289. PARTES QUE CONFORMAN A UN CARRO DE AVANCE. (ULMA C Y E, S. COOP., 2015).....	268
ILUSTRACIÓN 290. AVANCE EN VOLADIZO POR MEDIO DE UN CARRO DE AVANCE. (PUENTE CHILINA, 2013)	268
ILUSTRACIÓN 291. EJEMPLO DE VIGAS AUTOLANZABLES. (ULMA C Y E, S. COOP., 2015)	269
ILUSTRACIÓN 292. EJEMPLO DE AVANCE DE VIGAS AUTOLANZABLES. (OCW, S.F., PÁG. 31)	269
ILUSTRACIÓN 293. PARTES GENERALES DE LOS PUENTES. (OCW, S.F., PÁG. 191).....	271
ILUSTRACIÓN 294. PUENTE MORELOS, UBICADO EN EL MPIO. DE CARÁCUARO, MICH. (FLICKR.COM, 2008)	274
ILUSTRACIÓN 295. PARTES REPRESENTATIVAS DE LA CALZADA DEL PUENTE MORELOS, CARÁCUARO, MICH., (EN.MEXICO.PUEBLOSAMERICA.COM, S.F.), (VAMONOSALBABLE.BLOGSPOT.MX, 2015) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).....	274
ILUSTRACIÓN 296. CRECIDA DEL RÍO CARÁCUARO EN EL PUENTE MORELOS, MPIO DE CARÁCUARO, MICH. (EN.MEXICO.PUEBLOSAMERICA.COM, S.F.)	275



U.M.S.N.H
TESIS PROFESIONAL

INGENIERÍA CIVIL
"ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PUENTES VIRREINALES DE FINALES DEL SIGLO XVI
A PRINCIPIOS DEL SIGLO XIX EN MICHOACÁN, MÉXICO"





1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el hombre se ha dado a la tarea de alcanzar lugares más allá de donde su vista pueda alcanzar y tratar de llegar a ellos de una manera; eficaz, segura y rápida. La implementación de los puentes para cruzar arroyos, conectar ciudades, agilizar el comercio y por supuesto para llegar con mayor rapidez a un destino, son unas de las muchas funciones que tiene el arte de construir un puente.

Al paso de los años, la construcción de dichos puentes se ha vuelto cada vez más exigente, tanto en el alcance como en la implementación de los materiales para la realización de los mismos. Al principio de los tiempos, los materiales pioneros en su construcción fueron la madera y la piedra. Según se fue avanzando en el conocimiento de los materiales y en la forma en que estos resistían, se dio primicia a que los puentes se fueran construyendo cada vez más altos y con dimensiones más rigurosas. La madera quizá fue el primer material usado, seguido de la piedra y el ladrillo, dando paso al acero y al hormigón, hasta llegar a materiales implementados hoy en día como lo es la fibra de carbono con diseños nunca antes utilizados.

Hablar de puentes, es hablar de rutas de comunicación, rutas que daban paso a la exportación e importación de productos, dando lugar al crecimiento tanto industrial como económico de una provincia. Todo esto nos lleva sin más preámbulos al Camino Real de Tierra Adentro. Considerada la ruta más larga de Norte-América, la que por 300 años vinculó a la Cd. de México con la última frontera de la Nva. España. Esta ruta recorre 2900 Km. De extensión que la convierte en la más antigua y extensa de América y, comprende los estados de: Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Edo. De México, Cd. de México, San Luis Potosí, Jalisco, Zacatecas, Durango y Chihuahua. Y partes de E.U.A como; Cd. de Sta. Fe Nvo. México.



Por más de 300 años, fue un puente de intercambio tanto cultural como de ideales.

Su traza fue utilizada por los conquistadores para desarrollar el comercio, facilitar las campañas militares, apoyar la colonización y llevar a cabo la Evangelización en el norte de la Nva. España.

El camino real no solo sirvió para transporte de mercancía y tropas también para el paso de los insurgentes en la lucha de independencia. Sirvió al gobierno republicano de Benito Juárez. Aunque el camino real dejó de tener carácter real con la consumación de la independencia continuó siendo la columna vertebral del país.

Hoy en día quedan algunos vestigios de lo que fue el camino real de tierra adentro, los cuales son considerados; Patrimonio de la Humanidad.



2. OBJETIVO

Generar un Manual o procedimiento para evaluar e inspeccionar el estado que guardan puentes virreinales regularmente de mampostería, basado en procedimientos de evaluación de puentes modernos.

Dar a conocer las condiciones actuales en las cuales se encuentran los puentes a ser evaluados para sugerir medidas de mantenimiento y/o conservación y así; garantizar la preservación futura tanto de los puentes como del patrimonio cultural asociado a estos.

Actualizar y consolidar los datos para profundizar el estudio y conservación de los puentes virreinales a ser evaluados en este estudio que pertenezcan al estado de Michoacán.

Establecer criterios con bases razonables que dicten si realmente Michoacán de Ocampo tiene relación con la caminería colonial como es el caso del Camino Real de Tierra Adentro. Para que estos puentes virreinales, así como los caminos antiguos sean considerados para formar parte del patrimonio de la humanidad.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES: LOS CAMINOS DE MÉXICO

3.1.1. INTRODUCCIÓN

El itinerario Antonino es un compendio de rutas elaborado en el siglo III d. C., donde queda demostrado -a través de numerosas vías- como el imperio romano llegó a ser la gran potencia de la Antigüedad precisamente por contar con una extensa red carretera.



Ilustración 1. Itinerario Antonino o Itinerario de Antonino Augusto Caracalla es un documento de la Roma antigua, que se supone redactado en el siglo III, en el que aparecen recopiladas las rutas del Imperio romano. (Ayuntamiento de A Coruña, España, 2009, pág. 1)

A decir de los investigadores, este itinerario fue creado para ubicar los núcleos poblacionales para así poder tener una forma más precisa de cobrar impuestos. En el documento quedan señaladas 372 rutas. Sin duda, es uno de los vestigios informativos carreteros más valiosos que tiene la humanidad.

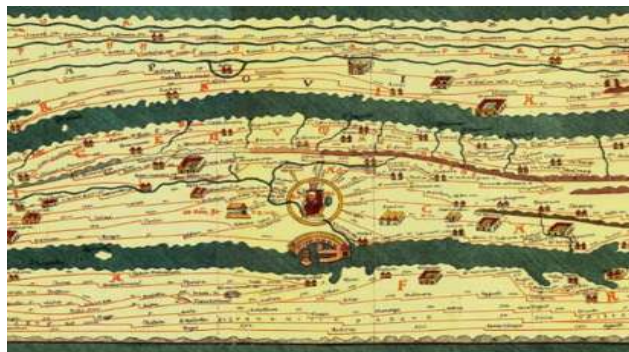


Ilustración 2. Tabula Peutingeriana. (iedA, s.f., pág. 1)

Detalle de la zona de Roma. Su objetivo no es representar la forma de la tierra, sino que quede bien reflejada la posición de los núcleos urbanos y la distancia entre ellos. Por todo ello, Italia está representada como una larga y estrecha franja, rodeada por otras dos más estrechas en verde oscuro que son los mares Adriático y Tirreno. (iedA, s.f., pág. 1)

Las redes carreteras, que conllevan intrínsecamente la construcción de puentes que salvan obstáculos orográficos, es una historia de comunicación de todo tipo.

Retomando el ejemplo de las carreteras romanas: por ellas pasaron personas, productos, ejércitos y colonizadores.

En el caso de México, también tenemos grandes ejemplos de rutas carreteras prehispánicas en territorio mesoamericano. Vestigios de éstas son los Sacbeob¹ (caminos blancos), de los mayas, que lograron comunicar a las diferentes ciudades de esa cultura. (Ayuntamiento de A Coruña, España, 2009)



Ilustración 3. Sacbeob o caminos blancos de los mayas. (*Sacbe Dzibilchaltun.jpg*, 2002)

A la izquierda. Sacbé en Chichén Itzá entre el Templo "Osario" y el Templo Xtoloc.

A la derecha. Sacbé Dzibilchaltún, Yucatán.



Ilustración 4. El comienzo del Sacbé maya de Cobá hacia Yaxuná. Pocos Sacbeob largos se conservan hasta hoy en día. Un sacbé muy conocido conecta Uxmal con Kabah, que se caracteriza por un arco voladizo en cada extremo. Este Sacbé de 100 km que unen las ciudades

¹ Sacbeob.- Los caminos sagrados de los mayas llamados por ellos como sacbé (también llamado camino blanco; Sacbeob en plural) es un camino maya construido en las tierras bajas mayas, y que se eleva 50cm entre dos paredes llenas de guijarros, que está recubierto con un mortero de cal para protegerlo de la intemperie.

Origen del nombre: La palabra proviene del idioma maya sac 'blanco' y be 'camino'. El sacbé era blanco debido al recubrimiento de cal que cubría su base de piedras.

Uso y significado: Los Sacbeob cortos conectaban templos, plazas y estructuras de grupo dentro de los centros ceremoniales y ciudades. Los Sacbeob largos se utilizaron para conectarse entre ciudades. También el sacbé ayudó en el aumento del comercio y las comunicaciones entre las ciudades, aunque parece que todo sacbé tenía más un significado religioso, político y simbólico. Los Sacbeob de Yucatán son los más conocidos, ya que todo el territorio estuvo cubierto por la antigua civilización maya. La más antigua se remonta al período pre-clásico. (Historia Universal, 2015)

antiguas de Cobá y Yaxuná fue considerado durante décadas como el sacbé más largo. (*Historia Universal*, 2015, pág. 1)

A la izquierda. Comienzo del Sacbé maya de Cobá hacia Yaxuná.

A la derecha. Arco al final del sacbé, Kabah, Yucatán.

Siglos después, durante el Virreinato, los caminos continuaron su función de comunicar a las diferentes provincias. Numerosos planos existentes en archivos, como el General de la Nación² dan cuenta de cómo se trataba de llegar no solo a las poblaciones, sino también a los lugares donde estaban los recursos. Famosos en este sentido son llamados "Caminos de la Plata", útiles para el movimiento de los productos que las minas del virreinato estaban desbordando. (Grupo Tradeco, 2013, pág. 21 a 24)



Ilustración 5. Pictografías y Mapas localizados dentro del Archivo General de la Nación. (*Archivo General de la Nación, s.f.*) Y (*España Ilustrada. Plantilla Awesome Inc., s.f.*)

A la izquierda.- Pictografía colonial en el que predomina un estilo netamente indígena o de influencia indígena, donde se presentan glifos prehispánicos.

A la derecha.- Mapa de la república mexicana durante el virreinato de la Nueva España siglo XVI

² El Archivo General de la Nación es un conjunto documental de riqueza informativa e histórica. Cuenta con una colección de Mapas, Planos e Ilustraciones que se resguarda en el Centro de Información Gráfica (CIG), estructurado éste en tres áreas: fototeca, mapoteca y genealogía. En la mapoteca se resguardan aproximadamente 8,000 documentos entre mapas, planos e ilustraciones de los siglos XVI al XX, en diferentes soportes como papel, tela, piel y papel indígena. Se cuenta con una colección cartográfica extensa. Existen planos de construcciones civiles, eclesiásticas y militares, planos técnicos y urbanos, mapas, ilustraciones y pictografías coloniales. Entre los planos de construcciones civiles encontramos: "edificios públicos, caminos, acueductos, puentes, monumentos y casas habitación". (*Archivo General de la Nación, s.f., pág. 1*)

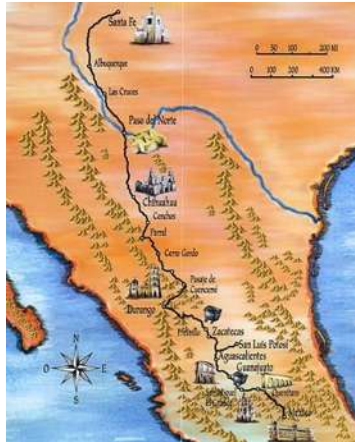


Ilustración 6. Caminos de plata.³ (Los Viajeros, 2013)

3.1.2. LOS CAMINOS DE LA HISTORIA: ÉPOCA VIRREINAL

La sociedad colonial aprovechó varias de las rutas prehispánicas, al mismo tiempo que creaba nuevas conforme a la estructura del nuevo espacio político y económico bajo el dominio español. El territorio que ahora ocupa México fue sometido por un puñado de españoles con la ayuda principalmente de pueblos indígenas anteriormente conquistados por los aztecas, con quienes los invasores tejieron alianzas como en el caso de los tarascos, zempoalenses y tlaxcaltecas.

La primera incursión se debió a Hernán Cortés quien partió de La Antigua, cerca del actual puerto de Veracruz, para alcanzar en 1521 la ciudad más importante del altiplano: Tenochtitlán. Esta ciudad era entonces más grande que cualquier ciudad europea. A partir de la caída de Tenochtitlán debida en buena parte a la incidencia de las epidemias que diezmaron a la población, los españoles siguieron sus empresas de conquista. Abrieron caminos terrestres de herradura para alcanzar con sus caballos las diferentes poblaciones indígenas por someter a la corona española. En un principio, se contentaron con ensanchar los caminos prehispánicos para que pasaran los equinos desconocidos en el Nuevo Mundo.

³ La Ruta de la Plata, forma parte del Camino Real que durante el virreinato de la Nueva España tuvo como función comunicar al Real de Minas de Zacatecas con la ciudad de México. Su nombre se refiere a que por este camino pasaban las recuas de mulas con la plata que le correspondía al Rey de España. Las caravanas, en un principio mensuales, solían estar acompañadas por soldados debido a las amenazas que por mucho tiempo presentaron las tribus nómadas del Norte de México. Las caravanas llevaban a la Ciudad de México la plata extraída tanto en Zacatecas, como en los ahora estados de Chihuahua y Durango. (Los Viajeros, 2013, pág. 1)



Ilustración 7. Hernán Cortés. (*Biografiasy Vidas, 2014-2016*)

Conquistador español de México. Con escasos medios, sin apenas más apoyo que su inteligencia y su intuición militar y diplomática, logró en sólo dos años reducir al dominio español el esplendoroso Imperio azteca.

Entre las expediciones de descubrimiento y conquista más importantes se encuentran las del mismo Hernán Cortés hacia Nuevo Santander (1522) y Honduras (1524); Francisco de Orozco hacia Oaxaca (1521); Pedro de Alvarado hacia el Mar del Sur en Tututepec y Tehuantepec (1522) y hacia Guatemala (1524); Cristóbal de Olid hacia Tzintzuntzan (*Valladolid, actual Morelia, 1522*), Zacatula y Colima (1523); Gonzalo de Sandoval hacia Medellín (Veracruz) y Zacatula (Michoacán) y Colima (1523); Francisco de Montejo (padre, hijo y sobrino) y Alonso de Ávila en la Península de Yucatán (1527-1542); Nuño Beltrán de Guzmán la Nueva Galicia hacia los ahora estados de *Michoacán*, Guanajuato, Jalisco hasta Zacatecas (1529-1531); Francisco Vázquez de Coronado en Jalisco, Sinaloa, Sonora hasta el Actual Arizona (1540); Gines de Mercado de Guadalajara a Durango (1552); Francisco de Ibarra hacia Durango y Topia, Villa de San Felipe, Culiacán, San Sebastián (Sinaloa) (1554-1567) y Luis de Carbajal hacia el Nuevo Reino de León en Monterrey y Saltillo (1580); Juan de Oñate quien atravesó la América Septentrional desde Zacatecas y recorrió los actuales estados de Zacatecas, Durango, Chihuahua y Nuevo México (1596-1598). (LOS CAMINOS DE LA HISTORIA: ÉPOCA VIRREINAL, págs. 1,2)

El interés en la época colonial por otras mercancías, modificó sustancialmente la red de los intercambios y obligó a los conquistadores a abrir otros caminos hacia regiones a menudo de difícil acceso. Los esfuerzos por descubrir y explotar recursos naturales dieron origen a nuevas vías de comunicación. Durante la colonia, el caso más señalado fue sin duda la actividad minera y principalmente la extracción de la plata. Gracias al interés de los españoles por los metales preciosos, se colonizaron nuevas regiones y se configuró una red vial a partir de los reales mineros con el fin de beneficiar y exportar el producto de las minas. Como parte de este proceso surgieron otras actividades (la agricultura, la ganadería, ciertas manufacturas necesarias para la vida cotidiana, el comercio, etc.) indispensables para abastecer a las explotaciones mineras. A medida que se descubrían nuevas vetas o se

consolidaban los centros mineros, surgían centros de población y se abrían caminos y brechas en torno a ellos.



Ilustración 8. Red y Núcleos Poblacionales de la Nva. Vizcaya. Plano Zumpango.

Desde el siglo XVI, cuando los conquistadores se establecieron en las diferentes regiones de la Nueva España, Nueva Galicia, Nueva Vizcaya, Nuevo Santander y Nuevo León, surgieron nuevas rutas de transporte de mercancías. Las comunicaciones durante la Colonia se construyeron con base en dos ejes perpendiculares entre sí. El primero que fue trazado de Oriente hacia Occidente, entre Veracruz-México-Acapulco/Navidad y constituyó un colosal puente entre los océanos atlántico-pacífico, conocidos en ese entonces como el Mar del Norte y Mar del Sur, respectivamente. El otro eje, el Norte-Sur, fue el que unía a la región septentrional de la Colonia con la ciudad de México y a su vez con Oaxaca y Guatemala. Cabe señalar sin embargo que esos ejes no eran transitados a lo largo de todo el año. Las ferias de Acapulco y Xalapa se celebraban una vez al año y era sólo entonces cuando concurrían los comerciantes a esos dos lugares para adquirir mercancías europeas y asiáticas. En cuanto a las conductas que alcanzaban el Nuevo México era bianuales. (LOS CAMINOS DE LA HISTORIA: ÉPOCA VIRREINAL, págs. 2,3)

El barón Alejandro de Humboldt, entre muchos aspectos de la vida económica y social de nuestro país, se ocupó en particular de los caminos, quien escribió:

“Como las comunicaciones con Europa y Asia no se hacen más que por los dos puertos de Veracruz y Acapulco, todos los objetos de importación y exportación pasan necesariamente por la capital, que por esta razón se ha hecho el punto central del comercio interior. La ciudad de México, situada sobre el lomo de las cordilleras, dominando, se puede decir, sobre los dos mares, está distante en línea recta, 69 leguas de Veracruz, 66 de Acapulco, 79 de Oaxaca y 440 de Santa Fe del Nuevo México. Resulta de esta posición de la capital, que los caminos más frecuentados y más importantes para el comercio son:

- 1° El de México a Veracruz, por la Puebla y Xalapa.
- 2° El de México a Acapulco, por Chilpancingo.
- 3° El de México a Guatemala, por Oaxaca.
- 4° El de México a Durango y Santa Fe del Nuevo México, vulgarmente llamado *el camino de tierra adentro*; los caminos que van de México, sean a San Luis Potosí y a Monterrey, sean a *Valladolid* y a Guadalajara, *pueden considerarse ramificaciones del camino real de Las Provincias Internas*. (LOS CAMINOS DE LA HISTORIA: ÉPOCA VIRREINAL, pág. 3)

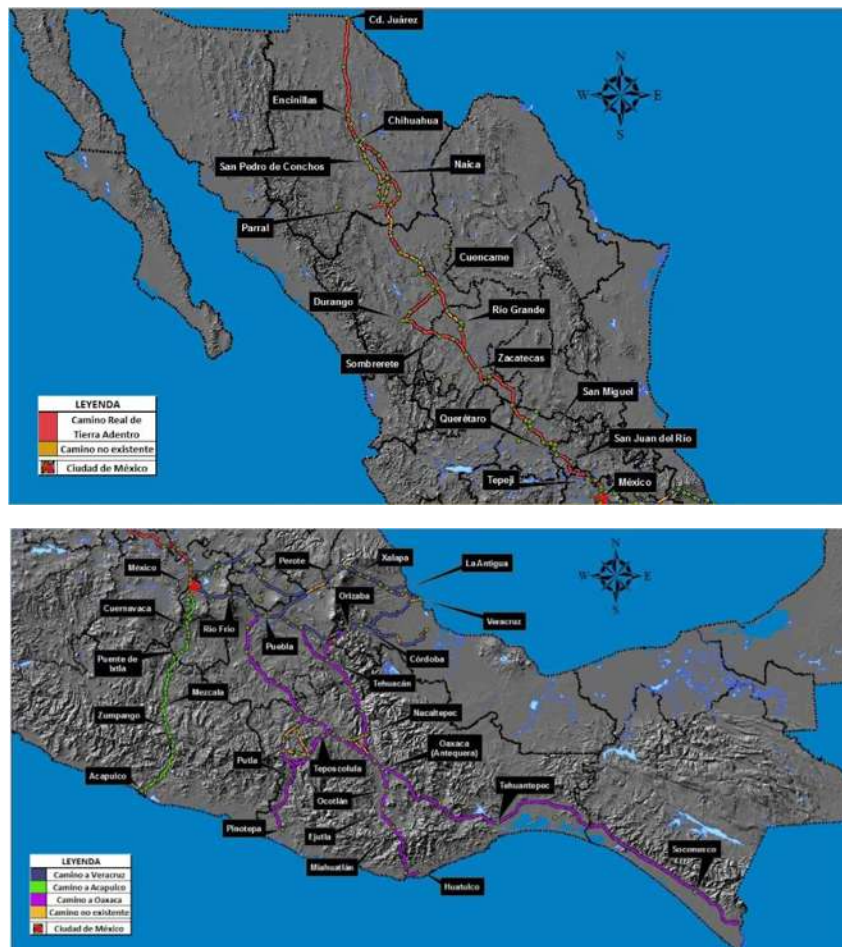


Ilustración 9. Caminos principales y Caminos transversales de la Nueva Vizcaya. Caminos más frecuentados. (Bustamante Altamirano)

Arriba.- En rojo se muestra el Camino Real de Tierra Adentro y en café el camino no existente.

Abajo.- El camino México- Veracruz (azul Marino), Camino México- Acapulco (verde), Camino México- Oaxaca y a Guatemala (Morado).

Se presentará a continuación información relevante acerca de los cuatro ejes principales mencionados.



3.1.2.1. CAMINO AL ORIENTE O "CAMINO DE LOS VIRREYES": MÉXICO-VERACRUZ

Desde 1525 Cortés mandó abrir ventas o posadas en el camino a Veracruz para facilitar el paso de hombres y mercancías. En los años treinta del siglo XVI, se obligó a los indios de Tlaxcala y a los habitantes de los poblados cercanos a México a abrir un camino por donde pudieran pasar las recuas de mulas. Pronto, en razón de la creciente importancia de Puebla y de la necesidad de encontrar un camino menos abrupto entre el puerto de Veracruz y México, quedó en desuso la vía prehispánica que enlazaba la costa con el altiplano y pasaba por Tlaxcala. Puebla (fundada en 1531) era la segunda ciudad de la Nueva España a fines del siglo XVI, con una población que rebasaban los 10,000 habitantes. Se convirtió en un próspero centro comercial y paso obligado de todos los viajeros en proveniencia de Europa.

A mediados del siglo XVI, había dos maneras de llegar desde la ciudad de México a Veracruz. Un primer camino llevaba a Xalapa donde se realizaba la feria comercial una vez al año cuando llegaban las flotas. El camino carretero de Veracruz a Xalapa fue abierto hacia 1562, después de que se suprimiera en el centro de la Nueva España el servicio personal de los indios como tamemes⁴ y se impusiera a la población nativa una tributación en géneros. Se organizaba la feria en Xalapa con los productos traídos de España para que los mercaderes no sufrieran el famoso "vómito negro" que afectaba Veracruz y toda la costa atlántica en el verano, el cual no era otra cosa que la fiebre amarilla que hacía que los enfermos vomitaran sangre (de ahí su nombre). Los barcos solían llegar en abril porque en el invierno soplaban los vientos llamados "Nortes" que hacían peligrosa la navegación.

En las dos últimas décadas del siglo XVI, se abrió otro camino más al sur que llegaba a Orizaba. A esta villa convergían varios caminos más y en especial el de las tierras bajas de Tabasco (desde donde provenía el cacao), y el de Oaxaca, desde donde se acopiaría después la grana cochinilla (colorante rojo) que fue uno de los principales productos de exportación de la Nueva España. Ese camino fue establecido probablemente a raíz de una iniciativa de los comerciantes de Puebla quienes querían contar con un acceso más directo a la costa del Pacífico, aunque la intención del gobierno español al autorizar la creación de ese camino era la de evitar el contrabando. El camino de Orizaba era menos empinado que el de Xalapa y por esa vía podían pasar las carretas de bueyes; esos animales más fuertes que las mulas podían jalar una tonelada y media. Por el camino de Xalapa, en cambio, circulaban carros de mulas que no podían jalar más de media tonelada pero eran más veloces. Pero el camino de Xalapa tenía además la desventaja de tener el

⁴ Tamemes.- En Honduras y México significa cargador indio. Los tamemes llevaban a sus espaldas las cargas (que podían ser personas, tributos, artículos para comercio, etc.). Los tamemes o cargadores, solían acompañar a los militares y comerciantes, cubrían la carencia de animales de carga en Mesoamérica. (fundacionarmella.org, 2013)

obstáculo del río de la Antigua. El puente del Rey que agilizó y facilitó el tránsito por ese último camino no fue edificado sino hasta 1806.

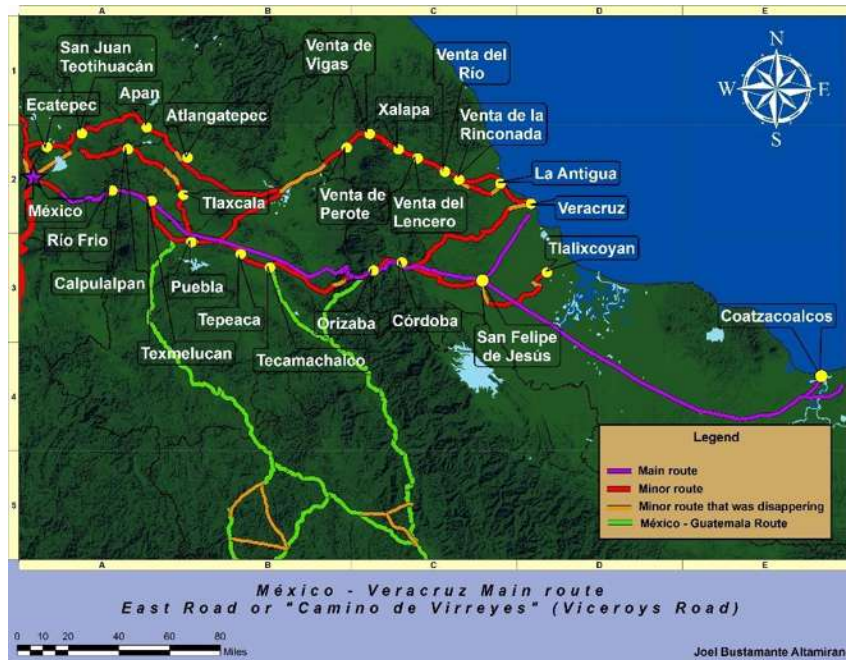


Ilustración 10. Camino de los virreyes. México-Veracruz. (Bustamante Altamirano)

3.1.2.2. CAMINO AL PONIENTE O "CAMINO DE ASIA": MÉXICO-ACAPULCO

El camino a Acapulco entró en uso a partir de 1565 cuando se estableció el comercio regular con Filipinas, por medio de la llamada "nao de China" que llegaba a ese puerto. Acapulco en el Pacífico era el único puerto habilitado para el comercio con Asia en el siglo XVI, como lo era Veracruz para el comercio con Europa por el Atlántico. Al igual también que con las flotas que provenían de España (anuales desde 1564) la llegada de la nao se daba una vez al año y daba lugar a una feria en el puerto de Acapulco que de caserío se transformaba en ciudad durante unas semanas después de atrancar la nao.

La mayor parte de las mercancías eran transportadas después a México, principal centro comercial y de redistribución de bienes. El viaje entre Acapulco y la ciudad de México era de aproximadamente 13 días. Pero ese camino poco transitado a todo lo largo del año, siguió siendo de herradura y no se hizo nunca esfuerzo alguno para mejorarlo. No tenía puentes y los arrieros pasaban las corrientes en embarcaciones construidas sobre calabazas grandes, como sucedía para atravesar el río Mezcala o el Papagayo donde indios nadadores dirigían esas precarias balsas.

El tratado de libre comercio de 1778 afectó profundamente Acapulco (aunque se mantuvo la llegada anual del galeón hasta 1815) y otros puertos tomaron el relevo, como San Blas y Mazatlán. En 1784 se inventó una barca móvil para pasar el río

Mezcala y a principios del siglo XIX se comenzó a construir un puente sobre el Papagayo pero éste no se terminó en la época colonial. Un puente hubiera evitado muchos accidentes y ayudado a los comerciantes y transeúntes quienes a menudo tenían que esperar de una semana a diez días para que bajara la crecencia del río.

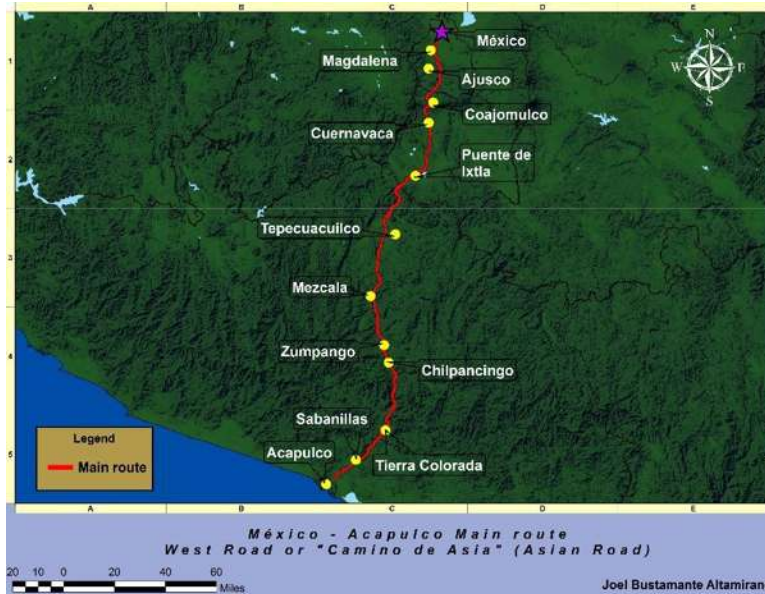


Ilustración 11. Camino de Asia. México-Acapulco. (Bustamante Altamirano)

3.1.2.3. CAMINO AL NORTE O "CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO": MÉXICO-SANTA FE

El primer camino carretero no fue el de Veracruz (construido en 1562 como se mencionó antes) sino el de Zacatecas, donde se descubrieron minas en 1546. A fines de los años 50's de ese siglo, ese camino estaba en parte empedrado y contaba con ventas cuando menos cada veinte kilómetros (ésta era la distancia que podía recorrer un caminante con algo de carga o un carro de bueyes). La minería requería de insumos muy pesados que difícilmente podían ser transportados por mulas, por lo que se usaban para este trayecto carretas jaladas por bueyes.

Zacatecas fue abastecida en un principio desde la Nueva Galicia gobernación de la que formaba parte, pero necesitaba enlazarse con México porque de la capital virreinal provenía el hierro de Europa y de mercurio de Almadén, en el sur de España. A partir de mediados del siglo XVII, comenzaron a imponerse los carros de mulas quizá porque bajó el precio de estos animales, hasta que finalmente predominaron las recuas de mulas todavía más rápidas pero que no necesitaban de buenos caminos, para ellas bastaba un camino de herradura.

Más allá de Zacatecas, se abrió un camino primero hacia Durango (capital de la Nueva Vizcaya, nueva gobernación fundada en 1562). Durango fue un punto importante de enlace en el siglo XVI porque allí estaba la caja real donde todos los



mineros tenían que ir a quintar la plata y lo siguió siendo así durante toda la época virreinal. A la vera del camino entre Zacatecas y Durango, a fines del siglo XVI, había lugares poblados cada cuarenta kilómetros aproximadamente pero no existían mesones en el norte, por lo que los viajeros y comerciantes se hospedaban en las misiones de indios o en las haciendas de los españoles.

En julio de 1631 se abrió el real de Parral que desplazó en importancia durante medio siglo todos los demás centros mineros del norte de la Nueva España. A mediados del siglo XVII se creó entonces una vía directa desde Zacatecas a Parral que no pasaba ya por Durango y era llamada el "camino carril" en contraposición con "el camino de la ligera" que pasaba por el pie de la sierra. El camino carril tenía tramos con más de 100 km de despoblados y los viajeros solían desplazarse en grupo para evitar los ataques de indios o de los simples delincuentes. El gran problema por esa vía era atravesar el río Nazas que se volvía un archipiélago de lagunas durante la estación de lluvias.

Hay que mencionar también que el después llamado "camino real de tierra adentro" llegó hasta San Gabriel en 1600, cuando fue fundada la gobernación del Nuevo México, en el alto río Bravo. Pero no se trataba de un verdadero camino, sin embargo era recorrido por grandes carros de bueyes. Los carpinteros reparaban los carruajes y eventualmente construían puentes con partes de las carretas, para facilitar el tránsito. Esos carros pesados no pudieron pasar por los caminos indígenas existentes del pie de la sierra por lo que se abrió así un nuevo camino más directo hacia Santa Fe y el Nuevo México que atravesaba la cuenca del Chuvíscar donde se erigiría después la futura villa de Chihuahua a principios del siglo XVIII.

El paso de los ríos representaba tal obstáculo que los viajes comerciales hacia el Norte solían efectuarse una vez terminada la estación de lluvias. Era preferible la nieve a la abundancia de aguas porque en la llanura, las aguas se estancan y muy pronto los caminos que no estaban empedrados se transformaban en lodazales infranqueables. Sin embargo, hasta la fundación de la ciudad de Chihuahua, no había mucha comunicación entre Parral y Nuevo México: el transporte que aseguraba el abasto de los pobladores del Nuevo México era trienal y no siempre se realizaba con puntualidad.

Para ir de México a Santa Fe se necesitaban seis meses sin incidentes en el siglo XVII y después con las recuas de mulas el tiempo de viaje se redujo a cuatro meses y medio. Un jinete apurado que tuviera la posibilidad de cambiar de caballos podía realizar el mismo viaje en unos tres meses. Más allá de Chihuahua y antes de atravesar el vado al lado del cual se había fundado el Paso del Norte (ahora Ciudad Juárez) en 1659, estaban los médanos de Samalayuca por donde los caballos pasaban con dificultad mientras que los comerciantes tenían que rodear esa zona.

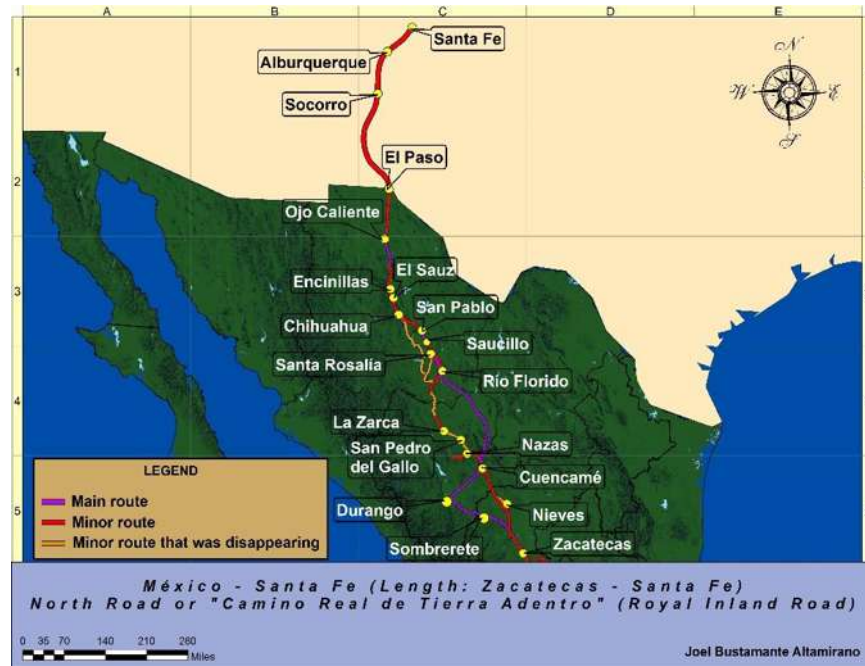


Ilustración 12. Camino Real de Tierra Adentro. México-Sta. Fe (Bustamante Altamirano)

Arriba. Carretera hacia el norte o Camino Real de Tierra Adentro. Camino Zacatecas- Sta. Fe
Abajo. Carretera hacia el norte o Camino Real de Tierra Adentro. Camino México- Zacatecas

3.1.2.4. CAMINO AL SUR O "CAMINO DE LOS SALAZONES": MÉXICO-GUATEMALA

El camino de México al Soconusco y Guatemala era también uno de los grandes ejes comerciales pero se trataba de un camino de origen prehispánico. Por ese rumbo, como en general al sur de Cuernavaca, nunca hubo en la época colonial ningún camino carril. Para llegar a Oaxaca, la ruta más importante pasaba por Puebla y Tehuacan, otra menor atravesaba Izúcar. Pero también se usó cuando menos en los siglos XVI y XVII la vía marítima desde Tehuantepec o Huatulco para llegar a Guatemala. Además se atravesaba también la sierra por varios caminos para llegar directamente de Oaxaca al Atlántico. Uno de ellos pasaba por Villa Alta.

De Tehuacan a Tehuantepec se necesitaba cuando menos 15 días de viaje. La abundancia de mano de obra india y la cantidad de arrieros disponibles no propiciaron en el sur de la Nueva España la construcción de caminos carreteros, difíciles además de abrir por el terreno quebrado. Más allá de Tehuantepec se fundaron en la época colonial muchas poblaciones a la vera del camino real que proporcionaban tamemes y ofrecían hospedaje a los viandantes. Este camino decayó totalmente en el siglo XVII porque desapareció buena parte de la población india en la depresión central de la alcaldía mayor de Chiapas y se recorrió entonces con mayor frecuencia una ruta paralela más al este que pasaba por Ciudad Real y Comitán. (LOS CAMINOS DE LA HISTORIA: ÉPOCA VIRREINAL, págs. 3,4,5,6,7)



Ilustración 13. Camino de los salazones. México- Guatemala. (Bustamante Altamirano)

3.1.3. CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO

En el norte inmenso comenzaba un nuevo ciclo de conquistas, guerras y colonizaciones encabezadas por aventureros, hombres audaces, gambusinos, soldados y frailes...



Ilustración 14. Camino Real de Tierra Adentro. (*TheBestTravelled.com., 2016*)

Esta fue considerada la ruta más larga de norte América, la que por 300 años vinculó a la Cd. de México con la última frontera de la Nva. España. La Cd. de Santa Fe Nvo. México. 3000 Km que tuvieron por corazón la Cd. de Durango capital del reino de la nueva Vizcaya. Huellas que dejaron las naciones indo-americanas, los colonos europeos y los esclavos africanos siglos atrás. Huellas que unen ahora a mexicanos y estadounidenses.



Ilustración 15. Camino Real de Tierra Adentro. (*Gobierno del Estado de Durango, 2010*)

La ocupación de esta tierra inmuta fue una tarea ardua, lenta y violenta, llena de guerras y de renacimiento. La Nva. España fue la posición más importante del primer imperio global, fue levantado por individuos que se lanzaron a la conquista de regiones del nuevo mundo por encomienda de la corona española. Estos emprendedores se obligaron a costear los gastos de la conquista y colonización de las nuevas tierras a cambio de privilegios. Sobre esos territorios tomados y de acuerdo a sus méritos obtuvieron títulos de conquistadores, gobernadores, adelantados, capitanes generales y alcaldes mayores.

Mientras tanto Diego de Ibarra, Cristóbal de Oñate, Juan de Tolosa y Baltazar Termino de Bañuelos habían tenido impresionantes ganancias económicas tras descubrir los yacimientos de plata de Zacatecas en 1546. (Urbán Martínez & Rincón, 2011)

Es interesante darse cuenta que el primer camino carretero no fue el de Veracruz (construido en 1562) sino el de Zacatecas, donde se descubrieron minas en 1546. A fines de los años 50's, ese camino estaba en parte empedrado y contaba con ventas cuando menos cada veinte kilómetros (esta distancia es la que podía recorrer un tameme con algo de carga o carros de bueyes). A este camino que iba de la capital del Virreinato hasta Zacatecas se le conoció como "El Camino de la Plata".



Ilustración 16. Camino de la Plata. (MI MÉXICO DE AYER, 2013)

Zacatecas fue abastecida desde la Nueva Galicia (con sede en Guadalajara), de la que dependió durante toda la época colonial, pero necesitaba enlazarse con México porque de la capital virreinal provenía el hierro y el mercurio (todo importado de España). La minería requería de insumos muy pesados que difícilmente podían transportar las mulas, y tampoco había suficientes indios para servir de tamemes. Las carretas de bueyes fueron el medio de transporte de bienes más usado durante los dos primeros siglos de la conquista, que a su vez, también era el medio de transporte más usado en la península ibérica (en especial en las zonas montañosas) porque, aunque son más lentos, pueden acarrear pesos tres veces superiores a las mulas. (Universidad Marista de Querétaro AC)

Comenzó la conquista del septentrión en 1554 con la finalidad de someter a los nativos, buscar minas y fundar pueblos. Primero fueron descubiertas en 1554 las minas de avino, en 1759, levantaron un templo a Sn. José "El Retablo" obra del maestro Felipe de Ureña alumno del retablista Jerónimo de Balbas. En este se encuentra el cristo de Esquipulas patrón de los viajeros del camino real de tierra adentro. El valle fue llamado huadian y la Cd. Durango en recuerdo al lugar de origen de los conquistadores. (Urbán Martínez & Rincón, 2011)



Durango fue un punto importante de enlace en el siglo XVI porque allí estaba la caja real donde todos los mineros tenían que ir a quintar la plata, y siguió siendo así durante toda la época virreinal. A la vera del camino entre Zacatecas y Durango, a fines del siglo, había lugares poblados cada cuarenta kilómetros aproximadamente pero no existían mesones en el norte. Por ello los viajeros y comerciantes se hospedaban en las misiones de indios o en las haciendas de los españoles. (Universidad Marista de Querétaro AC)

La creciente importancia del reino de la Nva. Vizcaya llevó a crear el primer colegio del norte de la Nva. España en el siglo XVI, ahí se formaron la mayor parte de los clérigos y los laicos de las elites, lo que tuvo influencia en las artes y la cultura del norte. Desde un principio la gobernación de la Nva. Vizcaya contó con su propia caja real, de manera que, toda la plata debía pasar por Durango para transitar después el camino real hasta México. El trayecto de más de 1000Km duraba 6 meses.

A principios del siglo XVII en lo que hoy es Durango; el camino y sus ramales comunicaban a 14 reales de minas, 12 villas, 5 misiones jesuitas y un presidio. Su ruta fue alterada varias veces debido a cambios económicos y necesidades de seguridad. Desde 1630 y durante 200 años la vía de preferencia fue la llamada línea de los presidios. Las misiones religiosas y los presidios fueron instrumentos clave de la colonización. Las misiones estuvieron en manos de dos órdenes; franciscanos y jesuitas. La primera en la Nva. Vizcaya fue fundada por Francisco de Ibarra en 1562 ya que las misiones fueron la primera piedra del dominio español y la base para propagar la fe católica. La misión de 5 señores fundada en 1705 por los jesuitas dió origen a la villa de Nazas. (Urbán Martínez & Rincón, 2011)

A mediados del siglo XVII se creó una vía directa desde Zacatecas a Parral que no pasaba ya por Durango y era llamada el "camino carril" en contraposición con "el camino de la ligera" que pasaba por el pie de la sierra. El camino carril tenía tramos con más de 100 km de despoblados y los viajeros solían desplazarse en grupo para evitar los ataques de indios o simples delincuentes. El gran problema de esa vía era atravesar el río Nazas que se volvía un archipiélago de lagunas durante la estación de lluvias. (Universidad Marista de Querétaro AC)

Hay que mencionar también que el después llamado "camino real de tierra adentro" llegó hasta San Gabriel (al sur de Santa Fe) en 1600 cuando fue fundada la gobernación del Nuevo México, en el alto río Bravo. Pero no se trataba de un verdadero camino, sin embargo era recorrido por grandes carros de bueyes.



Ilustración 17. Recuas de mulas, carros de Bueyes y Evangelizadores. (*Gobierno del Estado de Durango, 2010*)

Los carpinteros reparaban los carruajes y eventualmente construían puentes con partes de las carretas para facilitar el tránsito. Esos carros pesados no pudieron pasar por el camino probablemente prehispánico del pie de la sierra tuvieron que atravesar la llanura y se abrió así un nuevo camino más directo y llano hacia Nuevo México. Pero el paso de los ríos representaba tal obstáculo que los viajes comerciales hacia el Norte solían efectuarse una vez terminada la estación de lluvias. Era preferible la nieve a la abundancia de aguas porque en la llanura las aguas se estancan y muy pronto los caminos que no estaban empedrados se transformaban en lodazal. Sin embargo, no había mucha comunicación entre Parral y Nuevo México, hasta la fundación de la ciudad de Chihuahua a principios del siglo XVIII. (Universidad Marista de Querétaro AC)

En Navacoyán, Durango. Se encuentra uno de los mejores ejemplos de la ingeniería del camino real y que es de suma importancia para nosotros los ingenieros. El llamado puente del diablo que permitía a los viajeros llegar a Durango con comodidad después de pasar el río tunal con sus 61 m de longitud y 12 arcos de medio punto, el cual; lleva más de 200 años funcionando. Representaba la entrada simbólica a la Nva. Vizcaya donde eran recibidos altos personajes por el gobernador y su cabildo.



Ilustración 18. Puente del Diablo en Navacoyán, Dgo. (*Mobypicture.com, 2015*)

Los presidios cumplían la función de proteger los caminos y poblados, eran generalmente fortificaciones de piedra o de adobe de 120m por lado con torres en al menos 2 esquinas opuestas. Estos alojaban soldados, sus familias e indios guías. Contaban con casas, cancelas, caballerizas y capillas.

El puente colgante de la mina de Ojuela es una proeza de ingeniería para su tiempo. En 1898 el ingeniero Alemán, Santiago Minguín; construyó el puente colgante de 315m de largo por 95m de altura. 1.80m de ancho y 112 toneladas de peso. Éste comunica un sistema de minas que data de 1592.



Ilustración 19. Puente colgante de la mina de Ojuela. Durango y Coahuila. México. (Grupo Aviare Editorial, 2016)

No todo fue minería, las haciendas también fueron importantes unidades de producción agrícola y ganadera para el sostenimiento de los reales de mina.

El grito de independencia de Miguel Hidalgo se extendió a lo largo del camino real, que fue la ruta de la ofensiva para liberar al país, pero, no sería él quién consumara la gesta. La contra ofensiva de la corona española desbarató al ejército insurgente; Hidalgo y los demás líderes tomaron el camino real hacia el norte en busca de apoyo y pertrechos con los estadounidenses. Pero fueron aprendidos y llevados a la Cd. de Chihuahua donde los fusilaron. Algunos más como el cura Ignacio Hidalgo fueron conducidos a Durango para escarmiento de la población. Poco después de su fusilamiento un humilde Duranguense de 21 años tomó el camino real hacia la Cd. de México para estudiar leyes. Guadalupe Victoria se sumó a las filas rebeldes de José María Morelos, a su muerte formó un grupo guerrillero en Veracruz, después apoyó a Vicente Guerrero en el sur hasta la consumación de la independencia. En 1824 se convirtió en el primer presidente de México para recordarlo siempre la capital se llama Victoria de Durango.

Aunque el camino real de tierra adentro dejó de tener un carácter real con la independencia, continuó siendo la columna vertebral del país. Sirvió al gobierno republicano del presidente Benito Juárez para retirarse hacia el norte cuando el ejército francés invadió el país.



Otro Hombre del camino real de tierra adentro es el general Francisco Villa, uno de los grandes líderes de la Revolución Mexicana. Pasó sus últimos días en la hacienda de la limpia concepción del cantillo, hoy museo dedicado al centauro del norte, a sus dorados y a los revolucionarios que lo acompañaron en su lucha.

El camino real de tierra adentro es el corazón de esta ruta. La más importante en el hemisferio norte de América. Es la propuesta de México para postular la candidatura de inscripción de éste bien en la lista del patrimonio mundial de la humanidad. (Garza, 2009)

Alrededor del mundo sólo existen 5 itinerarios culturales y el Camino Real de Tierra Adentro conforma uno de ellos, la cual, representa una parte muy importante de la historia de la humanidad.

- Camino de Santiago de Compostela (Camino Francés y Rutas del Norte de España). Fecha de Inscripción 1993
- Sitios Sagrados y Rutas de Peregrinación de los Montes Kii (Japón). Fecha de Inscripción: 2004
- Ruta del Incienso (Ciudades del Desierto del Néguev en Egipto e India). Fecha de Inscripción: 2005
- Camino Real de Tierra Adentro (Caminos de México a Sta. Fe Nvo. México). Fecha de Inscripción: 2010
- Qhapaq Ñan (Camino Principal Andino en Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador). Fecha de Inscripción: 2014

(Treviño, Ramos Medina, González Pera , & López, 2016)

En nuestro país existió un camino que partía de la Cd. de México, cuyo destino final fue Santa Fe, capital del reino de Nvo. México. Tal camino, conocido como camino real de tierra adentro contó con una extensión de 1600 Km. Constituyó la vía de comunicación más importante y extensa que se mantuvo en este territorio durante todo el periodo del virreinato hasta la incorporación del ferrocarril.

El proceso de la conquista, el de la pacificación y la del poblamiento del septentrion Novo-Hispano representaba una tarea titánica y que además el descubrimiento de los yacimientos argentíferos en Zacatecas alrededor de 1546 dinamizaron e impulsaron la fundación de un camino que hizo posible el acceso y no sólo eso, sino sobre todo, la transportación de este preciado metal que sirvió a la metrópolis española para poder financiar tanto su vida cortesana, así como también el proceso de conquista y la expansión del imperio, ya que todos los países europeos como España, Francia, Portugal, entre otros. Estaban en proceso de expansión acelerada.

A raíz de seguir pacificando, conquistando, poblando, descubriendo más reales de minas, explotando otro tipo de recursos como maderas finas, introducción de



especies como el ganado mayor, alimentación de otras índoles. Se hizo posible que la frontera poco a poco se fuera extendiendo más hacia el norte. Para principios del siglo XVII ya se tenía reconocimiento del territorio Novo-Hispano hasta pasando el río grande hoy conocido como el río bravo. Una de las intenciones precisas de la corona y del virreinato era encontrar cíbola también conocida como la ciudad de Oro.

Una vez teniendo el control de los indios sublevados, chichimecas en su mayoría, lo que se hizo entonces era establecer una serie de poblados en el que se pudiera implementar un modelo de vida Hispana. En este caso, encontramos villas protectoras del camino real como; la villa de Sn. Miguel de Allende, así como también Felipe torres mochas anteriormente conocido como Sn. Felipe. Ciudades capitales como Durango, Querétaro y en otro sentido también, encontramos haciendas, éstas hicieron posible el establecimiento de la vida ranchera que también sostuvo el camino real de tierra adentro.

La mayor cantidad de plata exportada de la Nva. España entre 1561 y 1630 fue extraída de los yacimientos de Zacatecas y Guanajuato; esta riqueza constituyó el factor decisivo para la colonización del norte mexicano. Por lo tanto, la prosperidad de pueblos, villas, ciudades y haciendas ubicadas a la vera de este camino real, se debe a las grandes utilidades obtenidas por la actividad minera.

A lo largo de este camino y durante más de 300 años se fueron intercambiando elementos culturales de una población a otra, como: el lenguaje, la medicina, la música, los sistemas de irrigación, tecnologías, entre otras.

Grandes historiadores han escrito al respecto de éste tema de la riqueza argentífera en la nueva España y explican precisamente que gracias a este metal pudieron edificarse los grandes conventos, palacios y cada uno de los espacios arquitectónicos e urbanísticos de los cuales gozamos hoy en día como patrimonio mundial. Los sitios dispuestos a lo largo del camino real, incluidos los conjuntos arquitectónicos y tecnológicos, las exploraciones coloniales españolas para obtener la plata y la transformación de los paisajes rurales y urbanos ilustran un periodo significativo de la historia humana.

El primero de agosto del 2010 el comité de patrimonio mundial de la UNESCO declaró al itinerario cultural mexicano. Camino Real de Tierra Adentro como patrimonio cultural de la humanidad.



Ilustración 20. UNESCO y Patrimonio Mundial de la Humanidad. (*patrimonio-mexico.inah.gob.mx, s.f.*)

Este nombramiento reconoce el valor universal excepcional de la ruta y su influencia en la conformación de la cultura mexicana actual.

El camino real tiene un valor universal excepcional, cuenta con todos los elementos para ser reconocido en tan distinguida lista. En la actualidad el estado mexicano se dedica a realizar los planes de manejo y gestión correspondientes, con el fin de asegurar la protección de los 60 sitios que conforman el itinerario. Hoy en día hay sitios que no podían ser inscritos de manera de monumentos aislados, si no como pretexto de ser monumentos que conforman un itinerario cultural y que de ello puede explicarse más fácilmente su génesis. Son 11 entidades federativas, 39 municipios los cuales están integrados.

Se tiene una gran variedad de sitios empezando con Durango que es el estado que encabeza con mayor número de sitios en la lista del camino real, seguido por zacatecas y de ahí se van distribuyendo a lo largo de los 1600 Km. que componen hoy el camino real. Entre los sitios que lo componen podemos nombrar como ejemplo: Puentes, ex haciendas, centros históricos, pinturas rupestres, villas, poblados, hospitales, cementerios, paisajes naturales. Una diversidad muy amplia que apenas nos está representando una fracción de éste itinerario cultural que; desde 1546 hasta la independencia se puede decir que era un gran camino compuesto de elementos arquitectónicos urbanos que hoy explican realmente porqué tanto Europa como Asia pusieron su punto de atención sobre el camino real de tierra adentro.

El camino real de tierra adentro conforma 1600 Km. distribuidos en 11 entidades federativas. De los cuales 60 sitios culturales y naturales se encuentran en la espera de ser potenciados.

A final de cuentas el turismo puede fortalecer el desarrollo: económico, cultural, turísticos de estos 39 municipios, además de las rutas secundarias que conforman este camino real de tierra adentro. (Urbán Martínez & Rincón, 2011)

3.2. EL IMPACTO DE LOS P'URHÉPECHAS Y SU CONEXIÓN CON EL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO.

La gran región P'urhépecha comprendió territorios de los actuales estados: Michoacán, Jalisco, Nayarit, Colima, así como del sur de Guanajuato, suroeste del Estado de México, suroeste de Querétaro, y oeste de Guerrero, influenciaron los ámbitos económico, político, social y cultural de los pobladores de dichas entidades. Existen más de 30,000 sitios arqueológicos en México que dan fe de la historia y geografía de los pueblos que los crearon. El área que ocupó el reino llegó a tener a lo sumo 150,000 habitantes, y la mayor parte de las localidades se ubicaban en valles, sistema volcánico (centro) y en la depresión del Lerma. Tzintzuntzan, la capital del reino a la llegada de los españoles, era una ciudad planificada, levantada alrededor del año 1450 d.C. a orillas del lago de Pátzcuaro. Los habitantes usaban el sistema vigesimal, hacían ciencia a través de la astronomía, arquitectura y, aplicaban la técnica en la metalurgia. (vBulletin Solutions, Inc., 2016)



Ilustración 21. Llegada de los españoles a Tzintzuntzan, Michoacán, México. (Pereyra, s.f.)

3.2.1. INTRODUCCIÓN

México tiene una gran variedad de regiones donde el hombre ha dejado grandes huellas de su evolución cultural. Sus acervos son evidentes tanto en los asentamientos humanos de Mesoamérica como de Aridoamérica. En esas regiones han surgido y decaído diversas culturas que han dejado inobjetable testimonio de su existencia. Son más de 30,000 los sitios arqueológicos en México que dan fe de la historia y de la geografía de los pueblos que los crearon. Durante más de dos siglos se han hecho grandes esfuerzos para rescatar y analizar sus vestigios, así, como establecer el regionalismo.

Al inicio del oeste de Mesoamérica, uno de esos pueblos que conformaron una gran región cultural y siguieron diversas pautas de extensión y desarrollo, fue el de los P'urhépecha, a quienes los mexicas llamaron michoaque ("Los de la tierra del pescado"). Los P'urhépecha aparecen como uno de los pueblos más importantes del posclásico y de los pocos que se opusieron con éxito a las tendencias expansionistas de los mexicas.



Ilustración 22. Michoaque "Los de la tierra del pescado". (*culturayrs.org.mx, s.f.*)

En una época de relación con los pueblos que ya se encontraban establecidos los P'urhépecha tuvieron que celebrar alianzas familiares como políticas o recurrir al dominio militar, con el fin de lograr el control regional. A Tariácuri se le debe tal logro y la creación del Estado P'urhépecha que ubica como su capital a Pátzcuaro. Tariácuri es personaje central en la relación de Michoacán y de la historia P'urhépecha, pues se convierte en un héroe legendario, que organizó expediciones hacia los cuatro puntos del "universo", conquistó nuevas tierras y pueblos y aseguró el futuro de los P'urhépecha.

La extensión regional P'urhépecha queda definida por la estructura de su sociedad, la política, la religión y la economía, así como a los aspectos culturales que se derivan de aquellas. (vBulletin Solutions, Inc., 2016)

3.2.2. PRE-P'URHÉPECHAS Y P'URHÉPECHAS.

Con la última glaciación los pobladores del continente americano avanzaron hacia las regiones ecuatoriales. Al juntarse varias culturas, pronto se auspició un cruzamiento idiomático y hasta una momentánea aculturación. Terminada la glaciación partieron las diferentes culturas a distintos lugares, así, los primeros P'urhépecha peregrinaron bordeando México por el Océano Pacífico y posteriormente desembarcaron en Nayarit, entidad donde existen numerosas tumbas de tiro y bóveda que además de ser de origen P'urhépecha, también se localizan en Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México, Perú, Ecuador y Colombia, que hace pensar que de ahí vinieron los P'urhépecha no históricos.



En Nayarit el maíz se cultiva en grandes terrazas, sistema que fue utilizado en los Andes y que también practicaban los P'urhépecha.

Los P'urhépecha históricos, utilizaron también el corredor litoral del mismo Océano, desembarcando en Guatemala, para penetrar en la Península de Yucatán, pues existen raíces P'urhépecha en el idioma maya. De ahí siguen al mar en Campeche (Golfo de México), desembarcan en Veracruz y prosiguen al valle de Toluca. El lienzo de Jucataco señala como lugar de origen P'urhépecha a Chalchuihtl-Achpasco (sitio mitológico), que desembarcan en Chalchicueyecan (antiguo Veracruz), que prosiguen a Nonoalco, Tabasco; Tehuacan, Puebla; Coyoacán, D. F.; Xiquipilco, Estado de México; Ayotzingo (puru-huándaro, "lugar de la calabacita"), y Tzacapu (piedra), se considera como el lugar de origen más próximo de los P'urhépecha modernos. En Nayarit: Táuac (piedra) es un tótem para los Coras, y Zacapa (piedra), es un lugar de Guatemala, por donde pudieron haber pasado los P'urhépecha. Para éstos. La piedra es el corazón de la tierra. Los españoles fueron los que llamaron a los pobladores de Michihuacan: **Tarascos**.

Dos cronistas (Fray Bernardino de Sahagún y el Sr. Pedro Ponce de León) con relación al significado de la palabra tarasco que señalan proviene del dios Taras (dios de la guerra). Para los michihuacanos, el nombre verdadero para designarlos a ellos es el de P'urhépecha, es decir: "los que son gente" (soy gente).

Con los P'urhépecha venían los Teocuitlatecas, grandes orfebres, que trabajaban los metales y al descubrir el bronce crearon una tecnología que les dio hegemonía política y económica a los P'urhépecha. Ellos se asentaron originalmente en Zamora, Michoacán. (vBulletin Solutions, Inc., 2016)

3.2.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

El Estado P'urhépecha, enmarcado dentro de Mesoamérica en el occidente de México abarcó grandes territorios de los actuales estados de Michoacán, Jalisco, Nayarit, Colima, así como del sur de Guanajuato, suroeste del Estado de México, suroeste de Querétaro, y oeste de Guerrero. El código Plancarte (código de Carapan) habla de que el Calzonci o cazonci Tzitzipandácuare, conquistó Zabolán (Síbula), Paqnilpan, Titolán Chapapouvato, Sichoo (Sichú) y Camadaline.

Sichó se identifica al oriente de Guanajuato y Síbula (provincia Zuñi en Nuevo México en el siglo XVI), en el suroeste de Estados Unidos. Lo que permite afirmar que el noroeste de México también estuvo en determinado tiempo conquistado por los P'urhépecha, por lo que la extensión señalada al principio pudo ser más grande.

Etimológicamente Michihuacan es una palabra náhuatl (michi= pescado, huac=posesión, y an=lugar) que significa lugar de los que poseen el pescado. Hace

referencia al territorio donde se ubican las cuencas lacustres de Pátzcuaro, Zirahuén, Cuitzeo, sin faltar el de Chapala y otros.

Con tal denominación constituyó una unidad histórica y política prehispánica, y que en algún momento se nombró como Estado Tarasco de Michihuacan, y que los P'urhépecha o población autóctona designó como señorío, Reino P'urhépecha o de los P'urhépecha (purépechas).

Las regiones donde se desarrolla la Cultura P'urhépecha llegó a ocupar casi 100 000 km², y cuando menos en el posclásico tardío (1200-1521 d.C.), se extendió en la mayor parte del actual Estado de Michoacán, sur de Guanajuato, suroeste de Querétaro, centro-este y este sureste del Estado de Jalisco, extremo oeste del Estado de Guerrero, extremo oeste-suroeste y oeste del Estado de México y extremo norte de Colima. Como se verá más adelante en el rubro de morfología, incluye regiones que se identifican como: Depresión del Altiplano del río Lerma-Chapala (20% de la extensión total) en el norte; Sistema Volcánico Transversal y Valles intermontanos (50% de la superficie del reino) en el centro y centro-norte; Depresión de valles, lomeríos y montañas bajas del Río Balsas-Tepalcatepec, (19% de la extensión territorial), en el sur, sureste y centro-oeste, y Sierra Madre del Sur (11% de la superficie del reino) en los extremos sureste y suroeste y sur.

En el territorio P'urhépecha predominan las rocas ígneas terciarias generalmente extrusivas o volcánicas, aunque no faltan las sedimentarias de origen marino del mesozoico y las ígneas intrusivas o plutónicas del terciario y algunas metamórficas antiguas.



Ilustración 23. Territorio y riqueza natural del Reino P'urhépecha. (*vBulletin Solutions, Inc., 2016*)



3.2.4. CIUDADES

Tzintzuntzan, que fue la ciudad más grande llegó a reunir unos 40 000 habitantes y Pátzcuaro e Ihuatzio, unos 25 000 y 7 000 habitantes, cada una.

El área territorial que ocuparon los pobladores del reino llegó a tener a lo sumo 150 000 habitantes, y la mayor parte de las localidades se ubicaban en valles, Sistema Volcánico (centro) y en la depresión del Lerma.

Tzintzuntzan, la capital del reino a la llegada de los españoles, era una ciudad planificada magnífica e interesante, y fue levantada alrededor del año 1450 d.C a orillas del lago de Pátzcuaro. Algunas versiones indican que su nombre significa "palacio del pájaro cantor", y otras, "lugar de colibríes", Tzintzuntzan contaba casi en el centro con un inmenso basamento rectangular adosado a los pies del cerro Yahuarato, que constituía un conjunto arquitectónico ritual, donde sobresalían las singulares Yácatas. Las Yácatas alcanzan los 12m de altura, en una planta rectangular y un añadido circular, y son cinco, sustentando cada una un templo donde se adoraban a los dioses. En la plataforma se situaba también el palacio del Cazonci.

Pátzcuaro, cuyo nombre completo es Tzacapu-Amúcutin-Pátzquaro que significa: "donde están las piedras a la entrada donde se hace la negrura." Pátzcuaro puede traducirse literalmente: "donde se tiñe de negro" o "donde reina la sombra". Se le ubicaba, igual que al Lago de Pátzcuaro como "la puerta del cielo" y fue el lugar donde los P'urhépecha construyeron un recinto definitivo para el dios Kurhíkua K'eri (Curicaueri). Tariácuri lo hizo el centro más importante político y religioso de los P'urhépecha.

En la época de Tariácuri se calcula que la ciudad debió tener entre 20 000 y 25 000 habitantes. A la muerte de Tariácuri el señorío fue dividido en tres: Pátzcuaro, Ihuatzio y Tzintzuntzan, y de Pátzcuaro quedó como señor principal su hijo menor Hiquíngari. Ihuatzio; "lugares de coyotes", se encuentra también como Pátzcuaro y Tzintzuntzan, junto al lago de Pátzcuaro, y empezó a crecer al consolidarse el dominio P'urhépecha. Tenía una gran plaza en la que se ubicaron tres Yácatas. (vBulletin Solutions, Inc., 2016)

3.2.5. CESACIÓN

Los P'urhépecha para algunos pueblos despertaban temor, para otros, recelo o admiración; la realidad es que fue un pueblo libre que luchó para construir, y que aceptaba la ética de la libertad y de la unión, del honor y de la fuerza entre iguales, ideal que nutrió gran parte de su extraordinaria historia. (vBulletin Solutions, Inc., 2016)

La llegada de los españoles y la invasión de los mismos acabaron en cierto punto con la cultura Tarasca o P'urhépecha, aunque no en su totalidad. Quedaron plasmados en los ***camino*s**, ***monumentos históricos***, poblados, y en las corrientes

literarias vivificantes las historias legendarias y costumbres relevantes, que mantienen viva una cultura sobresaliente y nos dan fe con la distribución espacial en la que se mantuvieron los tarascos en la antigua América.

“Actualmente, la organización de vida en numerosos poblados michoacanos es semejante a la original de la época prehispánica. La artesanía en sus diversas manifestaciones tiene el sello precolombino y mestizo y es reflejo de su ancestral visión y la especialización lograda. Todos los acervos de la Cultura P'urhépecha se manifiestan en el desarrollo local y regional, causa admiración, y trasciende más allá de sus fronteras”. (vBulletin Solutions, Inc., 2016)

3.3. CAMINERÍA COLONIAL EN MÉXICO (MICHOACÁN)

En este intento por forjar vías no podemos dejar de mencionar a los frailes evangelizadores, que, llevados por una fe “todo terreno”, lograron crear caminos que aun en la actualidad, hechos en un vehículo automotor, resultan complejos. Baste con pensar en personajes (frailes o franciscanos) (...) caminando con tan solo unas sandalias en los más ásperos terrenos, épicos franciscanos, en primer término, y después dominicos, agustinos y jesuitas hicieron del actual territorio mexicano el campo de evangelización de miles de indígenas.



Ilustración 24. Los primeros mapas en los que se señalan los cambios hacia el norte de México fueron resultado de las incursiones que los misioneros en su afán de catequizar en tierras lejanas iban realizando. Como ejemplo tenemos este plano de San Agustín de las Cuevas, Tlalpan, que marca caminos y poblados. (Grupo Tradeco, 2013, pág. 29)

Como se comentó, la ruta de los mineros fue de vital importancia para movilizarse “tierra adentro”. El camino hacia zacatecas implicó una transformación benéfica para la economía novohispana. En sí, todo el centro y norte del virreinato fue visto, aún a fines del siglo XVI, como un sueño lleno de minas de oro y plata que, aunque inaccesible, debía ser conquistado también. Con el paso de los siglos, los caminos se fortalecieron, pues la actividad comercial y minera debían continuar. (Grupo Tradeco, 2013, pág. 21 a 24)



El sistema caminero novohispano, comunicaba en lo fundamental todos los centros principales de las actividades socio-económicas. Con estos caminos se consolidaron regiones geoeconómicas en torno a las minas y a las ciudades principales. Guanajuato, Zacatecas, Real del Monte, Real de Catorce, Sombrerete, Tasco, Fresnillo, Parral y otros, fueron centros mineros de gran importancia, que difundían impulsos dinámicos en sus respectivas zonas de influencia.

Entre las regiones agrícolas que producían los alimentos para sostener a la población de las minas y ciudades, estaban las de los valles de México, Puebla, Toluca, Valladolid, el Bajío, el centro de Oaxaca, Jalisco y otras. También tenían importancia algunas zonas tropicales no muy alejadas del centro, como las costas de Veracruz y Tabasco, Nayarit, Colima y partes de Guerrero y Chiapas.

Gran parte de la red de caminos coloniales comunicaba esas regiones mineras y agrícolas, permitía la existencia de una corriente dentro y hacia el exterior, y hacía lo posible para que los productos manufacturados de ciertas ciudades del virreinato se llevaran a otras partes, a veces muy lejanas.

Desde el siglo XVI se había conformado una infraestructura caminera en el país, en cierto sentido, como consecuencia del desarrollo económico. La ciudad de México era el punto nodal, por ella pasaba el eje interoceánico Veracruz-Acapulco. De ella partía el más largo de los caminos carreteros, el de "tierra adentro" hacia las tierras del septentrión español. Otro de los caminos novohispanos muy concurridos era el de México-Oaxaca, que llegaba a la zona de Soconusco y Guatemala.

También estaba unida la capital de la Nueva España mediante rutas carreteras con Pachuca y Zacualtipan, con Toluca y Valladolid, con Tenango y Cuautla; y mediante camino de herradura con Tulancingo y Tuxpan.

De México a *Valladolid de Michoacán* podía irse por dos rutas diferentes:

1° Partiendo de la capital a Cuajimalpa, Lerma, Toluca, Ixtlahuaca, San Felipe del Obraje, Hacienda de Tepetongo, Maravatío, Ucareo, Zinapécuaro, Queréndaro, Indaparapeo, Charo.

2° De México a Querétaro, pasando por Celaya, Tarimoro, Acambaro, Indaparapeo, Charo, Valladolid. De *Valladolid* había ruta a Colima, por Pátzcuaro, Zamora, Jiquilpan y Zapotlán El Grande. De *Valladolid* partía otro camino hacía Querétaro, por Acambaro, Xerécuaro, El Fresno, La Barranca y El Batán. De Valladolid a Guanajuato: Tarimbaro, Copándaro, Cuitzeo, Uriangato, Valle de Santiago, Salamanca, Irapuato, Marfil.

El siguiente mapa (ilustración) representa las rutas más importantes que nuestro país tenía durante la época de la colonia. En esta representación cartográfica se muestran los dos tipos de caminos más importantes que existieron durante esa época: Reales y Transversales. La diferencia entre éstos es aún motivo de

discusión. En realidad el nombre de "camino real" no significa que fue construido por la corona española y el Virrey, más bien, fueron nombrados así por que deberían de administrarse como lo marcaba el rey en turno. Otra definición que se ha tomado para el caso de los caminos reales es el que éstos deben de llegar o salir de la capital del Virreinato. Todo aquel camino que iniciara en otra localidad que no fuera la capital no se le denominaría real. (Universidad Marista de Querétaro AC)

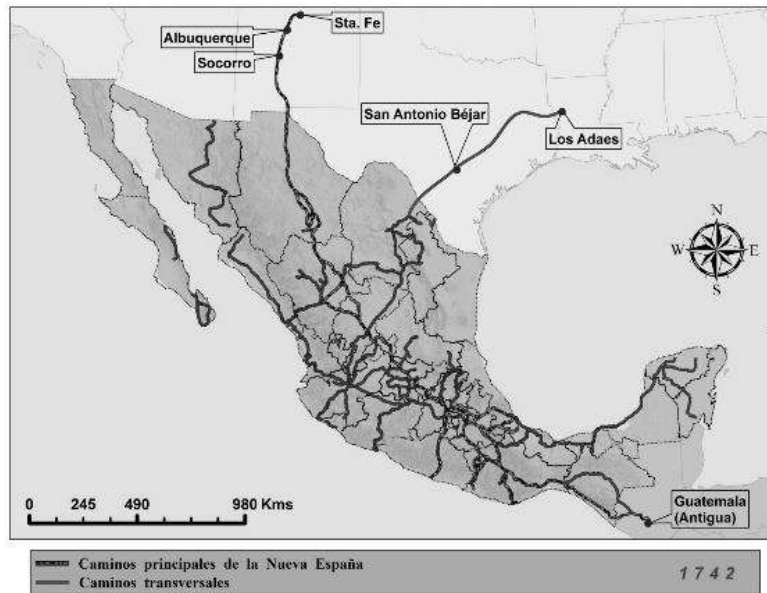


Ilustración 25. Caminos principales y Caminos transversales de la Nueva España. (Bustamante Altamirano)

A su vez, los caminos también se dividieron en el tipo de carga por la que pasara, por lo que existió una subdivisión en carreteros y de herradura. Los primeros, carreteros, se definían como aquellos en los que podían transitar "carretas" sobre ellos. El término actual de carretera proviene de ésta denominación "camino carretero". Los caminos de herradura eran aquellos en donde una carreta no podía pasar por su pendiente pronunciada, curvas muy sinuosas o su angostura, se llamaban de esta manera porque solo podían transitar animales de carga como burros, mulas o caballos, todos ellos animales de herrado. (Universidad Marista de Querétaro AC, pág. 3)

En el siglo XX, después del gran avance en materia de comunicaciones durante la llamada "paz porfiriana" llegó la revolución y, terminada la contienda, la sociedad demandó resultados. En 1917, por decreto de Venustiano Carranza, se creó la Ley para Comunicaciones y Obras Públicas, que obligaba a la construcción de carreteras. Del México posrevolucionario, fue, durante el gobierno de Plutarco Elías Calles que se comenzó a invertir en la generación de infraestructura. Durante su gestión se creó la Dirección General de Caminos integrada por los ingenieros León



Salinas, Guillermo Beltrán y Puga y Pascual Luna Parra, comenzándose así la construcción de carreteras y caminos.

Tiempo después, otro presidente que dio un fuerte impulso carretero fue Miguel Alemán Velasco. Ejemplo de esto fue cuando el 14 de octubre de 1949 fue creada la Compañía Constructora del Sur, S.A de C.V., la cual nació para generar carreteras de altas especificaciones. Poco después, en 1952, son inauguradas las primeras autopistas de México: la México-Cuernavaca y la Amacuzac-Iguala. Cabe decir que en 1956 la empresa cambió de nombre a Caminos Federales de Ingresos, S.A de C.V. En México, en las últimas décadas han sido construidas notables obras de infraestructura carretera no sólo con el fin de encontrar con una mejor movilidad para las personas que transitan en el interior de la república, sino, sobre todo, para aprovechar comercialmente la posición estratégica del país, adyacente al gran mercado económico de América del Norte, y de las costas localizadas en los océanos Atlántico y Pacífico.

Importante también ha sido la creación del plan Puebla- Panamá, ahora conocido como Proyecto Mesoamérica, la cual es una iniciativa promovida por los gobiernos centroamericanos y el de México que busca generar un mejor desarrollo de la región de mesoamericana. Con éste, se busca una integración vial, la facilidad de generar intercambios económicos, de interconexión energética, de promoción del turismo y de desarrollo humano, entre otros. Y es con la creación de carreteras de altas especificaciones que planes como el anterior realmente pueden lograrse. Carreteras como la México-Puebla –inaugurada en 1962- o la transpeninsular Benito Juárez –federal número 1, que inicia en Tijuana y termina en Cabo San Lucas e inaugurada el 1 de diciembre de 1973- son prueba de la grandeza de las carreteras mexicanas. (Grupo Tradeco, 2013, pág. 21 a 24)

3.4. ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO

Michoacán, oficialmente llamado Michoacán de Ocampo; es uno de los treinta y un estados que junto con la Ciudad de México, conforman las treinta y dos entidades federativas de los Estados Unidos Mexicanos.

Colinda con los estados de Colima y Jalisco al noroeste, al norte con los estados de Guanajuato y Querétaro, al este con el Estado de México, al sureste con el estado de Guerrero y al suroeste con el océano Pacífico. Tiene una superficie de 59'928 km² aproximadamente. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)



Ilustración 26. Ubicación del Estado de Michoacán de Ocampo. (Cuentame, s.f.)

Se divide en 113 municipios. Su capital es la ciudad de Morelia, antiguamente llamada Valladolid, que lleva su nombre actual en honor a José María Morelos y Pavón, héroe de la independencia de México. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)

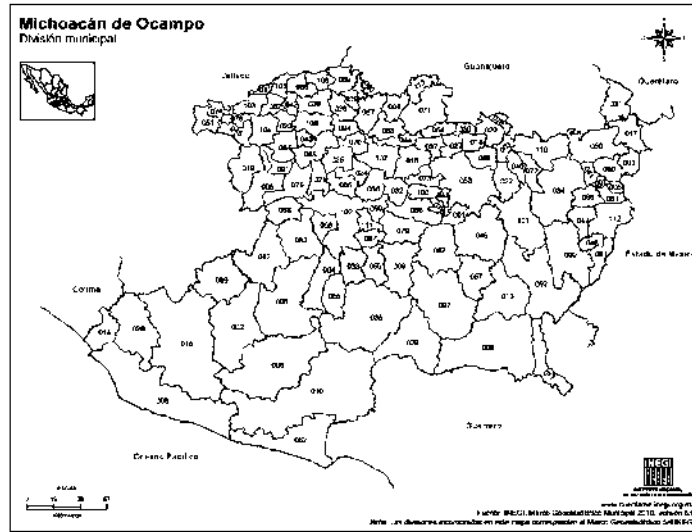


Ilustración 27. Estado de Michoacán de Ocampo dividido con sus 113 municipios (INEGI, 2010)

Michoacán de Ocampo		
División municipal		
001 Acuitzingo	030 Huámula	079 Salvador Escobedo
002 Aguajaltes	040 Indaparapeo	080 Sengucho
003 Ahuac Otorgón	041 Ixtapa	081 Sumpango
004 Angamacualero	042 Ixtlán	082 Tacámbaro
005 Angahuan	043 Jacuarán	083 Tancitaro
006 Apaxtzingán	044 Jiménez	084 Tangamandapán
007 Apuró	045 Aquilpan	085 Tangamucuro
008 Aquila	046 Jalisco	086 Tarascan
009 Arázo	047 Jungapeo	087 Tarímbaro
010 Arázo	048 Lagunillas	088 Tepalcatepec
011 Balsa	049 Madero	089 Tingambato
012 Buenavista	050 Maravatio	090 Tingándaro
013 Carhuacran	051 Maroa Castellanos	091 Tiquicheo de Nicolás Romero
014 Coahuayana	052 Lázaro Cárdenas	092 Tlapajalisco
015 Coahuayana de Zaragoza	053 Morelia	093 Tzucubato
016 Coeneo	054 Morelia	094 Tzucubato
017 Coahuayana	055 Múgica	095 Tzucubato
018 Coahuayana	056 Nahuatzen	096 Tzucubato
019 Coahuayana	057 Nocupétaro	097 Tzucubato
020 Coahuayana	058 Nueva Paz	098 Tzucubato
021 Charapan	059 Nuevo Urecho	099 Tzucubato
022 Charapan	060 Numanán	100 Tzucubato
023 Charapan	061 Ocampo	101 Tzucubato
024 Charapan	062 Palcoyotlán	102 Tzucubato
025 Charapan	063 Parícutino	103 Venustiano Carranza
026 Charapan	064 Parícutino	104 Villamar
027 Charapan	065 Parícutino	105 Villa Hermosa
028 Charapan	066 Parícutino	106 Yandacuaro
029 Charapan	067 Parícutino	107 Zacapu
030 Charapan	068 Parícutino	108 Zamora
031 Charapan	069 Parícutino	109 Zinápan
032 Charapan	070 Parícutino	110 Zinápan
033 Charapan	071 Parícutino	111 Zinápan
034 Charapan	072 Parícutino	112 Zinápan
035 Charapan	073 Parícutino	113 José Soto Verduzco
036 Charapan	074 Parícutino	
037 Charapan	075 Parícutino	
038 Charapan	076 Parícutino	
	077 Parícutino	
	078 Parícutino	

Ilustración 28. Nombres de los municipios de Michoacán. (INEGI, 2010)

Cubre una superficie de 59'928 km², que representa el 3% aprox. de la superficie total del país, ocupando el lugar número 16 en extensión entre las 32 entidades federativas de México. Se encuentra ubicado entre las coordenadas 17° 55' y 20° 24' de latitud norte, y las coordenadas 100° 04' y 103° 44' de longitud oeste. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)



FUENTE: Marco Geoestadístico Ver. 6.5

Ilustración 29. Superficie del estado de Michoacán de Ocampo. (Cuentame, s.f.)

3.4.1. TOPONIMIA

Palabra náhuatl, con la cual los aztecas o mexicas denominaban al paradisíaco territorio, ubicado en el Occidente de México, en el que se asentó el Señorío Purépecha o Michhuaque, gobernado por el Irecha (llamado Caltzontzin por los mexicas).

El vocablo Mich-huac-an se forma con la raíz o radical del vocablo michín, pescado. Etimológicamente Michihuacan es una palabra náhuatl (michi= pescado, huac=posesión, y an=lugar) que significa lugar de los que poseen el pescado. (vBulletin Solutions, Inc., 2016)

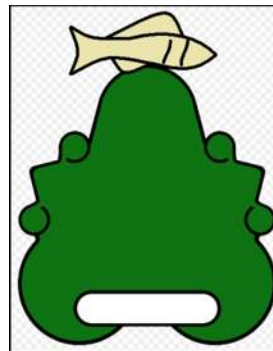


Ilustración 30. Glifo de Michhuahcan. (Glifo Michhuahcān.png, 2009)



3.4.2. HISTORIA

El territorio michoacano estuvo habitado por los purépechas que se desarrollaron como una cultura dominante e impusieron su hegemonía económica, religiosa, militar y cultural a las demás etnias que también habitaban la región, como los nahuas, otomíes, matlatzincas o pirindas y tecos. En la región, se hablaba además del idioma tarasco o purépecha, las lenguas coacomeca, xilotlazinca, colimote, pirinda, mazahua, sayulteco, náhuatl y teca.

En la actualidad los pobladores nativos de estas tierras se dan el mismo nombre que a su lengua: purhépecha, aunque también se les conoce como tarascos. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)

3.4.2.1. PURHÉPECHAS O MICHHUAQUES

En el siglo XIV el irecha ("señor de innumerables pueblos"; Caltzontzin, en idioma náhuatl) Tariácuri ("sacerdote del viento"), sometió a los distintos grupos en nombre del dios Curicaueri y logró consolidar la situación política, social y religiosa del señorío. A su muerte dividió sus dominios en tres señoríos:

- Pasquaro (Pátzcuaro –como se escribe en la actualidad– el nombre con el que aparece en la Relación de Michoacán es Tzacapu-Hamucutin-Pasquaro, "el lugar donde están las piedras a la entrada de donde se hace la negrura", por lo que se le conoce mitológicamente como "La Puerta del Cielo"), que recibió su hijo Hiquíngare.
- Coyuacan, en náhuatl –Ihuatzio, en lengua michhuaque– ("Lugar de coyotes"), para su sobrino Hiripan, y
- Tsintsintzan (Tzintzuntzan en la actualidad –"lugar donde está el templo del dios colibrí mensajero"–), para otro de sus sobrinos, Tangaxuán.

Cuando los mexica, al mando de Axayácatl, intentaron invadir Michoacán, los tres señoríos se aliaron para defenderse bajo el mando del señor de Tzintzuntzan, Tzitzispandácuare, hijo de Tangaxuán I y lograron rechazarlos.

A la llegada de los españoles a Tenochtitlan, era irecha Zuanga, hijo de Tzitzispandácuare, a quien le sucedió Tangaxuán II, último rey de los michhuaques o p'urhépechas. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)

3.4.2.2. COLONIA ESPAÑOLA

Cristóbal de Olid fue el primer español en llegar a Michoacán, y consiguió que Zuanga aceptara a Carlos I, manteniendo el cargo de rey de los purépechas. Tzintzuntzan, capital del imperio, recibió el título de ciudad, un escudo de armas y una sede episcopal. Poco después, Nuño de Guzmán, integrante de la Primera Audiencia, desconoció estos reales acuerdos y eliminó a Tangaxuán II y levantó en armas al indignado pueblo.

Enterado Carlos I, comisionó al abogado y humanista Vasco de Quiroga como miembro de la Segunda Audiencia, y éste y los misioneros franciscanos y agustinos lograron calmar la situación. En el año 1538 fue nombrado obispo.

Llamado Tata Vasco por los michoacanos, Vasco de Quiroga construyó escuelas y hospitales y ayudó a mejorar técnicamente las distintas artesanías purépechas.



Ilustración 31. Vasco de Quiroga (Primer obispo de Michoacán más conocido como el Tata Vasco entre los indígenas de la Nueva España). (*Vasco de quiroga.jpg*, 2007)

En los siglos XVI al XVIII, en las dos principales ciudades, Tzintzuntzan y Pátzcuaro, se levantaron conventos y construcciones civiles. Se inició la explotación minera en Angangueo.

Miguel Hidalgo y Costilla, cura criollo de Valladolid, fue quien llamó a la lucha, el 15 de septiembre de 1810, en Guanajuato, levantando en armas a españoles, criollos, mestizos, mulatos e indígenas, para combatir al ejército realista, llamada que llegó a Michoacán dos días después.

El 19 de octubre de 1810, se publicó el decreto que abolía la esclavitud en México, y el 19 de agosto de 1811 la Suprema Junta Nacional Americana emitió el llamado Manifiesto a la Nación. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)



3.4.3. OROGRAFÍA

La orografía de Michoacán es una de las más accidentadas de México y contiene numerosos volcanes que forman parte del Eje Volcánico Transversal (44,98 % de su superficie) y de la Sierra Madre del Sur (55,02 % de la superficie). La altitud del estado oscila entre los 0 y 4145 msnm. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)

3.4.4. HIDROGRAFÍA

El estado de Michoacán cuenta con 228 km de costas, siendo sus costas unas de las más montañosas y accidentadas del país.

Los principales lagos del estado son: el lago Cuitzeo, el lago de Pátzcuaro, el lago de Zirahuén, una parte del lago de Chapala, y la Presa Infiernillo. Su río más importante es el *Río Lerma*, el cual nace en el Estado de México y abastece a la presa de Tepuxtepec para regar las tierras del valle de Maravatío y producir energía hidroeléctrica. Le siguen en importancia el *Río Balsas* con numerosos afluentes, como el río *Cupatitzio* el cual alimenta las caídas de agua de La Tzaráracua y el río Tepalcatepec. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)

3.4.5. POBLACIÓN

3.4.5.1. NÚMERO DE HABITANTES

Al año 2015, en el Estado de Michoacán de Ocampo viven:

2'374,724 mujeres y 2'209,747 hombres, sumando un total de 4'584,471 habitantes.

Michoacán de Ocampo ocupa el 9no. Lugar a nivel nacional por su número de habitantes. (INEGI, 2010)

3.4.5.2. DISTRIBUCIÓN

El 69% de la población vive en localidades urbanas y el 31% en zonas rurales (INEGI, 2010)

3.4.5.3. DENSIDAD

Al 2015, en promedio en el estado de Michoacán de Ocampo viven:

78 personas por Km². Mientras que a nivel nacional la densidad es de un promedio de 61 personas por Km² (INEGI, 2010)

3.4.5.4. DIVERSIDAD

3.4.5.4.1. RELIGIÓN

En el 2010, 92% de la población de Michoacán de Ocampo profesa la religión católica. (INEGI, 2010)



Ilustración 32. Catedral Metropolitana de Morelia, Michoacán. (ESPEJEL.COM, 2010)

La Catedral Metropolitana de Morelia es un recinto religioso sede de la arquidiócesis de Morelia de la Iglesia católica en México. Se encuentra ubicada como su nombre propiamente lo dice en la ciudad de Morelia, capital del Estado de Michoacán, México. Se le puede observar desde casi cualquier punto de la mancha urbana, sobresaliendo entre todos los edificios por su altura, su posición en el valle, su rosada cantera y su soberbia arquitectura. (ESPEJEL.COM, 2010) Y (Arquitectura Mexicana de los Siglos XVII y XVIII, 1992)

3.4.5.4.2. GRUPOS DE HABLA INDÍGENA

Las lenguas indígenas más habladas en el estado de Michoacán de Ocampo son:

LENGUA INDÍGENA	NÚMERO DE HABITANTES (AÑO 2010)
PURÉPECHA	117 221
NÁHUATL	9 170
MAZAHUA	5 431
LENGUAS MIXTECAS	1 160

Tabla 1. Lenguas indígenas y Número de personas que las hablan. (INEGI, 2010)

En Michoacán, hay 136,608 personas de 5 años y más que hablan lengua indígena, lo que representa menos del 3%. (INEGI, 2010)

3.5. HISTORIA DE LOS PUENTES ANTIGUOS EN AMÉRICA

La historia de los puentes no solo en América sino en el mundo entero, es también la historia de la ingeniería estructural. El problema de pasar un vano construyendo una estructura se ha repetido a lo largo del tiempo a través de distintas soluciones. Según se fue avanzando en el conocimiento de los materiales y la manera en que estos resistían orilló a que los puentes se construyeran con mayores dimensiones y con un menor uso de materiales. (Scribd Inc., 2016)

A lo largo de la historia se han empleado cuatro materiales básicos para construir puentes: la madera, la piedra, el hierro y el hormigón. Los dos primeros, la madera y la piedra, se pueden considerar naturales porque se obtienen directamente de la naturaleza y se utilizan sin ninguna transformación, únicamente es necesario darles forma. Los otros dos, el hierro y el hormigón, son artificiales, porque las materias primas extraídas de la naturaleza requieren transformaciones más o menos complejas que cambian sus propiedades físicas.

Los materiales han tenido y tienen una importancia decisiva en la configuración de las estructuras y por tanto de los puentes. Por ello, la historia de éstos se puede dividir en dos grandes períodos: *el período de los puentes de piedra y madera y el período de los puentes de hierro y hormigón.* (galeon, s.f.)

(Para conocer más acerca de las características y diferencias que engloban a estos dos periodos, se incluyó un anexo al final de este documento para que resulte más claro el entendimiento).

Los puentes tienen su origen en la misma prehistoria (5 millones A.C). Posiblemente el primer puente de la historia fue un árbol que usó el hombre prehistórico para conectar las dos orillas de un río. Utilizaban también losas de piedra para arroyos pequeños cuando no había arboles cerca. La mayoría de estos primeros puentes eran muy pobremente contruidos y raramente soportaban cargas pesadas. Fue esta insuficiencia la que llevó al desarrollo de mejores puentes. (Scribd Inc., 2016)



Ilustración 33. Puente de árbol prehistórico. (puentes.galeon.com, s.f.)

Al paso del tiempo se emplearon los primitivos puentes colgantes soportados por tres cables de modo que pudieran pasar poniendo los pies en la liana más baja y agarrándose de las cuerdas superiores. Se fabricaban con lianas, enredaderas, cuero, bambú, etc. Este método de cuerdas se ha utilizado para hacer puentes colgantes en muchas culturas primitivas, desde el Himalaya a los Andes, África a las islas de Oceanía y en América época Incaica como son los Mayas en el año 1000 A.C. (Scribd Inc., 2016)

Durante el imperio Inca ubicado en los andes de Sudamérica, se crearon los puentes de cuerda, un tipo de puentes suspendidos en el viento, justo antes de la colonización Europea en el siglo XVI.

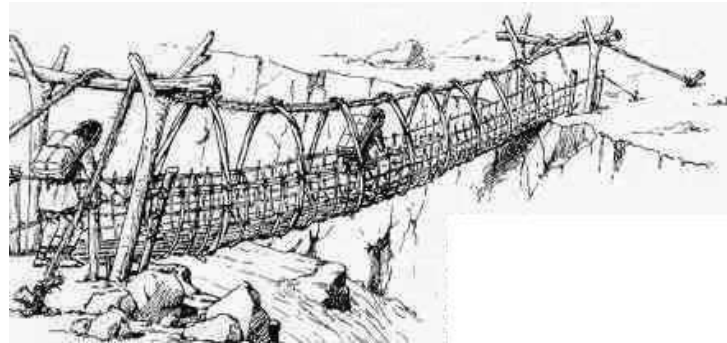


Ilustración 34. Puente colgante prehistórico. (*Puente Historia*, 2016)

Grandes constructores de puentes fueron los romanos, según muestran los múltiples puentes que desafiando el paso del tiempo han llegado hasta la actualidad, algunos de ellos en servicio hasta hoy en día. Los puentes romanos más antiguos estaban contruidos de madera, posteriormente adoptaron el empleo de piedras y grandes sillares. Las técnicas constructivas fueron perfeccionándose, se adoptaron el mortero y la bóveda y se mejoró el sistema de cimentación de pilas.

Los romanos desarrollaron la cimentación bajo el agua mediante cajones de madera de dobles paredes, llenos de hormigón, o con gruesos bloques paralelepípedicos⁵. (Scribd Inc., 2016)

⁵ Paralelepípedo.- Sólido limitado por seis paralelogramos, cuyas caras opuestas son iguales y paralelas. (Real Academia Española, 2016)

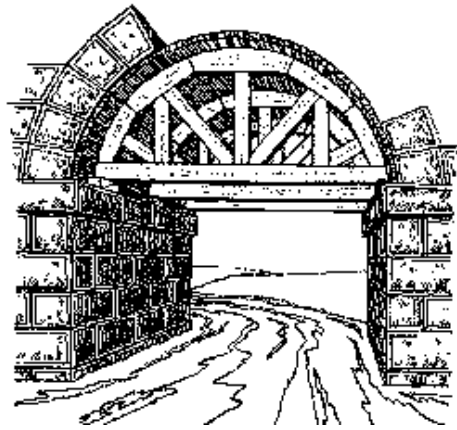


Ilustración 35. Puente de arco romano abovedado. (*roble.pntic.mec.es, s.f.*)

Al igual que ocurre en la mayoría de los casos, la construcción de puentes ha cambiado según la necesidad que de ellos se tenía. En los tiempos de expansión de Roma se hicieron muchos porque dominaban la mayor parte del mundo conocido. A medida que sus legiones conquistaban nuevos países, iban levantando en su camino puentes de madera más o menos permanentes. Cabe destacar que la red de comunicaciones del Imperio Romano llegó a sumar 90.000 km de excelentes carreteras. (Puente Historia, 2016)

Es por eso que, durante la colonización y evangelización de la Nueva España en el siglo XVI, los españoles implementaron la construcción de puentes tipo arco de madera y piedra gracias a las enseñanzas adoptadas de los romanos.

A la llegada de los españoles al nuevo mundo se dieron cuenta de la basta riqueza argentífera que el lugar ofrecía, fue gracias a ello que se dió una expansión acelerada a lo largo de todo el territorio para localizar, profanar y explotar estos centros mineros. Debido a la gran demanda que surgió fue que se crearon estos puentes virreinales para satisfacer a todas aquellas rutas de comercio (camino antiguos) de una manera rápida, eficaz y segura.



Ilustración 36. Puente de piedra tipo arco apuntado del siglo XVI en México. (*Mexplora.com*, 2016)

Aparte de la madera y la piedra, se ha utilizado también materiales como el ladrillo o el concreto en masa. El ladrillo, para el constructor de puentes, es un pequeño sillar con el que se pueden hacer arcos de dovelas yuxtapuestas⁶; por tanto la morfología de los puentes de ladrillo es la misma que la de los puentes de piedra.

La construcción de los puentes de piedra es bastante simple, y en términos generales no plantea problemas distintos a los de cualquier obra contemporánea; solamente la cimentación plantea problemas singulares, pero su dificultad es debida al río, y no a su estructura.

Todas estas cualidades hacen del arco el sistema estructural más perfecto y, casi podríamos decir que único para construir puentes con los materiales de construcción durables que se conocían hasta la aparición del hierro: la piedra y el ladrillo. Por ello, mientras sólo existieron estos materiales, no hubo ningún cambio sustancial en los puentes de arco.

El puente de piedra es el puente histórico por excelencia. Actualmente el arco de piedra como técnica para hacer puentes es solamente historia; ya no se construyen puentes de este tipo porque resultan excesivamente costosos, salvo casos excepcionales en parques o lugares naturales protegidos, con una intención puramente paisajística, y muchos de ellos son de concreto enchapados de piedra. (Univo.edu, 2016, pág. 25)

⁶ Dodelas yuxtapuestas.- La dovela es una piedra tallada en forma de cuña que sirve para formar arcos y bóvedas, es un elemento constructivo que conforma un arco y que puede ser de diferentes materiales, como ladrillo o piedra. Actualmente se elaboran en hormigón (concreto) armado o pretensado. (Málaga, 2016)

3.6. PARTES CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES

En este apartado sólo se verán las partes características y los procesos constructivos de los puentes tipo arco y viga, ya que son los posibles puentes que se encuentren en campo. Los puentes colgantes, atirantados, así como los puentes móviles se dejarán a un lado ya que no se tomarán en consideración como materia de estudio.

(Para conocer más acerca de las partes características de los puentes de una manera general, revisar el anexo no.3 al final del documento).

3.6.1. PUENTES ARCO

3.6.1.1. PARTES CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES EN ARCO

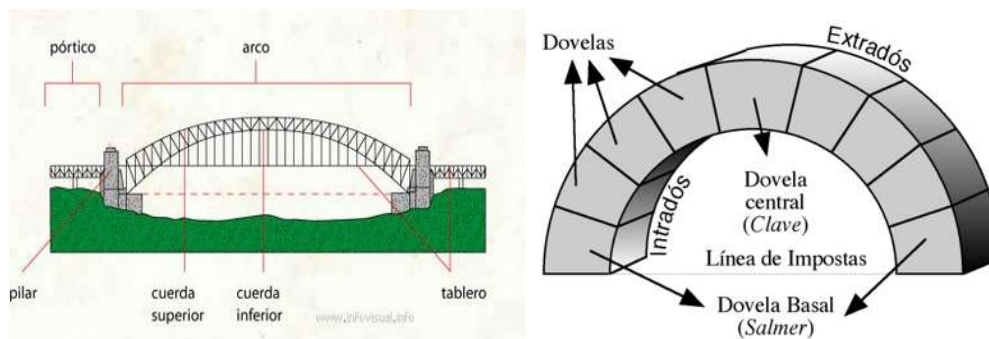


Ilustración 37. Partes características de un puente en arco y partes que conforman el arco.
(LinkedIn Corporation, 2016, pág. 1), (wordpress.com, 2016)

3.6.1.1.1. PARTES QUE CONFORMAN AL PUENTE EN ARCO:

- CUERDA SUPERIOR. Está formada por los elementos unidos en toda la parte superior del arco.
- CUERDA INFERIOR. Está formada por los elementos unidos en toda la parte inferior del arco. (Prezi Inc, 2016)
- TABLERO. Es la plataforma del puente. El tablero puede estar apoyado o colgado de esta estructura principal, dando origen a distintos tipos de puentes arco en función de la posición relativa del tablero respecto al arco. Existen de 2 tipos: Tablero Superior y Tablero inferior:
 - Tablero Superior.- El tablero se encuentra encima del arco, que es quien soporta el peso del puente.

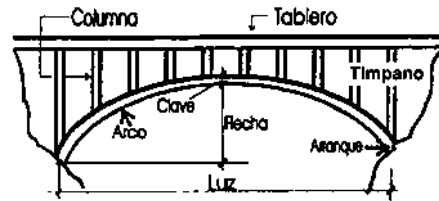


Ilustración 38. Puente en arco con tablero superior. (CuevadelCivil, 2013)

- Tablero inferior.- El arco soporta el peso del tablero del que está colgado.

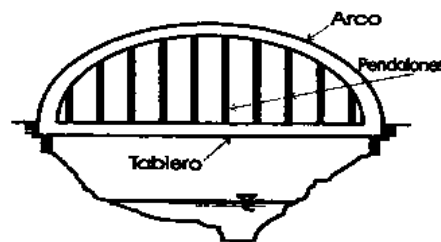


Ilustración 39. Puente en arco con tablero inferior. (CuevadelCivil, 2013)

- ARCO. El diseño del arco, el semicírculo, desvía naturalmente el peso de la cubierta del puente hacia los estribos.
- PILAR. Es un elemento soporte o sostén de un edificio, de orientación vertical o casi vertical, destinado a recibir cargas para transmitir las a la cimentación.
- ENJUTA. Es la superficie delimitada por el extradós de un arco y el alfiz⁷ que lo enmarca. Por extensión se puede llamar enjutas a las superficies angulares curvas comprendidas entre el arco y un rectángulo imaginario que lo contenga. (Lajo Pérez, 1990, pág. 69)

⁷ Alfiz.- Es la moldura o marco que rodea la parte exterior de un arco. En la imagen no. 26 se muestra sombreado de color gris claro. Es un ornamento arquitectónico de origen etrusco, muy frecuente en el arte islámico hispano y en el mozárabe. Es por esto que el alfiz se asocia habitualmente con el arco de herradura. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2016)

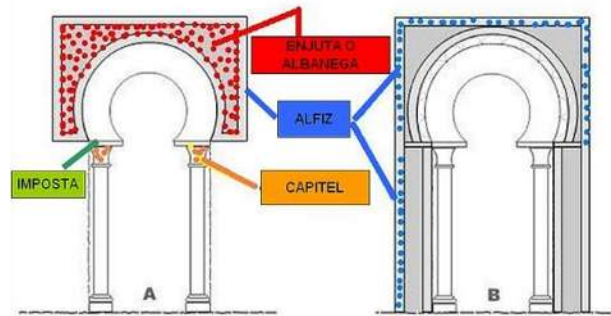


Ilustración 40. Partes de un arco. (*mudejares.blogspot, 2012*)

- **PARAPETO.** Pared o baranda, es un elemento de protección que sirve para evitar la caída al vacío de personas, animales u objetos, ya sea en los puentes, escaleras, balcones, etc. También llamado Pretil o Pasamano. (Real Academia Española, 2016)
- **CORNISA.** Es la parte superior y más saliente de la fachada de una edificación. Tiene como función principal evitar que el agua de lluvia incida directamente sobre el muro o se deslice por el mismo, además de rematar la fachada del edificio.
- **ESTRIBO O CONTRAFUERTE.** Construcción vertical que se levanta pegada al muro de un edificio, sobresaliendo del paramento, para hacerlo más resistente a la carga que debe soportar o para recoger el empuje de un arco o bóveda. (Farlex, Inc, 2016)

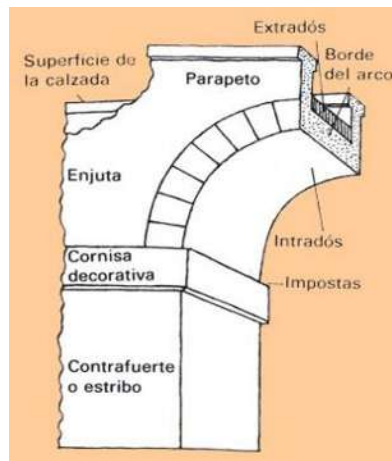


Ilustración 41. Partes que conforman al puente en arco. (*catedu.es, 2009*)

3.6.1.1.2. PARTES QUE CONFORMAN AL ARCO DEL PUENTE:

- **DOVELA.** Es la porción de arco comprendida entre el extradós y el intradós limitada por dos secciones transversales del arco.

- CLAVE. Es la sección perpendicular al arco (directriz), en el punto más alto de su directriz⁸. (CuevadelCivil, 2013)
- EXTRADÓS. Es la superficie exterior del arco.
- INTRADÓS. Es la superficie interior del arco.
- TÍMPANO. Son los espacios comprendidos entre el arco y el tablero a ambos lados de la clave. Es un volumen. (CuevadelCivil, 2013)
- IMPOSTA. Faja saliente de poco volumen, en la fachada de los edificios, que marca el forjado del piso. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2016)
- CIMBRA. Estructura o armadura de cubierta que sirve de base para la construcción de arcos, bóvedas y otras estructuras. (Facultad de Ingeniería, UNAM, s.f.)

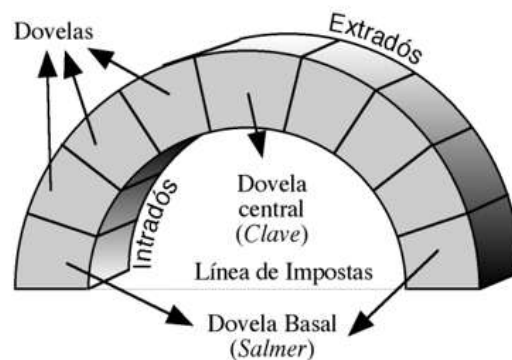


Ilustración 42. Partes del arco de un Puente. (wordpress.com, 2016)

Los tipos de construcciones y procesos constructivos de los puentes tipo arco se encuentran en el anexo al final de este documento más detalladamente. En los cuales sólo se darán a conocer los tipos de construcciones y procesos constructivos para puentes de tablero superior ya que serán los que posiblemente encontremos en nuestro viaje de estudio. Omitiremos entonces los puentes de tablero inferior.

⁸ Directriz. Es la línea que une los centros de gravedad de las diferentes secciones transversales del arco, es el eje del arco. (CuevadelCivil, 2013)

3.6.1.2. PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PUENTE EN ARCO DE MAMPOSTERÍA DEL SIGLO XVI AL XVIII

Al igual que cualquier estructura en la actualidad, el inicio de toda obra es el diseño, el cual comprende todas las características posibles para la construcción del mismo, desde los materiales a implementar, hasta las dimensiones que va tomar dicho inmueble.

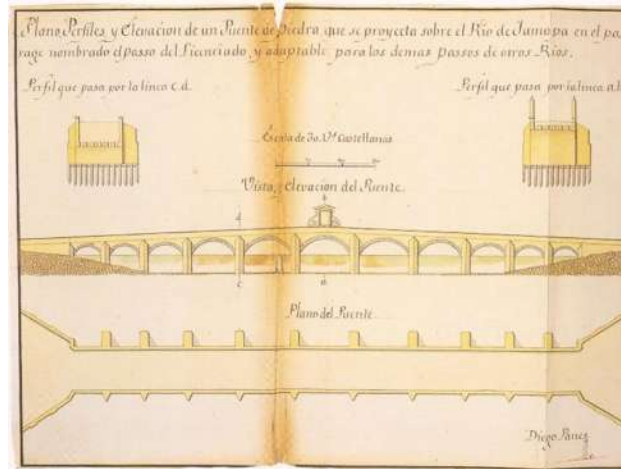


Ilustración 43. Diseño en planta y alzado de un puente virreinal de piedra sobre el río de Jamapa.

Una vez diseñado, se pasa a la zona de desvío y excavación:

Cuando los arcos se cimientan en el fondo de una corriente de agua o un río, el agua se desvía y se excava el terreno hasta llegar a suelo firme. A menudo la cimentación se hacía por pilotes de madera. Desde esta cimentación, se levantan las pilas hasta la base de los arcos.



Ilustración 44. Obras de desvío. (SCT e Imcyc, pág. 16)

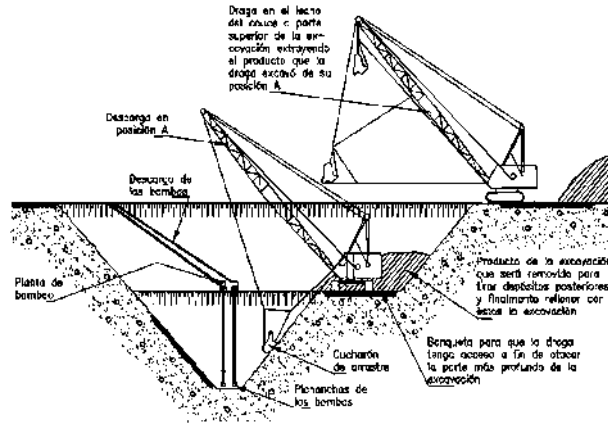


Ilustración 45. Excavación a cielo abierto. (SCT e Imcyc, pág. 17)

(En las figuras 44 y 45 no representan exactamente la metodología de construcción empleada en la época virreinal, las ilustraciones fueron colocadas con el fin de entender fácilmente el significado de los términos “obras de desvío y excavación a cielo abierto”).

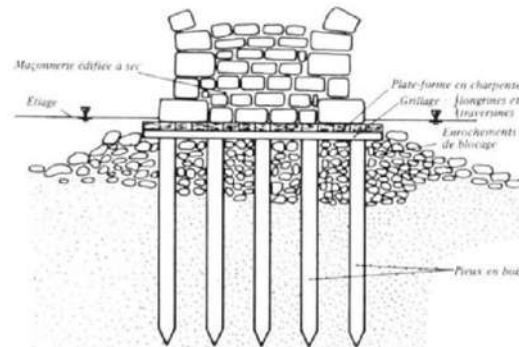


Ilustración 46. Cimentación profunda por medio de pilotes de madera, encepado⁹ de madera y relleno. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 33)

Después se fabrican las cimbras provisionales, normalmente con maderas y tablas. Desde cada arco de un puente multi-arco se transmitirán unas cargas sobre sus vecinos, por esto, es necesario construir todos los arcos al mismo tiempo (y al mismo ritmo), para que las fuerzas que se produzcan, se compensen entre arcos consecutivos. Las cargas que producen los arcos de los extremos del puente se transmiten al terreno por los cimientos en los taludes laterales del río o cañón, o

⁹ Encepado.- Un encepado es un elemento estructural de cimentación que permite recoger los esfuerzos de los pilares de una estructura y transmitirlos a las cabezas de un grupo de pilotes, consiguiendo que las cargas sean transmitidas adecuadamente al terreno. (EcuRed.cu, 2016)

bien con grandes cuñas formando rampas a las entradas en el puente, que también pueden estar formadas por más arcos.

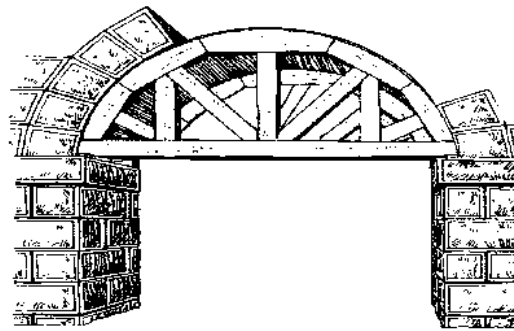


Ilustración 47. Cimbras Provisionales para puente en arco. (*arcos25.blogspot, 2011*)



Ilustración 48. Construcción de arcos simultáneos. (*arcos25.blogspot, 2011*)

La mayoría de arcos se construyen simultáneamente en la cimbra; cuando la estructura básica de cada arco está construida, el arco se estabiliza con un relleno interior de albañilería entre los arcos formando unas paredes a los laterales del puente, que pueden estar dispuestas en horizontal formando también los muros laterales. Una vez formadas estas dos paredes se rellena el interior con material suelto y cascajo.



Ilustración 49. Colocación de dovelas y piezas para muros laterales. (*arcos25.blogspot, 2011*)

Finalmente se pavimenta la vía y se construyen los muros quitamiedos.



Ilustración 50. Construcción de muros quitamiedos y pavimentación de la vía. (*arcos25.blogspot, 2011*)

Se pueden colocar diseños para la misma estructura como cornisas o acabados representativos de la época, así como elementos que ayuden a darle fortaleza y durabilidad a la estructura, como los tajamares, muros con caballete, gaviones, entre otros.



Ilustración 51. Puente virreinal del Santiago de Tautla. Hidalgo. Mex. Camino Real de Tierra Adentro. (UNESCO World Heritage Centre, 2015)

Puente la Colmena en Santiago Tula, Hgo, Méx. El cual se encuentra dentro de la ruta del Camino Real de Tierra Adentro, la cual era una ruta comercial que iba desde la Ciudad de México hasta la ciudad de Santa Fe, Nuevo México, EE.UU.

3.6.2. PUENTES TIPO VIGA

3.6.2.1. PARTES CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES EN VIGA

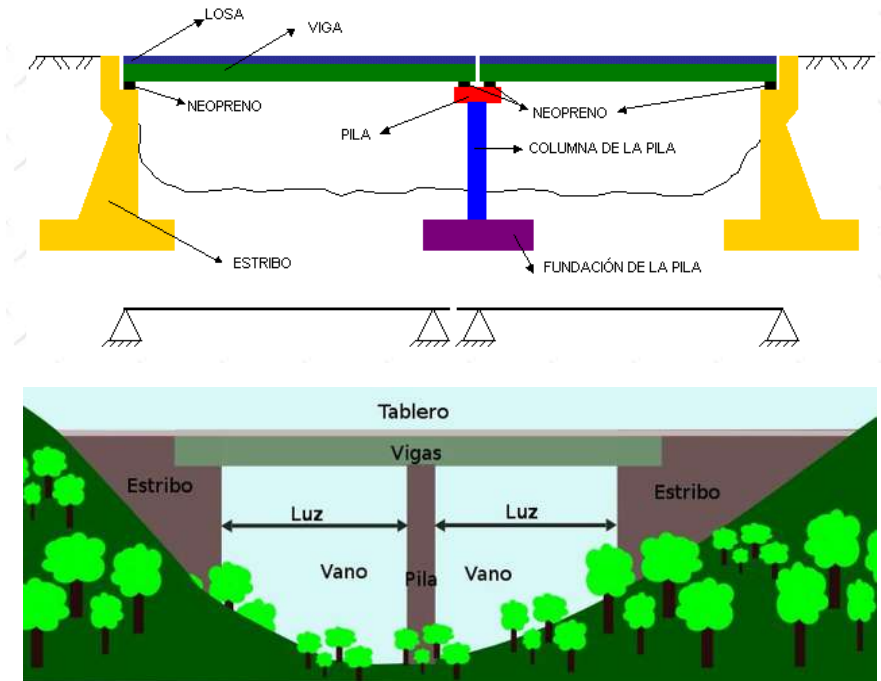


Ilustración 52. Partes características de un puente en viga. (Miliarium.com, 2008) Y (blogspot.mx, 2014)

3.6.2.1.1. PARTES QUE CONFORMAN A UN PUENTE EN VIGA

Los puentes en viga constan fundamentalmente de dos partes: la superestructura y la infraestructura.

Superestructura: Es la parte del puente donde actúa la carga móvil, y está constituida por:

- Tablero
- Vigas longitudinales y transversales
- Aceras y pasamanos
- Capa de rodadura
- Otras instalaciones

Infraestructura o subestructura: Es la parte del puente que se encarga de transmitir las solicitaciones al suelo de cimentación, y está constituida por:

- Estribos
- Pilas



3.6.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PUENTES EN ARCO

3.6.3.1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de estructuras existentes ha despertado un interés creciente en los últimos años. Este interés ha venido provocado, fundamentalmente, por la preocupación lógica de las diferentes administraciones y organismos públicos y privados, al existir ya un gran número de estructuras de edad avanzada que exigen unos costes elevados de mantenimiento, acondicionamiento, rehabilitación y reparación.

Dentro de las estructuras existentes, el conjunto de los puentes arco de fábrica (piedra, ladrillo u hormigón en masa o débilmente armado) forman un importante grupo no sólo cualitativo sino también cuantitativo.

La importancia de la evaluación estructural de los puentes de fábrica, como cualquier otra estructura, se funda en la conveniencia, convertida en necesidad, de conocer el comportamiento estructural tanto en condiciones de servicio como, de manera especial, en agotamiento, esto es, margen de seguridad.

Además de lo anteriormente dicho, en la mayoría de los casos, estas estructuras se crearon para satisfacer necesidades concretas del momento en que se construyeron, están siendo utilizadas para dar paso al tráfico moderno (aumento de intensidad y velocidad de tráfico, al igual que aumento en el número de transportes especiales), lo que conlleva la construcción de plataformas (ampliadas con muy desigual fortuna) y el consiguiente aumento de la carga permanente, más el notable aumento de las sobrecargas y un posible aumento en el efecto dinámico. Este cambio en las condiciones de explotación, lleva asociado también mayores exigencias en calidad funcional y seguridad por parte de los usuarios. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003)

De las infinitas razones que seguramente existen para estudiar y analizar estas bellas y singulares estructuras, a continuación se hace hincapié en cuatro de ellas:

- Importancia cualitativa y cuantitativa
- Ausencia de marco normativo para la evaluación de estructuras
- Tipología en desuso
- Comportamiento resistente diferencial



3.6.3.1.1. IMPORTANCIA CUALITATIVA Y CUANTITATIVA

La importancia cuantitativa de los puentes arco de fábrica viene justificada por su número:

La Red de Carreteras del Estado de Michoacán de Ocampo tiene una longitud de 15468 km según la superficie de rodamiento, soportando el 80% del tráfico total. Del total de puentes que existen en el país, de una familia de poco más de 8000 puentes, el estado que mayor número de estructuras tiene es Michoacán con el 7% del total, es decir, 520 puentes. (Cambio de Michoacán, 2013)

La red autonómica, no goza todavía de un inventario general de las estructuras de la red, lo que, de nuevo, habla por sí solo de la importancia cuantitativa de estas estructuras.

En cuanto, al valor cualitativo de estas estructuras es de difícil estimación, escapándose, en la mayoría de los casos, a una simple valoración económica. Muchos de estos puentes forman parte de nuestra cultura, enriqueciendo nuestro patrimonio histórico, estético e ingenieril. No debemos olvidar que, en ciertos casos, estos puentes, además de estructuras funcionales (llevan dando buen uso muchos años), representan la cultura y arte de una época histórica y, al mismo tiempo, son valedores de los avances de la ciencia y tecnología de la época en que fueron proyectados y construidos.

3.6.3.1.2. AUSENCIA DE MARCO NORMATIVO PARA LA EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS

En la actualidad no existe normativa¹⁰ alguna en ningún país de nuestro entorno que permita evaluar una estructura existente en general ni un puente arco de fábrica en particular. El proyecto de una estructura y su evaluación son dos tareas, que si bien están ligadas por el comportamiento estructural, presentan matices diferentes. Por tanto, la aplicación directa de los criterios de proyecto a la comprobación y evaluación de las estructuras no es recomendable, además, en muchas ocasiones, en el momento de su construcción no existía una norma para el proyecto de las mismas, o al menos lo que hoy entendemos como norma.

Esta ausencia de normativa plantea una dificultad añadida a las muchas que ya rodean la evaluación de estas estructuras y debe repercutir directamente en que el técnico que analice este tipo de estructuras sea especialmente crítico con todo lo que planteé y obtenga. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 3)

3.6.3.1.3. TIPOLOGÍA EN DESUSO

A pesar de haber sido arquitectos (hasta el siglo XVIII) e ingenieros los autores de estas obras, llama poderosamente la atención el desconocimiento que de estas estructuras tienen los ingenieros actuales si se compara con otras tipologías

¹⁰ No existe Normativa como tal. Sin embargo; si se han publicado algunas recomendaciones y artículos sobre la evaluación de estructuras. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 2)



(hormigón, metálicas, mixtas, etc.). En efecto, es un hecho que los ingenieros de hoy carecen del oficio con que los ingenieros de hace 70 o 100 años afrontaban el proyecto de estas estructuras. A esta pérdida de praxis se une el que la tarea ahora es la de comprobación, y no la de proyecto, aspecto que comportaría matices y actitudes diferentes a las del proyectista de obra nueva.

A partir de ese momento se sistematizó y se avanzó en el análisis de estas estructuras a gran velocidad a la vez que surgieron los grandes ingenieros de finales del XIX y principios del XX. Al mismo tiempo que se produjo el advenimiento de las nuevas tipologías metálicas primero y de hormigón después y la decadencia en el uso de la fábrica, se recogieron todos los trabajos anteriormente citados en tratados de carácter general. En estos manuales no sólo se daba cabida al desarrollo analítico ocurrido en el pasado, sino que se trataban aspectos tales como propiedades de los materiales (fábrica -como material compuesto-, piedra, ladrillo y morteros), ensayos de los diferentes materiales, aspectos constructivos y planteamientos estructurales para los diferentes tipos de obras de fábrica (puentes arco, presas, muros, etc.). Destaca el carácter pragmático de muchos de ellos, donde se dan criterios de proyecto, se trata el efecto del relleno y, hasta se consideran someramente las condiciones de contorno.

Más recientemente, en las últimas dos décadas, se ha enfocado el problema no del proyecto de estas estructuras, sino el de la evaluación, desde diversas perspectivas (medio continuo y discontinuo). (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003)

3.6.3.1.4. COMPORTAMIENTO RESISTENTE DIFERENCIAL

Existen tres aspectos fundamentales en el comportamiento de estas estructuras:

- Son estructuras masivas que trabajan fundamentalmente por forma. El elemento resistente principal, que no el único, es la bóveda y el esfuerzo predominante, en principio, es el esfuerzo axial.
- Están constituidas por materiales heterogéneos, anisótropos y, en ocasiones, hasta discontinuos, es decir por fábrica, que no es capaz de soportar tensiones de tracción.
- Están formadas por elementos estructurales de diferente naturaleza y cuya acción estructural es también diferente (bóveda, relleno, tímpanos, aletas, etc.).

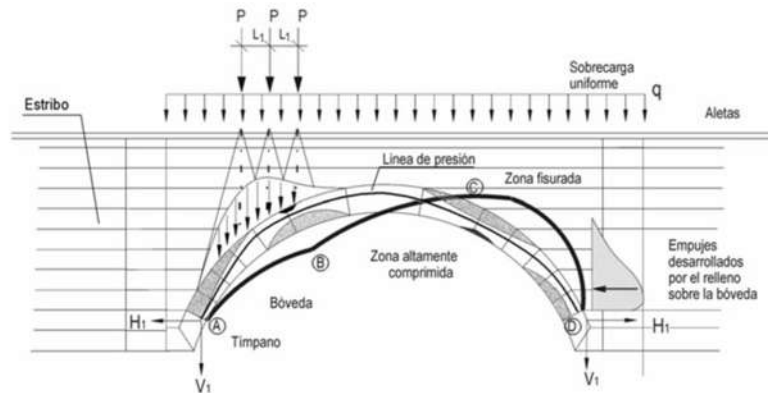


Ilustración 53. Esquema resistente longitudinal en un puente arco de fábrica. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 6)

En la figura se representa un puente arco de fábrica sometido a la acción de su peso propio y de la carga muerta con una sobrecarga uniforme aplicada en toda su longitud y una sobrecarga que consta de tres cargas puntuales P, separadas una longitud L1 entre ellas.

Esta figura trata de mostrar cuál es el mecanismo resistente desarrollado por un puente arco de fábrica para transmitir las cargas a las que se ve sometido y las cargas permanentes hasta la cimentación.

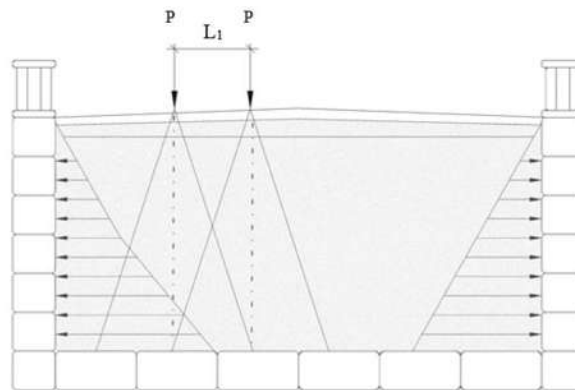


Ilustración 54. Esquema resistente transversal en un puente arco de fábrica. No se ha representado la sobrecarga uniforme. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 7)

Los tímpanos son los elementos laterales que, además de contener lateralmente el relleno, pueden aportar una gran rigidez adicional trabajando como vigas laterales de gran canto.

Los tímpanos deben soportar el empuje lateral transversal (ilustración) que el relleno ejerce sobre ellos, si se quiere contar con un nivel de confinamiento adecuado en el relleno que permita tener en cuenta el empuje del relleno sobre la bóveda. Pero, es precisamente esta gran diferencia de rigidez entre bóveda y tímpanos, junto con los empujes del relleno sobre estos últimos, los que provocan que, normalmente, tímpanos y bóveda estén separados, funcionando como elementos independientes.

La bóveda es la encargada de recoger las cargas que le transmite el relleno y conducirlas hasta la cimentación. (Martínez, MARTín-Caro, & León, 2003)

3.6.3.2. IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIÓN RESISTENTE.

Los puentes arco de fábrica están formados por un número de elementos casi incontables. Como paso previo al estudio de la estructura en su conjunto conviene identificar cuales, de entre todos ellos, desarrollan una misión estructural.

Entre los elementos estructurales se encuentra la bóveda, el relleno, los tímpanos, las pilas, la cimentación, y, por último, el conjunto formado por los estribos, aletas, muros de acompañamiento, etc. Existen otros muchos elementos que, en principio, no desarrollan una tarea estructural como el pretil, la imposta, etc. aunque, en ocasiones, es difícil saber que elemento está realmente trabajando. (Martínez, MARTín-Caro, & León, 2003, pág. 9)

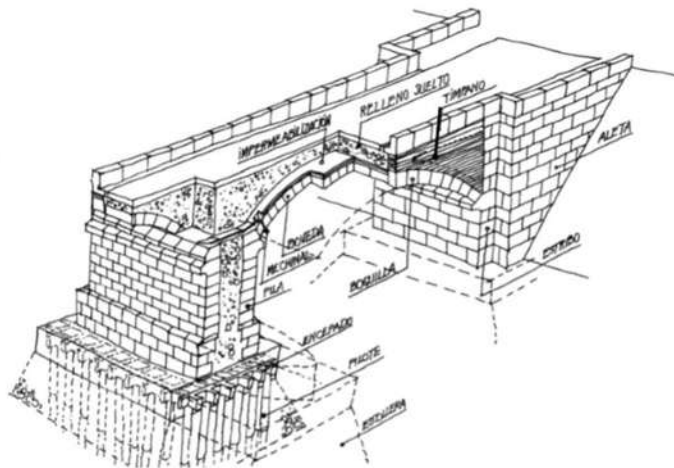


Ilustración 55. Elementos de un puente arco de fábrica. (Martínez, MARTín-Caro, & León, 2003, pág. 9)

3.6.3.2.1. BÓVEDA

La bóveda es el principal elemento resistente en un puente arco de fábrica. Este elemento presenta dos propiedades generales dentro de la función resistente que realiza: trabaja por forma y está confeccionado con materiales que no son capaces de soportar tensiones de tracción. Además, presenta una gran diversidad de formas y materiales, por ello y para un mejor estudio de las mismas, es conveniente clasificarla en grupos de similar comportamiento. A la hora de elegir el criterio para hacerlo, han sido precisamente la forma (geometría), los materiales (tipo de fábrica) y la carga soportada, los elegidos.

La primera clasificación geométrica se realiza en función de la planta de la bóveda. Las bóvedas podrán ser: rectas, curvas o esviadas.

En función del material utilizado en la bóveda se distinguen tres tipos diferentes:

- Bóveda de fábrica de sillería. Bóvedas confeccionadas con sillares de piedra con juntas generalmente de pequeño espesor.
- Bóvedas de fábrica de ladrillo. En este grupo se incluye una gran diversidad de piezas y ligantes (ladrillos macizos, perforados, bloques, morteros hidráulicos, morteros de cemento, etc...). Se distinguen, a su vez, subgrupos dentro de este grupo dependiendo del tipo de aparejo, (aparejo a tendeles, de varias roscas, mixto).
- Bóvedas ejecutadas en hormigón en masa.

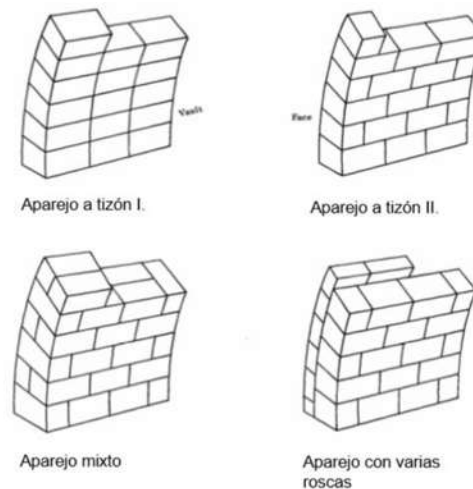


Ilustración 56. Tipos de aparejos utilizados en bóvedas de fábrica de ladrillo. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 11)

Por simple referencia a estos grupos generales de fábrica, fábrica de sillería, fábrica de ladrillo y fábrica de hormigón en masa, es posible tener una primera idea de las propiedades mecánicas de la bóveda.

Además de la forma y del tipo de materiales, otro parámetro definitorio del comportamiento de los puentes de fábrica, es la carga a la que va a estar sometida la bóveda. En este trabajo sólo se estudia la respuesta de estas estructuras frente a cargas estáticas, (verticales y horizontales). Surgen, entonces, dos grandes grupos en función de la carga soportada, bóvedas que se encuentren en la red carretera, y las que se encuentren en la red ferroviaria. La diferencia entre unas y otras cobra especial importancia en los puentes con luces menores a 20 m, ya que en este caso, la importancia de la sobrecarga es determinante. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 10,11)



3.6.3.2.2. RELLENO

Desgraciadamente, el término relleno, en el contexto de los puentes arco de fábrica, no tiene una acepción clara. En la mayoría de los casos, con él se quiere hacer referencia a todo lo que se encuentra situado entre la bóveda de fábrica, tímpanos, estribo y superficie de rodadura.

Por lo tanto, bajo este término se engloba una gran diversidad de materiales en estado y condición variable. Como queda puesto de relieve en los epígrafes posteriores, no sólo es importante conocer el tipo de materiales y propiedades que conforman el relleno, sino también el estado en que se encuentran (grado de compactación, saturación, confinamiento, etc.).

El desconocimiento del relleno, debido a esta variación de tipos y de estados, ha provocado, en ocasiones, que la contribución del mismo se olvide a la hora de evaluar la capacidad portante de un puente arco de fábrica. No debemos olvidar que, dentro del relleno de una misma estructura pueden encontrarse presentes materiales de muy diferente naturaleza (cal y canto, arena, hormigón, etc.).

Descripción y Tipologías.

Normalmente el relleno era cualquier cosa que se encontraba a mano en el lugar y momento de construcción del puente. La constitución del mismo podía oscilar entre un hormigón romano¹¹ o un cal y canto¹² cementado (rellenos cementados) y, arenas o arcillas (rellenos sueltos) compactados en mayor o menor medida. Incluso dentro de estos dos grandes subgrupos la variabilidad es grande. La transición entre un grupo y otro no se realiza de forma gradual, el comportamiento de un relleno cementado difiere notablemente del de un relleno suelto, siendo el primero más cercano al comportamiento de los materiales utilizados en la bóveda.

3.6.3.2.3. RELLENO CEMENTADO

Es aquel que se encuentra, generalmente, en la zona cercana a los arranques de la bóveda, es decir, la zona de transición entre bóveda y pila o bóveda y estribo. En ocasiones, la presencia del relleno rígido no se limita tan sólo a la zona antes especificada, sino que se encuentra a lo largo y ancho de toda la estructura, como, por ejemplo, el caso de algunos puentes romanos (hormigón).

¹¹ Hormigón romano ejecutado con Puzolana. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 12)

¹² Cal y canto.- Hormigón ciclópeo, formado por un mortero de cal grasa y grandes cantos rodados. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 12)

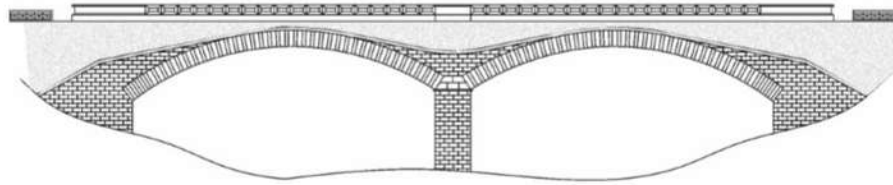


Ilustración 57. Sección longitudinal de un puente arco de fábrica donde se puede apreciar, la bóveda, un relleno cementado confeccionado en sillería y el relleno suelto. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 12)

En la figura es posible apreciar en la zona de arranques de la bóveda, (zona de cabeza de pila y cercana al estribo) la presencia de una fábrica más o menos regular. Esta zona presenta una rigidez muy parecida a la de la bóveda.

3.6.3.2.4. RELLENO SUELTO

Se denomina así al relleno formado por terrenos más o menos granulares (arenas o arcillas) que normalmente se encuentra en las zonas cercanas a clave.

La época de construcción puede arrojar alguna luz sobre el proceso constructivo y, en segunda instancia, sobre la tipología del relleno. La sistematización en la construcción de puentes arco de fábrica, materializada sólo en determinadas épocas históricas, hace posible suponer como ciertas hipótesis sobre la constitución y materiales empleados en el relleno.



Ilustración 58. Sección longitudinal del puente sobre el barranco del Torrent. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 13)

A la hora de evaluar la acción del relleno es importante conocer no sólo el tipo de material sino también el estado del mismo y su relación con el resto de los elementos estructurales. Especial interés tiene, como se verá en el próximo punto, el estudio de las interfaces entre bóveda/relleno y relleno/típanos. En cuanto al estado del relleno, tres son las variables principales que deben conocerse (especialmente en el caso de rellenos granulares):



- Grado de Saturación. La presencia de agua en el relleno por una parte modifica el peso del mismo y por tanto el valor de la carga gravitatoria.
- Grado de Compactación. A lo largo del texto quedará demostrada la importancia del grado de compactación del relleno, en el caso de rellenos sueltos, a la hora de evaluar el reparto de cargas a través del relleno y los empujes movilizados en el trasdós de la bóveda.
- Grado de confinamiento. Se puede definir el confinamiento como la restricción a la deformación transversal del relleno.

Significado estructural del relleno granular:

En el caso de un puente arco de fábrica respaldado por un relleno suelto, éste, además de gravitar sobre la bóveda, por una parte, transmite y reparte las cargas aplicadas en la superficie de rodadura hasta el trasdós de la bóveda atenuando el efecto local de las cargas y, por otra, desarrolla empujes sobre la bóveda estabilizándola generalmente. Esta acción se lleva a cabo a través de tres interacciones que se producen entre bóveda y relleno.

Estas tres interacciones, aunque están desarrolladas de forma independiente, están íntimamente relacionadas, especialmente las dos últimas:

- Reparto de cargas a través del relleno.
- Redistribución del empuje del relleno sobre el trasdós de la bóveda debida a la deformación de la misma.
- Desarrollo de tensiones tangenciales en la interfaz bóveda/relleno.

El reparto de cargas disminuye la acción de las mismas y, por consiguiente, también la deformación del conjunto de la estructura, incidiendo, por lo tanto, de forma directa en los empujes que se desarrolla en el trasdós de la bóveda.

La deformación y movimiento del conjunto bóveda/relleno produce un estado tensional en la interfaz (tensiones normales y tangenciales) responsable de la movilización de empujes en el trasdós de la bóveda. La cuantía y tipo de empuje dependen principalmente de las tensiones normales.

Significado estructural del relleno cementado:

El efecto estructural del relleno cementado recibe un tratamiento diferente al del relleno suelto.

La presencia de una zona de mayor rigidez en los arranques modifica sustancialmente el comportamiento del puente arco. Esta zona más cementada y rígida tiene unas propiedades mecánicas semejantes a la bóveda, pila o estribo. Por ello, a efectos de valorar su contribución estructural se considerará como un

elemento portante rígido, realizándose en él comprobaciones similares a las realizadas en bóveda, pilas y estribos.

Se consideran 3 elementos en este caso:

- Pila o estribo con un voladizo correspondiente a la zona de relleno rígido. (Figura 68).
- Bóveda resultante una vez descontada la parte tenida en cuenta en el elemento anterior.
- Relleno granular, en la zona cercana a clave (en el caso de que haya). (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, págs. 13,14,25,26)

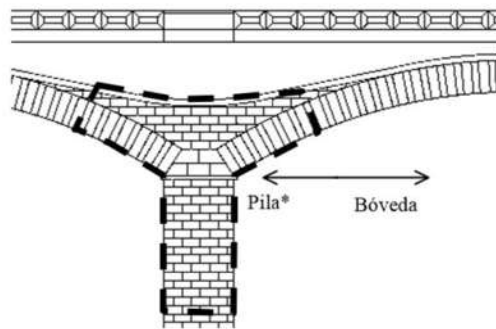


Ilustración 59. Configuración resistente. Relleno rígido. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 26)

3.6.3.2.5. TÍMPANOS

Los tímpanos son los elementos verticales que se disponen lateralmente y que apoyan sobre las bóvedas. En la mayoría de los casos son llenos o macizos y su función principal es la de contener y confinar lateralmente el relleno a modo de estructura de contención de tierras. En otros casos, generalmente cuando la luz de la bóveda supera los 25m, los tímpanos se aligeran transversal y longitudinalmente para aliviar así, la carga muerta sobre la bóveda. En este último caso, tímpanos aligerados, especialmente en el caso de disposición de aligeramientos transversales, su función ya no es la de contención lateral del relleno, sino la de transmitir la carga desde la superficie de rodadura a la bóveda mediante tabiques, montantes o arcos.

La cara exterior de los tímpanos es plana y totalmente vertical, su cara interna puede presentar un ligero talud o estar escalonada, de forma que aumenta el espesor del tímpano de arriba abajo. Esta geometría, similar a la de un muro de contención, obedece a la ley de empujes del relleno.

En planta, la alineación puede ser recta o puede variar linealmente, presentando un espesor máximo en los arranques de la bóveda y mínimo en la clave de la misma (ilustración 69).

La altura de los tímpanos en clave está condicionada por el sobre espesor del relleno en este punto, no siendo, generalmente menor de 0.50 m. Esta sobre altura adicional en clave es beneficiosa en el comportamiento general de los puentes arco de fábrica, en caso de que su valor sea muy alto puede llegar a producir el fallo de la unión del tímpano y la bóveda.

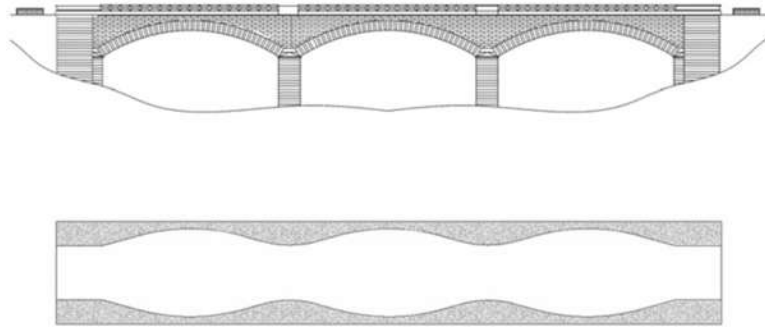


Ilustración 60. Alineación en planta de tímpanos de ancho variable. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 27)

En las estructuras de gran luz, los tímpanos suelen presentar aligeramientos transversales en la zona de arranques, que facilitan una mayor capacidad de desagüe y alivian la carga total, y longitudinal.

Ya se ha señalado que la función prevista para los tímpanos macizos es la de contener lateralmente las tierras de los rellenos granulares. Esta contención y confinamiento lateral posibilita al relleno desarrollar, a su vez, la tarea estructural a la que esta encomendado, que, además, como se ha señalado en el epígrafe anterior, es de gran importancia. En el caso de que los tímpanos no confinen lateralmente al relleno, no se podrá contar con la acción estabilizadora de los empujes desarrollados por el relleno en el trasdós de la bóveda.

A esta misión inicial se le añade otra, quizá no prevista en el proyecto, de rigidización longitudinal de la estructura. Los tímpanos macizos pueden ser considerados, además de *muros de contención laterales*, como vigas de gran canto. Si bien es cierto, que este trabajo como viga queda imposibilitado si se acepta la hipótesis que supone que la fábrica no es capaz de soportar tensiones de tracción, en ciertos casos, dependiendo del aparejo¹³ y los materiales empleados en la ejecución del tímpano y de la unión de éste con la bóveda, puede suponerse que el tímpano resiste esfuerzos de flexión, desarrollando cierta resistencia a flexo tracción. De esta manera, los tímpanos aportan una rigidización adicional, siempre y cuando se pueda asegurar la conexión entre estas vigas laterales y la bóveda de fábrica. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, págs. 27,28)

¹³ Aparejo.- Forma y modo de disponer, tallar y enlazar los materiales de una construcción. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2016)

3.6.3.2.6. PILAS

La función de las pilas dentro de un puente arco de fábrica es la de conducir la carga transmitida por las bóvedas hasta los cimientos. Para ello deben de ser capaces de soportar también las acciones que directamente inciden sobre ellas (viento, riadas, etc.).

Las pilas son los elementos estructurales que, dentro de un puente arco de fábrica, han estado sujetos a más cambios en sus dimensiones a lo largo de la historia. Existen razones constructivas e incluso estratégicas que explican las diferentes geometrías adoptadas en las pilas durante los últimos 22 siglos. La desconfianza en el cimiento hizo que las dimensiones de las pilas en los comienzos (época romana y medieval) fueran enormes, con valores para la anchura de la pila de aproximadamente un tercio de la luz libre de las bóvedas que soportaban. Este comportamiento, que era buscado deliberadamente por razones estratégicas en determinadas situaciones (guerras, revoluciones), permitía la voladura de un vano para dejar sin servicio el puente pero manteniendo en pie el resto de la estructura.

En el s. XVIII los valores de la anchura de la pila se acercan al décimo de la luz.

Del mismo modo que ocurre en las bóvedas, el comportamiento estructural de las pilas se puede caracterizar a través de unos pocos parámetros geométricos y el tipo de sección de la misma. La altura total de la pila (lustración 70) es el primer parámetro definitorio de su comportamiento. En función de este valor se opta por dar talud longitudinal y transversal a la pila.

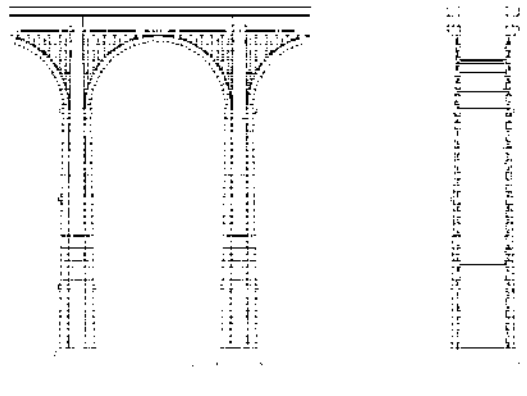


Ilustración 61. Geometría de pila. Talud constante. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 29)

En algunos casos, cuando la altura es considerable, se disponen arcos intermedios de arriostramiento¹⁴ longitudinal, aunque esta práctica es poco común en puentes y viaductos y más común en acueductos.

¹⁴ Arriostramiento.- Arriostramiento es la acción de rigidizar o estabilizar una estructura mediante el uso de elementos que impidan el desplazamiento o deformación de la misma. (Scribd Inc., 2016)



En cuanto al tipo de sección, se distingue entre dos grandes grupos, pilas macizas y mixtas, siendo la segunda la más frecuente. La sección maciza está ejecutada en un mismo tipo de fábrica. La sección mixta está formada por una carcasa de sillería bien labrada y pulimentada, que contiene en su interior desde una mampostería a un hormigón ciclópeo, pasando por cal y canto cementado. El común denominador de todos ellos es el de poseer un módulo de deformación longitudinal menor que el del material empleado en la carcasa, así como una resistencia también inferior.

La sección en ambos casos suele ser rectangular, no contándose con los tajamares.

Las patologías más comunes se deben a problemas en la cimentación, generalmente fisuración diagonal o vertical en el plano de la pila debido a un asentamiento diferencial de la misma por la propia consolidación de la cimentación. Es poco frecuente encontrar problemas asociados al revestimiento o estallido de la pila, producidos por un exceso de tensiones. Por otra parte, en casos donde la pila se encuentre en cauces de gran caudal, el agua puede llegar a arrastrar, previa disolución, el relleno interno de la pila, quedando como sección resistente una sección hueca. Finalmente, señalar que las pilas son los elementos más susceptibles de recibir el impacto de vehículos que dañen localmente el elemento. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 28,29,30)

3.6.3.2.7. CIMENTACIÓN

La cimentación es el elemento resistente peor conocido y más débil de los elementos anteriormente mencionados. El menos conocido porque existe poca documentación sobre su proyecto y construcción si se compara, por ejemplo, con las reglas de proyecto existentes para bóvedas y estribos, y, además, porque es un elemento oculto y poco accesible.

Es el elemento más débil porque, el proyecto de la cimentación descansaba en el escaso conocimiento que siempre se ha tenido de las propiedades geotécnicas del terreno sobre el que apoyaba. La elección de una cimentación superficial o profunda estaba supeditada, por tanto, a esta variable casi desconocida hasta el s. XIX. Esto ha resultado en demasiadas ocasiones en cimentaciones poco adecuadas que han terminado por provocar daños y, en el peor de los casos, la ruina de la estructura. Además, la cimentación está sometida al peor enemigo de estas estructuras, las grandes avenidas, que, debido a la larga vida de las mismas, han dejado su huella probablemente alguna vez.

Este elemento se puede clasificar atendiendo a dos parámetros diferentes:

- Por una parte, atendiendo a la tipología de la misma, en este caso, la cimentación podrá ser superficial o profunda.
- Aunque, también se puede clasificar atendiendo al material utilizado para su ejecución, en este otro caso la cimentación puede estar ejecutada en sillería y madera o en hormigón.

3.5.3.2.7.1. CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

La elección de una cimentación superficial se hacía cuando el estrato inmediato era, en teoría, suficientemente adecuado. Ya se han comentado las lagunas existentes en el conocimiento geotécnico, lo que conducía a que sólo se apostaba por una cimentación superficial cuando el estrato era claramente competente, es decir roca. En este caso, la tensión admisible del terreno era muy alta, lo que provocaba que el área de la zapata no fuera mucho mayor que el de la pila, lo que llevaba a zapatas de tipo rígido (ver ilustraciones 71, 72 y 73).

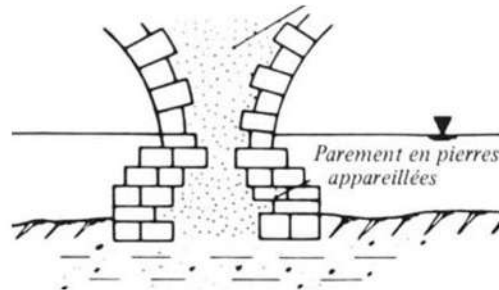


Ilustración 62. Cimentación superficial por medio de zapata de sillería con relleno de mampostería rígida. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 32)

En otras ocasiones, especialmente en épocas de declive técnico, por ejemplo, durante algún periodo de la Edad Media, se generalizó el proyecto de cimentaciones superficiales, con independencia de la bondad del terreno, simplemente por comodidad y facilidad, lo que llevó a la ruina de muchas de ellas.

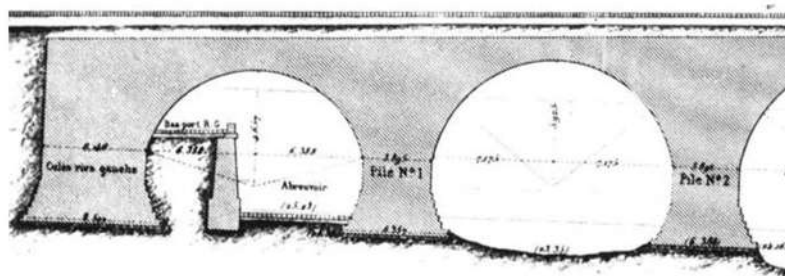


Ilustración 63. Cimentación superficial por medio de zapata de sillería. Puente Neuf, París. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 32)

La cimentación superficial mediante zapata ha estado ejecutada casi en su totalidad con sillería, si bien es verdad que en ocasiones (s. XIX) pueden haber estado protegidas por zampeados¹⁵ de hormigón.

¹⁵ Zampeado.- Los zampeados son recubrimientos de superficies con mampostería, concreto hidráulico suelo-cemento, contruidos sobre superficies de terreno horizontales o inclinadas, como protección contra la erosión y en casos como recubrimiento de acabado. (Scribd Inc., 2016)

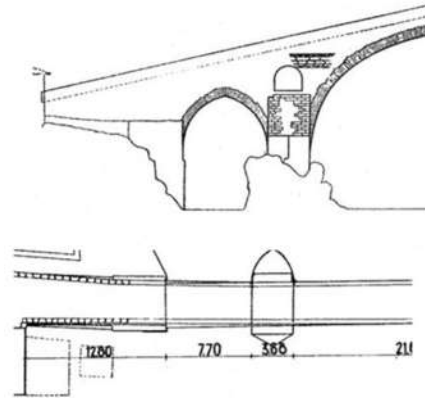


Ilustración 64. Cimentación superficial por medio de zapata de sillería sobre roca. Puente de Cangas de Onis. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 32)

El otro tipo de cimentación superficial es la losa de cimentación, mucho menos común y que aparece en el s. XVII, para tratar evitar el grave problema de la socavación.

3.5.3.2.7.2. CIMENTACIÓN PROFUNDA

En este caso la variedad de tipos es mucho mayor, a continuación se presentan y describen los casos más importantes.

El primer tipo de cimentación profunda que se conoce es la cimentación mediante pilotes de madera, donde los pilotes tenían una longitud máxima de aproximadamente 10m, coronados por un encepado realizado mediante un emparillado de madera con relleno de arena o áridos más o menos cementados. En la ilustración se muestra la cimentación de una de las pilas del puente Wilson á Tours de finales del s. XVIII. Aunque el ejemplo mostrado date del S. XVIII este tipo de cimentación ya era utilizado en época romana. Para evitar la socavación se disponía escollera de protección alrededor de las pilas.

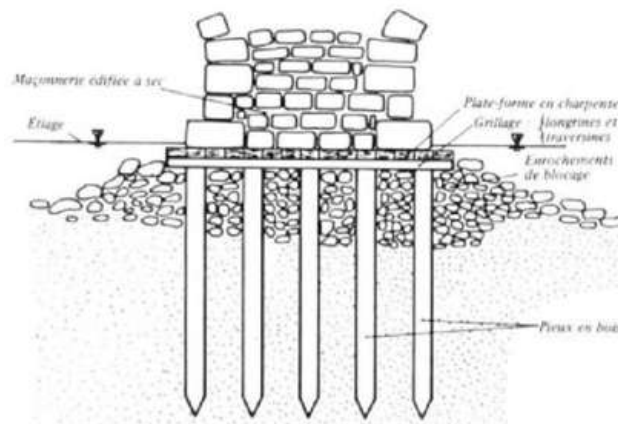


Ilustración 65. Cimentación profunda por medio de pilotes de madera, encepado de madera y relleno. Puente Wilson á Tours. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 33)

Este tipo tiene como variante la posibilidad de que además de presentar un recinto exterior de pilotes más o menos largos, presente en su interior un número indeterminado de pilotes de menor longitud.

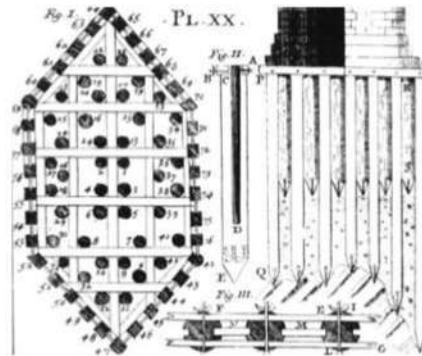


Ilustración 66. Cimentación profunda por medio de pilotes de madera. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 33)

En algunas ocasiones, se aprovechaba también, el recinto establecido para la construcción en seco de la cimentación, en la situación definitiva. Este recinto ejecutado por medio de tablestacas reforzadas en ocasiones con pilotes para conferir mayor rigidez al conjunto, se rellenaba posteriormente con materiales más o menos cementados, para pasar, ya en el s. XVIII, a rellenarse con hormigón (zampeado) y servir así de protección en situación definitiva.

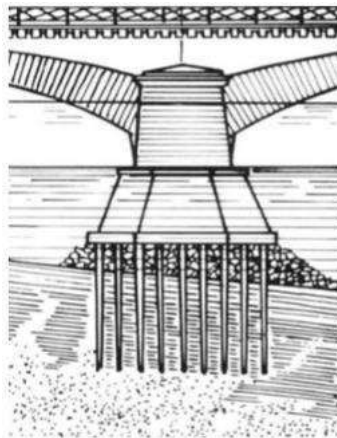


Ilustración 67. Cimentación profunda por medio de pilotes. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 34)

En el s. XIX se comienza a utilizar la cimentación mediante cajones huecos, estos cajones eran construidos en la orilla y llevados hasta su lugar de emplazamiento donde eran hundidos creando un recinto seco. Posteriormente, se vertía hasta el estrato de suelo competente una amplia cama de hormigón. Finalmente tras un pequeño zócalo se levantaba la pila (figura 67).

En las figuras 67, 68 y 69 es posible apreciar la protección de escollera dispuesta contra la socavación. Por último, a finales del siglo XIX surge la técnica de cimentación por medio de cajones de aire comprimido. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 32.33.34)

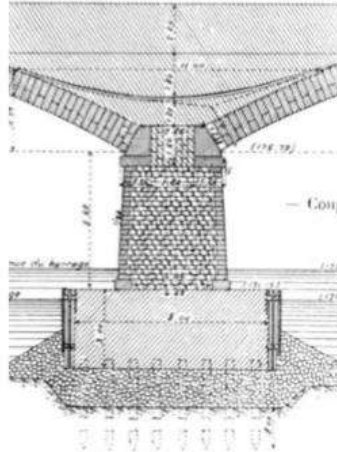


Ilustración 68. Cimentación profunda por medio de pilotes y cajones huecos rellenos de hormigón. Puetne Boucicaut. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 34)

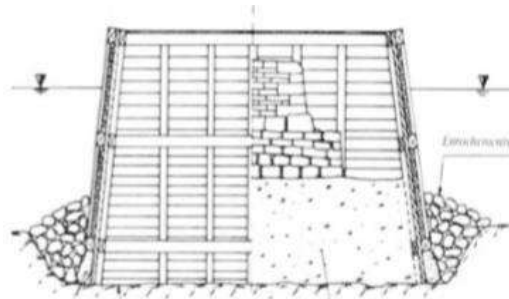


Ilustración 69. Cimentación por medio de cajón relleno de hormigón. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 35)

3.6.3.3. MANUAL METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE UN PUENTE ARCO DE FÁBRICA.

En este punto se presenta una Manual Metodológico para la evaluación de los puentes arco de fábrica. Esta metodología está basada en el comportamiento estructural y su objetivo fundamental es el de facilitar al técnico que aborde la evaluación de estas bellas estructuras, una herramienta útil y práctica que permita dar respuesta a las incógnitas que la evaluación plantea y, que se enuncian a continuación:

- Deducir el nivel de seguridad de la estructura a partir de su estudio en situaciones cercanas al agotamiento, atendiendo a los posibles modos de fallo y teniendo en cuenta los datos de que se dispone.



- Conocer el comportamiento de la estructura en condiciones de servicio, a partir del nivel tensional y el nivel de fisuración existente en los elementos estructurales. El conocimiento del comportamiento de estas estructuras en condiciones de servicio puede facilitar el planteamiento de una política de mantenimiento más adecuada que alargue la vida útil de las mismas, de tal forma que, las medidas que se adopten (limitación de cargas y velocidades, reparación, refuerzo, etc.) estén fundadas en un criterio objetivo que englobe también el aspecto estructural.
- Servir al diagnóstico, si hay síntomas patológicos, tarea para la cual el análisis constituye una poderosa herramienta, que permite cuantificar la importancia de los daños desde el punto de vista estructural. En la mayoría de estas estructuras están presentes las huellas de los avatares a que han estado sometidas a lo largo de su vida de servicio. Es casi imposible dar con una estructura que se encuentre en perfecto estado, tal y como se proyectó y construyó. Es de enorme importancia, por tanto, cuantificar los daños presentes en términos de pérdida de capacidad portante y poder inferir su posible evolución en el tiempo, así como su origen y causa.
- Actuar con criterio objetivo en las tareas de reparación, refuerzo o ampliación de este tipo de estructuras. Las necesidades que provocaron el proyecto de estas estructuras han cambiado notablemente, especialmente a lo largo de las últimas décadas, lo que ha provocado que, en ocasiones, sea necesario abordar una operación de reparación, refuerzo o ampliación. En este capítulo se pretende dotar de una herramienta que le permita al técnico decidir, en primer lugar, si verdaderamente es estrictamente necesario acometer la reparación o si es necesario el refuerzo y, en segundo lugar, abordar la operación con objetividad. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 35,36)

A continuación se nombrarán todos los puntos básicos necesarios para llevar a cabo un buen análisis para la evaluación de los puentes tipo fábrica.

3.6.3.3.1. DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE

La expresión "cuanto más, mejor" no deja de ser una manifestación de imposible deseo. Si ya es muy difícil que, ante una estructura existente de edificación o ante un puente "moderno", se disponga de proyecto original, documentos sobre intervenciones posteriores, características de materiales, etc., la situación documental ante una estructura construida hace al menos cien años, que ha atravesado por mil peripecias estructurales como socavaciones, voladuras, accidentes, reparaciones (no siempre reparadoras), suele ser desoladora. A todo ello se une otra verdad objetiva: inspeccionar in situ sobre el puente es difícil (accesos complicados, necesidad de mantener el servicio) y caro. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 36)



3.6.3.3.1.1. GEOMETRÍA

Es de lo menos que se puede partir; de una colección de planos en los que se consignan:

- Planta y alzado generales.
- Detalles de luces, anchos de pilas, espesores de roscas, anchos de bóvedas.
- Sección transversal (siquiera estimada).
- Si se carece de originales, estos datos pudieran provenir en parte del resultado de las inspecciones in situ o espaciales.

3.6.3.3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Es posible caracterizar el comportamiento mecánico de la fábrica de forma aproximada, sin necesidad de acudir a ensayos; tan sólo es necesaria una observación cualitativa de los materiales, de su disposición y de sus dimensiones.

Conocer la naturaleza de los materiales por medio de ensayos suele ser considerado un lujo justificado sólo por la imperiosa necesidad de una precisión en el conocimiento de ciertas variables mecánicas condicionantes en ciertas tipologías. Como se verá más adelante, esta campaña sólo se abordaría si, tras un primer análisis, se llega a la conclusión de que es necesario contar con datos experimentales sobre los parámetros mecánicos de la fábrica, que permitan afinar y contrastar los datos estimados en el primer intento. Sí es imprescindible conocer al menos:

- Tipo de fábrica: Fábrica de ladrillo, de sillería o de hormigón en masa.
- Aparejo utilizado: a tizón o de varias roscas.
- Tipo de pieza: tipo de ladrillo y sillar.
- Espesor del tendel y tipo de mortero utilizado –cemento o cal–.
- Densidad de fábrica y relleno.
- Estado: humedad, meteorización, etc.

3.6.3.3.1.3. NATURALEZA Y ESTADO DEL PUENTE

Es preciso conocer, reportaje fotográfico incluido, cómo se encuentra la estructura, al menos hasta donde un sencillo reconocimiento fruto de las mencionadas inspecciones pueda llegar. Así, será necesario conocer la tipología y el estado de las cimentaciones, de las fábricas (aparejos y estado), así como las eventuales manifestaciones patológicas que puedan presentarse. Muy en particular es importante conocer las posibles fisuraciones en bóvedas, despegue de tímpanos, deformaciones en la rasante, juntas en bóvedas que hagan sospechar de la formación de rótulas, giro de cimentaciones y, por consiguiente, de las pilas, con movimientos horizontales inducidos, etc. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 36,37)



3.6.3.3.2. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL – CLASIFICACIÓN TIPOLOGICA

En correspondencia con lo señalado en el punto anterior, documentación necesaria para llevar a cabo una evaluación estructural, la caracterización estructural lleva consigo el estudio de las dimensiones y relaciones geométricas de los elementos de la estructura, de los materiales utilizados en los diferentes elementos estructurales y, por último, de los daños presentes en el puente.

La caracterización estructural es el primer acercamiento al comportamiento de estas estructuras y constituye el primer paso de la evaluación de las mismas. El análisis comparativo de las variables mencionadas, (geometría, materiales y daños) de la estructura objeto de análisis con los valores de otras estructuras pertenecientes a tipologías similares y con las reglas de proyecto existentes en el momento de construcción, permite situar el problema y establecer un primer diagnóstico del estado del puente.

3.6.3.3.2.1. CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA

A lo largo de los siglos XVIII y XIX apareció en la literatura ingenieril una gran cantidad de fórmulas que permitían predimensionar las bóvedas de fábrica de forma sencilla. Casi la totalidad de los grandes ingenieros de la época tenían su propia propuesta en forma de fórmula para obtener, en primera aproximación, las dimensiones de la estructura. Estas reglas de proyecto formuladas en la observación de estructuras existentes y de la propia experiencia de los autores fueron utilizadas para predimensionar un gran número de estructuras que, a partir del siglo XIX, eran comprobados mediante la teoría de estabilidad de bóvedas primero y, la teoría de la resistencia de materiales después. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 38)

3.6.3.3.2.2. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Las obras de fábrica presentan una serie de peculiaridades que las diferencian de otras tipologías y que afectan directa o indirectamente al comportamiento mecánico de las mismas. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 46)

En estas peculiaridades engloba:

- Resistencia a compresión de la fábrica
- Módulo de deformación longitudinal de fábrica
- Criterio de agotamiento $\tau - \sigma$.- En los elementos de fábrica el agotamiento se produce por la interacción de las tensiones tangenciales y normales presentes en la sección.



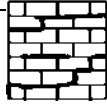

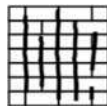
ESFUERZO PREDOMINANTE	CONDICIÓN DE FALLO	PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y MATERIALES	ASPECTO DE LA ROTURA
CORTANTE	Deslizamiento en los tendeles	EN LA INTERFAZ	
			Horizontal o escalonada sin rotura de las piezas
CORTANTE Y NORMAL	Rotura a tracción de las piezas (o el mortero)	EN LAS PIEZAS	
			Escalonada con rotura mixta en tendeles y piezas
NORMAL	Rotura a compresión de la fábrica (tracción indirecta en las piezas)	DE LA FÁBRICA	
			Partición en las piezas, fisuración perpendicular a los tendeles

Tabla 2. Modos de fallo debido a la interacción $\tau - \sigma$. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 49)

En la fábrica la relación entre $\tau - \sigma$ en agotamiento viene expresada a través de tres tramos que recogen los diferentes tipos de rotura que se producen en la fábrica, en la junta o interfaz, o bien en la pieza (tabla 2). (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 49,50)

3.6.3.4. DAÑOS Y FACTORES QUE CAUSAN DETERIORO EN LOS PUENTES

3.6.3.4.1. INTRODUCCIÓN

La aparición de daños en las estructuras, sea cual sea su configuración estructural y el conjunto de materiales con que se han construido, es tan inevitable como inexorable es el paso del tiempo y, con él, el desgaste y envejecimiento de los materiales integrantes de las fábricas que, aunque más duraderas que otros materiales estructurales, no son tan “eternos” como parecen.

El desgaste producido por el uso de la estructura, la sobre-explotación, la erosión y meteorización debido a su permanente exposición a un entorno climáticamente hostil, la implacable acción de los cursos de agua, el abuso que la vegetación, convertida con resignación en hogar de líquenes, hierbas, arbustos y hasta árboles, más la no siempre certera actuación del ser humano, conducen a un deterioro de las estructuras que se traduce en problemas de servicio (movimientos, aperturas de juntas) y de agotamiento, con pérdida del nivel de seguridad de estos puentes.

Reconocido el hecho evidente del daño, se muestra en este apartado, una sistematización de los deterioros más frecuentemente detectados. Como sucede con las estructuras ejecutadas en otros materiales (hormigón, acero, etc.), es fundamental entender los diferentes mecanismos de deterioro que actúan sobre los puentes para poder establecer una diagnosis certera y, por consiguiente, una



eficiente terapia. Esta manera de proceder, obvia por otra parte, no siempre ha sido pauta de conducta debido al desconocimiento general que se tiene acerca del comportamiento de estas estructuras, como se ha señalado ya. Así, en efecto, no es raro que se califiquen como graves defectos grietas, que son sólo la manifestación de un normal comportamiento estructural, mientras que, en otras ocasiones, se pasan por alto defectos que están anunciando un colapso probable. Esta situación tiene su origen en el abandono en que la ingeniería moderna ha dejado a las estructuras de fábrica. Los últimos puentes de fábrica se construyeron hace más de medio siglo y las disciplinas académicas que los estudiaban dejaron de impartirse también hace decenios.

Desde el punto de vista "mecánico" o estructural, los puentes de bóvedas de fábrica, al adoptar el arco como configuración estructural básica y los materiales pétreos como componentes principales trabajando exclusivamente a compresión, están generalmente dotados de una gran resistencia y rigidez, así como de una notable durabilidad, claramente "competitiva" con la de otros materiales y formas estructurales, como atestigua el gran número de estas estructuras que siguen prestando servicio, al cabo de cientos de años, en excelentes condiciones.

No obstante, estos puentes tienen puntos débiles. La cimentación, por ejemplo, constituye el verdadero talón de Aquiles de estas estructuras, siendo la causa más frecuente del colapso natural de los puentes de fábrica. La carencia hasta épocas recientes de medios técnicos suficientes para investigar el comportamiento del terreno y para ejecutar cimentaciones suficientemente profundas y estables, imposibilitó en muchos casos la correcta construcción de cimentaciones, lo que trajo consigo el que se hayan producido socavaciones por avenidas o movimientos en la cimentación por descalce, descompresión o colapso del suelo, induciendo serios daños en pilas y estribos y, consecuentemente, en arcos, bóvedas y tímpanos, llegándose a producir ocasionalmente el colapso de la obra. Sin ir tan lejos, puede afirmarse que una buena parte de los daños serios que suelen presentar todos los elementos estructurales de los puentes de fábrica tienen su origen primero en un deficiente comportamiento de la cimentación.

Naturalmente, otros daños estructurales se deben a situaciones diversas: transmisión de empujes notables de los rellenos sobre los tímpanos, debilitamiento de las uniones por filtraciones, pérdidas de mortero y erosiones, pérdida de solidez de conjunto por la actuación de acciones dinámicas, etc. Todas ellas producen un debilitamiento del monolitismo general que afecta tanto a la estabilidad de sus elementos integrantes como a la durabilidad de la obra en su conjunto. Tampoco debe olvidarse que los defectos que exhiben ciertos elementos funcionales del puente, aunque no suelen provocar a corto plazo situaciones estructuralmente comprometidas, pueden producir a medio y largo plazo deterioros y daños en la propia estructura que inciden notablemente en la seguridad y durabilidad de la obra.



Además, los materiales constitutivos del puente se ven sometidos tanto a acciones mecánicas exteriores como a otras de origen erosivo, meteorológico y físico-químico de procedencia diversa, que tienden a degradarlos con el tiempo, afectando a la durabilidad. Así, por una parte, las acciones exteriores de origen mecánico (cargas y deformaciones impuestas) han ido aumentando con el tiempo: las cargas por eje y, sobre todo, las velocidades, en los casos ferroviarios, de los trenes del presente son claramente superiores a las que actuaban sobre estos puentes cuando se proyectaron y construyeron. Por otra parte, la velocidad y gravedad del deterioro de los materiales depende fundamentalmente de la calidad y compatibilidad de los materiales colocados en la obra, así como de la intensidad de la agresión exterior. Generalmente, estos procesos de alteración de materiales son progresivos y lentos, pero cuando se sobrepasan determinados valores umbral, se produce una interacción con los deterioros por trabajo estructural, de tal manera que el fenómeno de degradación se realimenta y acelera.

Ciertamente, a los problemas "mecánicos" enunciados se unen los mal conocidos mecanismos que rigen el inexorable deterioro de las fábricas con el tiempo, es decir, la durabilidad, tan justamente de moda entre los técnicos que proyectan, construyen y mantienen estructuras de hormigón y acero. La durabilidad de las fábricas, y su declinante y acelerado curso, está detrás de muchos y graves problemas de estos puentes. En efecto, los complejos mecanismos de deterioro y meteorización que se producen en la fábrica (ladrillo, sillares, mortero, etc.) producidos a lo largo de un gran número de años, complica, aún más si cabe, la detección y comprensión de los fenómenos ocurridos y el establecimiento de sus causas últimas.

Como también se ha dicho, no se debe de olvidar que el importante patrimonio de puentes arco de fábrica constituye un valioso muestrario de defectos y daños del que puede y debe sacarse partido en forma de enseñanzas que, mediante inspección, seguimiento y estudio, ayuden a mejorar el conocimiento y el tratamiento de estos problemas. Además, las reparaciones e intervenciones realizadas hasta la fecha suponen un importante banco de pruebas que también debe aprovecharse. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 53,54,55)

A continuación se presenta un compendio de los daños detectados, clasificados y ordenados en función de su incidencia estructural, lugar de aparición y origen. Se pretende así llenar la laguna existente en la descripción de daños en esta tipología estructural.

3.6.3.4.2. DAÑOS EN LA CIMENTACIÓN

3.6.3.4.2.1. GENERALIDADES

El problema principal de los daños en cimentaciones –no sólo de puentes– es la dificultad que plantea su inspección visual. Si ésta se efectúa en épocas de estío, será más fácil detectar los eventuales problemas de degradación del elemento estructural pila, zapata o encepado, e incluso los problemas generados, aunque con



matices, por el deterioro del conjunto suelo-cimiento. Como los cimientos de los puentes arrancan habitualmente a cierta profundidad y están o bien situados bajo el agua o bien aparecen ocultos por sedimentos, se comprende que, en estas circunstancias, la inspección, incluso empleando equipos subacuáticos, resulte una labor ardua. Con gran frecuencia se ha de recurrir a la utilización de maquinaria de sondeos o técnicas especiales de inspección para obtener un conocimiento suficiente del estado real de la infraestructura del puente y de la batimetría detallada del cauce bajo el puente y en sus aledaños, tanto aguas arriba como aguas abajo.

Por lo tanto, en la práctica, el primer procedimiento utilizable para la detección de problemas de deficiente respuesta estructural de las cimentaciones –no tanto para la detección de problemas en el propio elemento estructural pila, zapata o estribo, sino del inadecuado funcionamiento de la interacción suelo-estructura– es la observación y el análisis de los síntomas que, eventualmente, se manifiesten en la superestructura como consecuencia de los giros, asientos absolutos y diferenciales producidos en los cimientos. Sin embargo, pueden existir cimentaciones que se encuentren en condiciones de estabilidad precaria y niveles reducidos de seguridad, sin que ello se refleje momentáneamente en síntomas exteriores suficientemente claros, aun existiendo riesgo de que se alcancen de improviso situaciones de inestabilidad, grandes movimientos, e incluso episodios de colapso total o parcial. La detección de estas situaciones sólo será posible mediante la utilización de procedimientos especiales de auscultación, lo cual queda fuera del ámbito de este estudio. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 55)

DAÑOS EN LA CIMENTACIÓN	DAÑOS DEBIDOS A UN DETERIORO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL	ENCEPADOS E	+	DL Disolución de cal	
		PILOTES P		AA Arrastre de gravas y áridos	
		ZAPATAS Z		AS Ataque de sulfatos	
		CAJONES C		RAA Reacción árido-álcali	
		ELEMENTOS DE PROTECCIÓN EP		AM Abrasión pilotes de madera	
	DAÑOS DEBIDOS A UN DEFICIENTE COMPORTAMIENTO SUELO-CIMIENTO				PM Pudrición de la madera
					CM Corrosión elementos metálicos
		SOCAVACIÓN LOCAL PILA SP			
		SOCAVACIÓN LOCAL ESTRIBO SE			
		SOCAVACIÓN GENERAL SG			

Ilustración 70. Cuadro sinóptico de los daños posibles en cimentaciones de pilas y estribos de puentes de bóvedas de fábrica. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 59)

Los daños que sufren directamente las cimentaciones pueden producirse esencialmente por dos causas: la degradación de los materiales constitutivos de la propia subestructura o el deficiente comportamiento del conjunto cimiento-suelo

ante las acciones a las que se ve sometido. Entre las primeras causas están los arrastres, la disolución de la cal, la alteración química por la presencia de aguas agresivas, la abrasión de pilotes de madera, la pudrición de ésta, la corrosión de elementos metálicos (dispuestos en reparaciones posteriores a la construcción o en recintos tablestacados para la contención de la escollera de protección). Entre las causas de deterioro del conjunto suelo-cimiento están, entre otras, la acción de las corrientes de agua sobre las cimentaciones (socavación), la acción de las aguas sobre el conjunto de su cauce, las modificaciones de su trazado en planta o la evolución en el perfil longitudinal. (Martínez, MARTín-Caro, & León, 2003, pág. 56)



Ilustración 71. Ejemplo de deterioro del elemento estructural zapata de un puente de fábrica.
(Martínez, MARTín-Caro, & León, 2003, pág. 60)

Dos casos reales que permiten ilustrar estas situaciones son los de los colapsos del puente de Tours (abril de 1978) y, más recientemente (marzo de 2001), del puente ferroviario de Veguellina de Órbigo (León). En el primer caso, muy conocido, la socavación general fue la responsable del hundimiento del puente (ilustración 72).

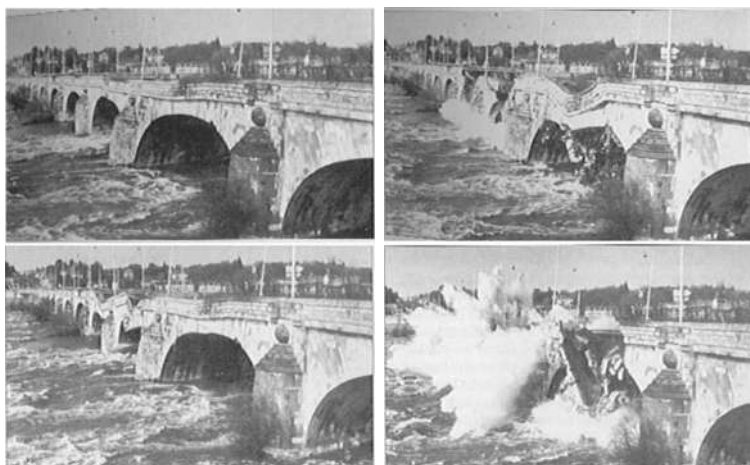


Ilustración 72. Colapso del Puente Tours (abril de 1978). (Martínez, MARTín-Caro, & León, 2003, pág. 57)

En el segundo, la socavación local de la cimentación y giro consiguiente de una de las pilas (ilustración 73) fueron la causa del colapso de dos de las cuatro bóvedas del puente de hormigón en masa.

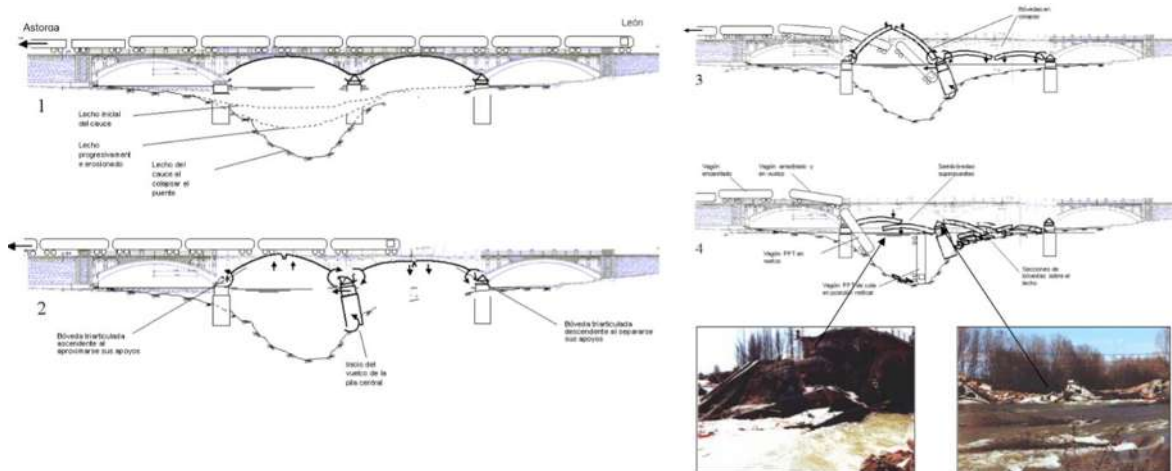


Ilustración 73. Colapso del puente de ferrocarril de Veguellina de Órbigo (León) en marzo de 2001. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 58)

Las secuencias muestran la evolución más probable de la cinemática de colapso del puente de ferrocarril de Veguellina de Órbigo (León) en marzo de 2001. El estado de la estructura era correcto (cuatro bóvedas de hormigón en masa con 25 m de luz cada una). Sin embargo, el efecto de la acumulación de avenidas extraordinarias provocó el colapso de una de las pilas sobre el cauce. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 56,57,58)

3.6.3.4.2.2. DAÑOS PROVENIENTES DE LA DEGRADACIÓN DEL ELEMENTO

El "elemento" al que se refiere el título representa no sólo a la zapata o encepado, sino también a los correspondientes dispositivos de protección, sacrificados antes que aquéllos y cuyo fallo debería equivaler al de "fusible" del sistema, desencadenador de las actuaciones pertinentes para solventar el problema. En muchas ocasiones resulta incluso difícil distinguir entre elemento estructural de cimentación y pila, dado que la existencia de aditamentos, tajamares, postizos, etc. difumina las diferencias hasta hacer imperceptible la frontera entre ellos.

Se han sistematizado los daños de acuerdo con la siguiente relación. Debe añadirse que algunos de estos daños no son exclusivos de los elementos de cimentación, sino que pueden aparecer en otras partes de la estructura (bóvedas, pilas, tímpanos, etc.).

3.6.3.4.2.2.1. ARASTRE Y PÉRDIDA DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Se trata de una de las patologías que más habitualmente sufren las cimentaciones debido a la acción directa del agua, es decir, el deterioro de las protecciones de escollera¹⁶ o de otro tipo. La experiencia demuestra que la geometría de la escollera,

¹⁶ Escollera.- Obra hecha de piedras arrojadas al fondo del agua para formar un dique de defensa contra el oleaje, o para resguardar el pie de otra obra de la acción de las olas o las corrientes. (Farlex, Inc, 2016)

dispuesta como protección alrededor de los apoyos, evoluciona en el tiempo cualquiera que sea el tamaño de los bloques, incluso si su peso es suficiente para que no sean arrastrados por la corriente (ilustración 74).



Ilustración 74. Arrastre y pérdida de elementos de protección. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 61)

3.6.3.4.2.2.2. ARRASTRE DE GRAVAS Y ÁRIDOS EN ZÓCALOS, ENCEPADOS Y ZAPATAS.

Este fenómeno es consecuencia de la acción conjunta del agua del cauce sobre los elementos estructurales de cimentación, encepados, zapatas y zócalos, junto con los procesos erosivos y de degradación de los morteros y aun de las piezas. Ello es debido al aumento de velocidad que provoca el estrechamiento del cauce o un cambio en el perfil longitudinal. El resultado es el de la pérdida de material, incluida la sección resistente, la emergencia de los pilotes y emparrillados de madera, lo que propicia su corrosión, etc.

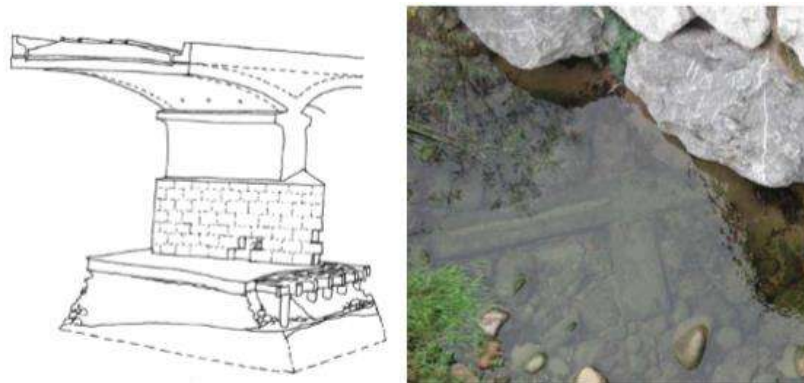


Ilustración 75. Emparrillado de cimentación al descubierto como consecuencia del arrastre de la protección de escollera. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 62)

3.6.3.4.2.2.3. DISOLUCIÓN DE CAL EN ENCEPADOS, ZAPATAS Y ZÓCALOS

La disolución de la cal conduce a la disgregación de morteros y de antiguos macizos de hormigones de cal, habituales en encepados y palizadas de cimentación de puentes de fábrica. El agua de los ríos tiende a disolver la cal libre de los morteros y de los hormigones, devolviéndolos al estado de áridos sueltos. El efecto es la formación de cavidades o incluso la disgregación completa del macizo de cimentación.

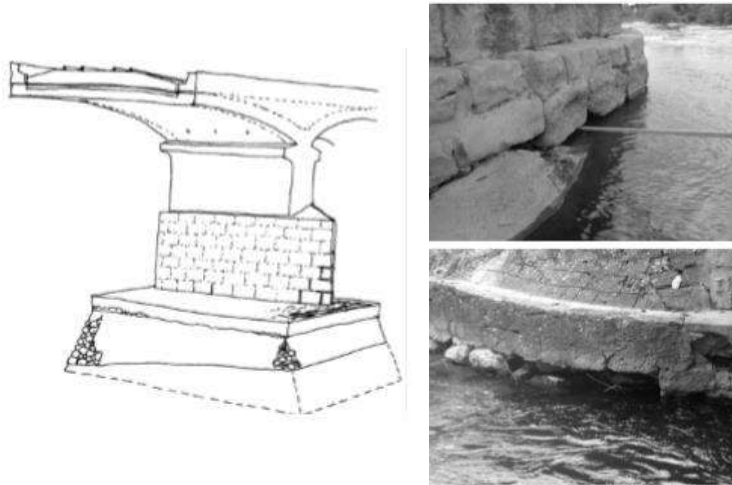


Ilustración 76. Daños debidos a disolución de cal en zapata y zócalo. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 62)

3.6.3.4.2.2.4. ATAQUE POR SULFATOS (ENCEPADOS Y ZAPATAS) A LOS HORMIGONES Y A LOS MORTEROS

Este tipo de ataque es bien conocido desde hace tiempo. Se caracteriza por la reacción química del ion sulfato, como sustancia agresiva, con el componente aluminato, iones de sulfato, calcio y oxidrilo cuando se trate de cementos Portland o que contengan clínker de Portland, originando etringita y, en menor medida, yeso. La reacción entre estas sustancias, en presencia de agua suficiente, causa la expansión del hormigón, dando lugar a una irregular distribución de las fisuras.

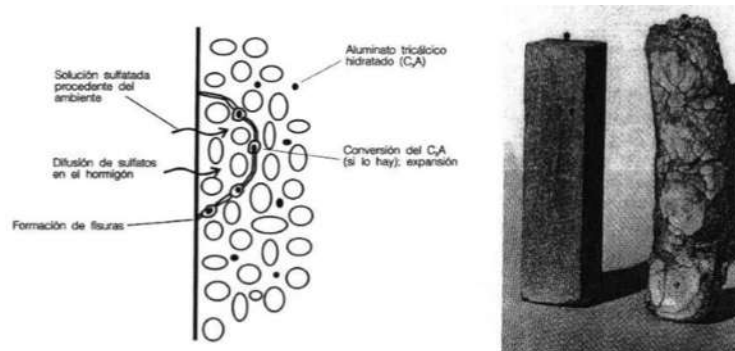


Ilustración 77. Fisuración debida a un ataque por sulfatos. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 63)

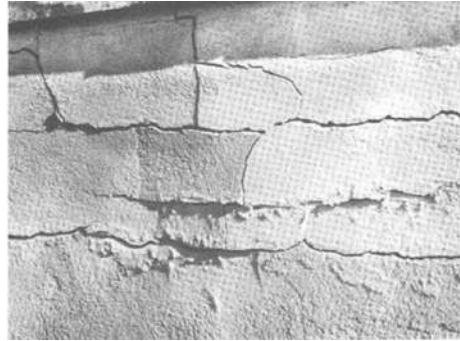


Ilustración 78. Fisuración debida a un ataque por sulfatos a un mortero. (Martínez, MARTín-Caro, & León, 2003, pág. 63)

El daño no es exclusivo de las piezas de hormigón. Se ha constatado la existencia de daños de este tipo en morteros, como atestigua la ilustración.

3.6.3.4.2.2.5. REACCIÓN ÁRIDO-ÁLCALI

Este tipo de ataque se asemeja al de los sulfatos. La diferencia es que, mientras en el ataque por sulfatos la sustancia reactiva es el cemento, en el segundo caso la sustancia reactiva es la de los áridos. La solución alcalina de los poros de los hormigones está saturada de cal, pero contiene más o menos álcalis (iones sodio y potasio, respectivamente, Na^+ y K^+). Estas soluciones pueden atacar a la sílice contenida en los áridos, dando lugar a la formación de gel sílice-álcali. Si hay suficiente cantidad de agua, la reacción puede desembocar en una expansión destructiva. El deterioro se aprecia desde el exterior al aparecer fisuraciones irregulares, seguida por la desintegración completa. Otras manifestaciones típicas son hinchamientos locales y la exudación de productos cristalinos de composición variable.

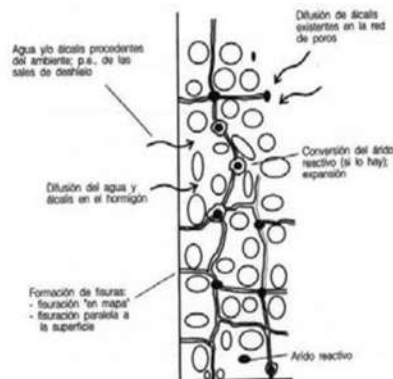


Ilustración 79. Fisuración debida a una reacción árido-álcali y presencia de "lágrimas" de gel sílice-álcali. (Martínez, MARTín-Caro, & León, 2003, pág. 64)

3.6.3.4.2.2.6. ABRASIÓN DE PILOTES Y EMPARRILLADOS DE MADERA

La abrasión de pilotes de madera por materiales en suspensión se produce cuando aparecen cavidades que descubren las cabezas de los grupos de pilotes. El deterioro se manifiesta principalmente en los elementos más delgados y débiles. Las cabezas de los pilotes pueden llegar a ser completamente destruidas por este fenómeno. Para que este fenómeno se produzca es preciso que se haya producido el arrastre de los elementos de protección, así como de los gruesos y áridos de zócalos y encepados.

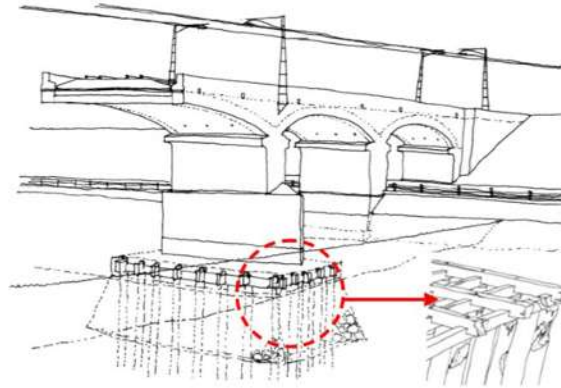


Ilustración 80. Abrasión y pudrición de elementos de madera. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 64)

3.6.3.4.2.2.7. PUDRICIÓN DE ELEMENTOS DE MADERA (PILOTES Y EMPARRILLADOS)

Cuando el origen del ataque no es mecánico, como sucede con la abrasión, sino biológico, el resultado es la degradación, pulverización y desaparición de la madera. La experiencia muestra que, en general, los pilotes de madera colocados en obras fluviales envejecen poco y conservan sus características resistentes. Si los pilotes permanecen constantemente sumergidos, están protegidos de los hongos, que no pueden desarrollarse sin aire, y la pudrición no se produce. En medio marino, la madera sumergida puede ser atacada por diversos moluscos, por lo que su durabilidad se ve muy reducida. Las zonas de carrera de marea son especialmente vulnerables por la alternancia continua de periodos en los que la madera queda al aire y sumergida. Algo parecido sucede también con las pilas de puente sobre cauces fluviales si el lecho del río ve modificado su curso y se producen arrastres que dejan al aire las cabezas de los pilotes que, en el pasado, estuvieron siempre sumergidos. Para que este fenómeno se produzca es preciso que se haya producido el arrastre de los elementos de protección, así como de los gruesos y áridos de zócalos y encepados. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 60,61,62,63,64)

3.6.3.4.2.3. DAÑOS PROVENIENTES DEL DETERIORO DEL CONJUNTO SUELO-CIMIENTO

Ya se ha dicho que la acción de las corrientes de agua sobre las cimentaciones constituye la causa más frecuente de los fallos que se producen en las obras de fábrica ubicadas sobre los ríos, al alcanzarse graves situaciones de inestabilidad como consecuencia de la formación de cavidades y la descompresión del terreno en el entorno de las bases de apoyo, fenómeno que es conocido como socavación. Este proceso puede desarrollarse sobre todo el cauce, localmente sobre el entorno de la obra de paso o directamente sobre la propia obra.

La acción de las aguas sobre el conjunto de su cauce puede estar motivada por causas naturales o deberse a la intervención humana. Los efectos producidos sobre el cauce del río se incluyen en los tres grupos siguientes: modificación del trazado en planta, evolución del perfil longitudinal y socavación general en período de crecidas. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 66)

3.6.3.4.2.3.1. SOCAVACIÓN GENERAL

La socavación general en momentos de crecida se ve provocada por el incremento del poder erosivo del agua, como consecuencia de un notable aumento en la velocidad de la corriente. Ello produce la desestabilización y movilización de espesores notables del fondo del lecho.

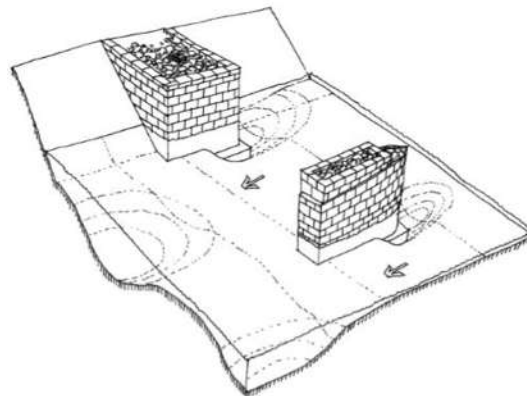


Ilustración 81. Socavación general y local del cauce. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 67)

3.6.3.4.2.3.2. SOCAVACIÓN LOCAL

La socavación local junto a los apoyos –tanto pilas como estribos– es una erosión de los fondos como consecuencia esencialmente de la formación de torbellinos de eje horizontal que se desarrollan en forma de tirabuzón alrededor de las pilas. Los materiales del lecho son arrancados del borde de aguas arriba por la componente vertical del flujo, elevados e impulsados por la corriente. Se forma una hoya de forma cónica en el caso de suelos sin cohesión, cuyo punto más profundo se encuentra en el borde de aguas arriba de la pila. Debe recordarse que los suelos coherentes y las rocas pueden ser también erosionados por la socavación local. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 68)

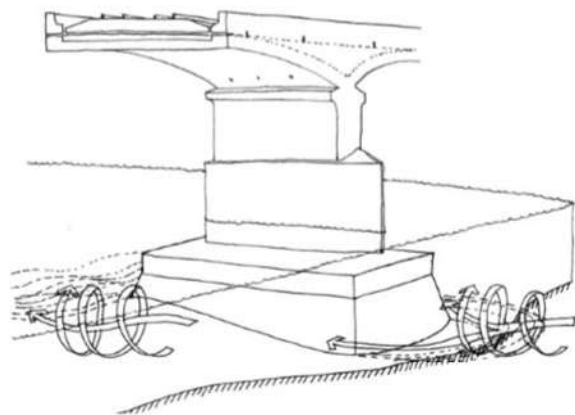


Ilustración 82. Acción local de la corriente sobre la cimentación de una pila. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 68)

El estrechamiento de la corriente al pasar entre las pilas y estribos puede ocasionar la erosión del lecho bajo las bóvedas y la formación de fosas aguas abajo. Estos fenómenos están provocados por el aumento local de la velocidad, por contracción del flujo. Cuando los vanos son grandes, se observan fosas independientes aguas abajo de cada pila. Si los apoyos están próximos, las fosas adyacentes se unen para formar grandes fosas en el eje de los arcos,

Añádase por último que es frecuente que unos deterioros traigan consigo otros diferentes, lo que es consecuencia lógica de la pérdida sucesiva de barreras de protección que defendían la estructura de los sucesivos deterioros que pudieran irse formando: tras la pérdida de las protecciones de escollera sobreviene el ataque directo contra zapatas, encepados y zócalos.

Sobre las condiciones en las que se desarrolla el trabajo estructural de las cimentaciones antiguas sobre pilotes de madera, conviene indicar que las puntas de los pilotes jamás están empotradas, sino que, en el mejor de los casos, reposan sobre un estrato duro. Además, los emparrillados de madera destinados a repartir las cargas, están simplemente dispuestos o clavados sobre las cabezas de los pilotes, careciendo de elemento de rigidización alguno. En consecuencia, la estabilidad horizontal del grupo de pilotes debe quedar forzosamente confiada al terreno que rodea los pilotes. Si desaparece parte de este suelo, la cimentación y lo que gravita sobre ella queda en situación insegura. Conviene recordar que, en todo caso, la longitud de los pilotes de madera no excede de 10 m aproximadamente.

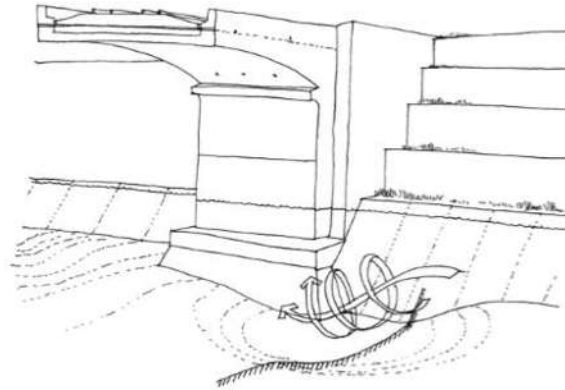


Ilustración 83. Acción local de la corriente sobre la cimentación del estribo. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 69)

En los terraplenes adyacentes al puente es frecuente encontrar socavaciones y desplomes en la base, debidos al mismo proceso erosivo del cauce, al igual que se pueden detectar los mismos problemas de socavación y descalce en muros y pantallas de obras contiguas, normalmente construidas para la defensa y estabilización de los cauces. En esas obras de defensa se pueden detectar arrastres de bloques por la corriente, desplazamiento de gaviones, fallos y hundimientos de defensas de escollera dispuestas alrededor de pilas y estribos que protegen muros y pilotajes, etc.

Aun cuando la acción natural de las aguas es efectivamente responsable de la mayor parte de los desórdenes ocasionados en las cimentaciones, otros deterioros son imputables, fundamentalmente, a una desafortunada intervención humana sobre la geometría de la propia obra o del entorno, bien porque puede provocar modificaciones en el régimen hidráulico local y en las condiciones de equilibrio del puente, o bien porque se descuida el mantenimiento, se realizan modificaciones mal estudiadas de la superestructura, o se efectúan reparaciones o refuerzos mal concebidos y ejecutados. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 68,69)

3.6.3.4.3. DAÑOS EN LA ESTRUCTURA

A continuación, se clasifican los daños en la estructura en función tanto de su eventual mal funcionamiento estructural, como de problemas de durabilidad que, con frecuencia, acaban mermando la capacidad resistente de los elementos portantes y convirtiendo el problema –aunque sólo sea de manera “terminal”– en uno de agotamiento. A ese esquema, pues, obedece la presentación que se hace a continuación de los daños en la estructura:

Daños provenientes de un mal comportamiento resistente y Daños provenientes de una defectuosa durabilidad.

3.6.3.4.3.1. DAÑOS PROVENIENTES DE UN MAL COMPORTAMIENTO RESISTENTE
Cablen diferentes enfoques a la hora de presentar los daños en los puentes de fábrica como consecuencia de problemas resistentes. En efecto, puede plantearse el problema desde el punto de vista de la identificación de los daños estructurales más frecuentes, lo que está en sintonía con la idea de identificar de manera global un problema y sus manifestaciones, o, por el contrario, recorrer los diferentes elementos constitutivos de un puente de fábrica y analizar, para cada uno de ellos, los casos más comunes.

DAÑOS DEBIDOS A UN PROBLEMA RESISTENTE		DAÑOS DEBIDOS A UNA DEFICIENTE DURABILIDAD	
BÓVEDAS	FB FISURAS EN EL PLANO VERTICAL DE BOQUILLA	MODIFICACIONES SUPERFICIALES	PT PATINAS
	FL FISURACIÓN LONGITUDINAL INTRADÓS		CT COSTRAS
	FO FISURACIÓN OBLICUA INTRADÓS		DD DETERIORO DIFERENCIAL
	FT FISURACIÓN TRANSVERSAL INTRADÓS		DS DEPÓSITO SUPERFICIAL
	PS PÉRDIDA DE SILLARES		EF EFLORESCENCIAS
PILAS	FV FISURACIÓN VERTICAL		CVP CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN (MUSGO, ETC.)
	FH FISURACIÓN HORIZONTAL U OBLICUA		FC FORMACIÓN DE CAVERNAS
TÍMPANOS	AB ABOMBAMIENTO		PP PÉRDIDA DE PIEZAS
	V VUELCO		LJ LAVADO DE JUNTAS
	D DESLIZAMIENTO		EX EXCORIACIÓN
	FE FISURACIÓN VERTICAL O EN ESCALERA	DAD DESCEMENTACIÓN, ARENIZACIÓN Y DESGREGACIÓN	
ESTRIBOS Y MURO EN VUELTA	FVE FISURACIÓN VERTICAL	PU PULVERIZACIÓN	
	FHE FISURACIÓN HORIZONTAL O EN ESCALERA	FG FISURAS O GRIETAS	
		RUPTURA O DISYUNCIONES	DED DESPLACADO, EXFOLIACIÓN Y DESCAMACIÓN

Tabla 3. Sinopsis de los daños más probables en la estructura. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 70)

A título de ejemplo, un asentamiento diferencial en una pila, giro de eje longitudinal incluido, suele provocar desórdenes tanto en pilas como en bóvedas, tajamares, tímpanos, etc. De esta forma, desde el daño evidenciado en una bóveda debe inferirse la posibilidad de que también otros elementos tengan también problemas (pilas, tímpanos, etc.).

3.6.3.4.3.1.1. PROBLEMAS EN LA SUPERESTRUCTURA DERIVADOS DE FALLOS EN LA CIMENTACIÓN

Se ha señalado ya que la mayor parte de los daños estructurales provienen de fallos en la cimentación, de manera que es ésta la primera causa de "mortalidad" de estas estructuras. Se deducen numerosos casos de daños, como se reseñan a continuación.

3.6.3.4.3.1.2. DESCENSO DIFERENCIAL LONGITUDINAL ENTRE ARRANQUES DE BÓVEDAS (SOBRE PILA O ESTRIBO)

El efecto de un descenso de cualquiera de los apoyos con respecto al otro, en la hipótesis de que no hay giro, comporta, fundamentalmente, un fallo por deslizamiento relativo de dovelas (ilustración 84). Este tipo de fallo o de manifestación de daño puede venir acompañado de un giro de rótula en el arranque de la pila o estribo descendido. Este daño estará tanto más cerca del colapso de la estructura en la medida en que se forme el número suficiente de rótulas (incluidos los "mecanismos de cortante") como para convertir en hipostática la estructura.

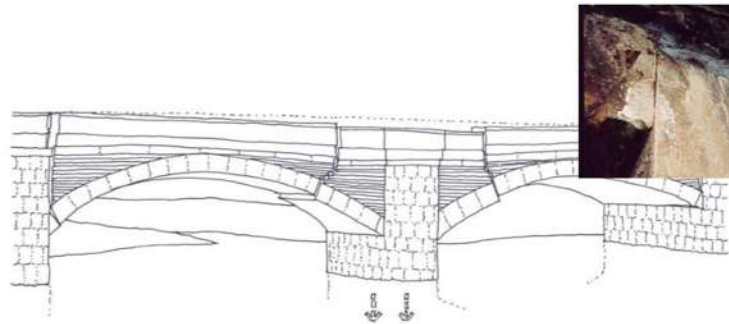


Ilustración 84. Ejemplo de fallo por movimiento relativo entre dovelas. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 71)

3.6.3.4.3.1.3. GIRO LONGITUDINAL DE PILA O ESTRIBO

En el caso de una estructura formada por varias bóvedas, el giro de una pila tiene un efecto devastador en cuanto la diferencia de empujes entre las bóvedas concurrentes supere el momento de vuelco de la pila, como demuestra la experiencia. Es el caso, por ejemplo, del colapso del puente de Veguellina de Órbigo (León). Debe recordarse que un pequeño giro de la pila se traduce, tras una sencilla deducción geométrica al estudiar la cinemática del proceso, en un importante descenso de la clave del lado en que la bóveda se abre.

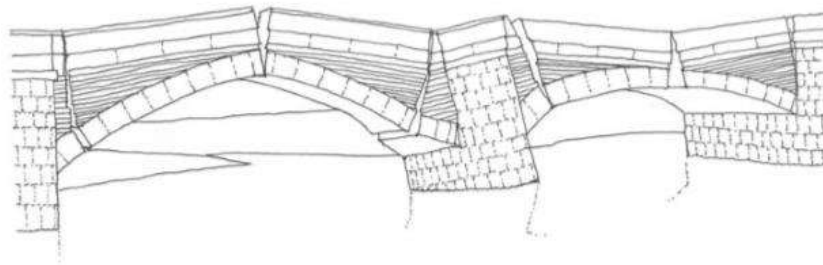


Ilustración 85. Esquema de los daños producidos (mecanismo de colapso) como consecuencia de un giro en base de pila. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 72)

Este tipo de fallo tiene también otro tipo de manifestación, no estructural: la bóveda que se abre, de la que no siempre es posible deducir que haya tenido apertura de juntas entre piezas, suele mostrar manchas, pátinas, costras y eflorescencias cuyo origen proviene de materiales del relleno, o infiltrados a través de éste, que percolan

a través de la bóveda. En la bóveda que se cierra (tiende a disminuir la distancia entre sus arranques) el intradós está más comprimido, especialmente en las zonas de clave y de hombros, lo que confina más eficazmente los morteros y materiales de las juntas, impidiendo o retrasando la percolación.¹⁷

3.6.3.4.3.1.4. GIRO TRANSVERSAL DE EJE LONGITUDINAL EN PILA O ESTRIBO

El giro de la pila provoca, a su vez, una torsión en las bóvedas que se manifiesta, como toda torsión, a través de una fisuración oblicua que, como la de la pila, puede ser escalonada, sin interesar a las piezas (sillares o ladrillos) o partir también a éstos. A este respecto, conviene aclarar que la parte inferior de la siguiente ilustración muestra la vista inferior (intradós) de la bóveda. En combinación con este tipo de fisuras se puede provocar una apertura de juntas en las bóvedas, como las ya comentadas para el caso de descenso y giro de eje horizontal transversal en pila, e incluso un desplazamiento relativo de dovelas, especialmente en la boquilla que se encuentra del mismo lado que la parte de pila que ha descendido. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 72,74)

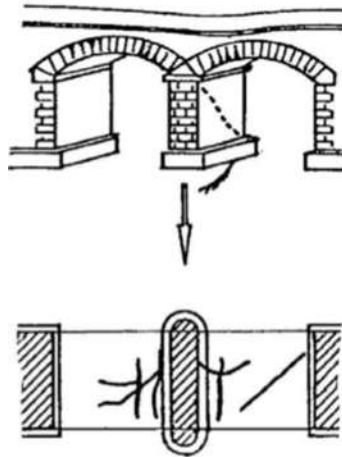


Ilustración 86. Descenso diferencial o giro transversal de eje longitudinal en base de pila o estribo. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 74)

La ilustración muestra el caso de un giro de pila de eje longitudinal en la base –cimentación–, que induce una serie de efectos que se manifiestan en la propia pila, con fisuración sensiblemente inclinada, normalmente en escalera, aunque puede atravesar también sillares, apuntando al punto duro de la cimentación.

¹⁷ Percolación. Movimiento de desplazamiento del agua de lluvia desde la superficie del suelo hasta la capa freática. (Farlex, Inc, 2016)

3.6.3.4.3.1.5. DESCENSO RELATIVO ENTRE PARAMENTOS LONGITUDINALES DEL PUEBTE

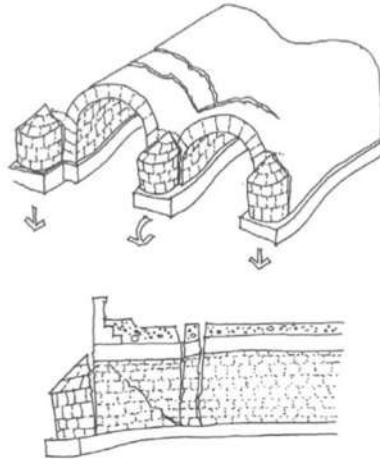


Ilustración 87. Descenso relativo entre paramentos longitudinales del puente. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 75)

En la figura se representa un croquis que muestra el caso de un descenso, generalmente acompañado de desplome, entre unos paramentos longitudinales del puente. Se trata de otro defecto estructural inducido por fallo de la cimentación, que se refleja en daños en las pilas y estribos, en los que aparecen distorsiones de cizalladura, así como daños en la bóveda, generalmente del lado del trasdós, como consecuencia de la flexión transversal inducida, acompañada por cizalladura y distorsiones, lo que provoca, normalmente, la aparición de agua y arrastres, es decir, costras, en los puntos en los que aflora. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 75)

3.6.3.4.3.1.6. DESCENSOS RELATIVOS ENTRE EXTREMOS Y PARTE CENTRAL DE PILA
En ocasiones, especialmente cuando la bóveda es ancha –o ha experimentado ensanchamientos– y también lo es la pila, se da con alguna frecuencia el caso de que la parte central de la pila experimenta un descenso con relación a los extremos, lo que se traduce en la aparición de una flexión transversal en la pila (fisura vertical, entre llagas o incluso a través de las piezas) que, normalmente, se ve acompañada de fisuración en la bóveda.

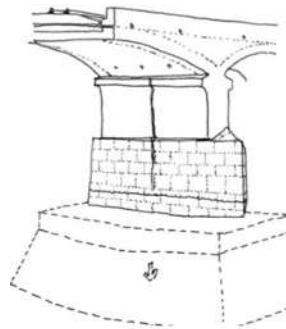


Ilustración 88. Fisuración vertical en pila por descenso relativo entre extremos y parte central. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 76)

3.6.3.4.3.1.7. INCAPACIDAD DE LOS ESTRIBOS PARA RESISTIR LAS REACCIONES DE LA ESTRUCTURA

Otra causa relativamente frecuente de la conversión de la estructura en un mecanismo –en el caso de puentes arco de bóvedas rebajadas y pilas esbeltas y en cauce–, es la incapacidad de los estribos para resistir los esfuerzos horizontales transmitidos por la estructura, especialmente importantes en este caso de bóvedas rebajadas. Normalmente, este empuje descompensado no es resistido por la pila debido a su esbeltez, sino que se transmite a través de las bóvedas hasta los estribos. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 76,77)

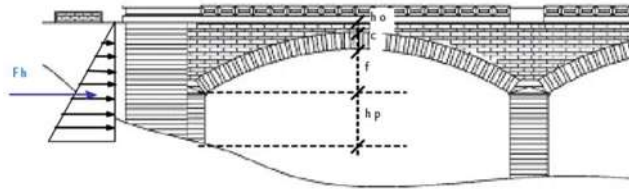


Ilustración 89. Empuje máximo desarrollado por las tierras trasdosadas al estribo, teniendo como punto de aplicación el arranque de la bóveda. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 77)

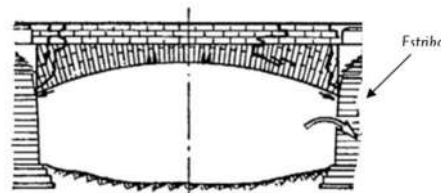


Ilustración 90. Daños inducidos en bóvedas y tímpanos como consecuencia del giro de un estribo. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 77)

En la ilustración 98 se representa el empuje máximo desarrollado por las tierras contenidas por el estribo teniendo en cuenta que el punto de aplicación de la resultante es el arranque de la bóveda. Si los estribos no son capaces de contener dicha reacción horizontal, tienden a volcar, formándose tres rótulas y manifestándose daños como los que se indican en la figura 99.

3.6.3.4.3.1.8. EMPUJE DE TIERRAS SOBRE EL ESTRIBO

No es un tipo de fallo frecuente, en el sentido de que se hayan detectado muchos casos de colapso por esta causa. No obstante, sí es cierto que la sobre-explotación (aumento de cargas y, sobre todo, de velocidades), el progresivo deterioro de los sistemas de drenaje de los terraplenes y rellenos, con el consiguiente aumento de la presión del agua retenida, entre otros factores, contribuye al aumento de los empujes que tierras y agua ejercen sobre el trasdós de los muros. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 78)

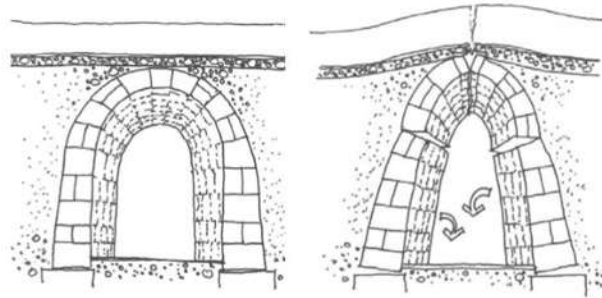


Ilustración 91. Daños inducidos en bóveda y estribos como consecuencia del giro de éstos ante un empuje del relleno del trasdós. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 78)

3.6.3.4.3.1.9. PROBLEMAS DERIVADOS DEL FUNCIONAMIENTO RESISTENTE DE LOS PUENTES ESVIADOS

En los puentes de fábrica el esviaje¹⁸ debe de estar directamente relacionado con el aparejo empleado en la bóveda. La tendencia a trabajar en la dirección corta, es decir según la luz recta de las bóvedas, provoca una torsión de eje vertical en la pila, al tener, la resultante de la reacción horizontal que la bóveda ejerce sobre la pila puntos de aplicación diferentes, como se aprecia en la sig. Ilustración. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, págs. 78,79)

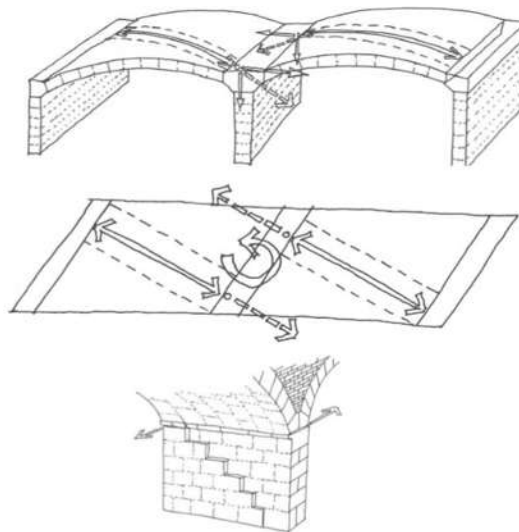


Ilustración 92. Esquema del funcionamiento de los puentes esviados de fábrica. Problemas derivados de la torsión en la pila. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 79)

¹⁸ Esviado. Estribo en el que el eje del puente salva oblicuamente el desnivel. (Real Academia de Ingeniería, 2016)

3.6.3.4.3.1.10. PROBLEMAS DERIVADOS DEL EMPUJE SOBRE TÍMPANOS

El papel estructural de los tímpanos es, fundamentalmente, contener el empuje que ejercen los rellenos dispuestos entre dichos tímpanos y el trasdós de las bóvedas. A lo anterior se une también, como en el caso de los estribos, el empuje del agua, presente por el más que previsible deterioro del sistema de drenaje.

Descritas las acciones que actúan sobre los tímpanos, se puede entender bien qué daños estructurales pueden sufrir: inclinarse hacia el exterior, lo que no resulta especialmente tranquilizador, o exhibir un abombamiento en su parte inferior si la cabecera estuviera conectada a la plataforma. En algún caso pudiera llegar a suceder que el tímpano, separado de la boquilla y sometido a la acción del empuje del relleno no cementado, perdiera el equilibrio y volcara. Finalmente, si bien el daño no puede ser imputable al tímpano sino a un peor enjarje¹⁹ entre boquilla y bóveda, se puede detectar la separación entre estos elementos, sin perjuicio de que puedan también manifestarse efectos combinados de los anteriores. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 80)

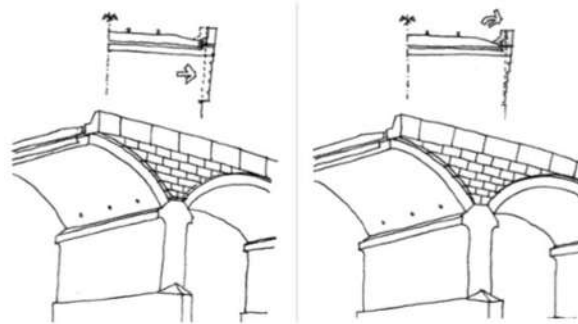


Ilustración 93. Deslizamiento y vuelco de tímpanos. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 80)

3.6.3.4.3.1.11. PROBLEMAS DERIVADOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Este tipo de daños debe entenderse como más bien hereditario, dado que se remonta a la época, seguramente remota, de la construcción de la estructura. La experiencia demuestra que los procesos constructivos de estos puentes afectan, además de a la durabilidad (juntas de hormigonado –en los puentes de hormigón en masa o débilmente armados– que son vía frecuente de paso de agua con productos de disolución o lixiviación), a la definición de los puntos en los que se pasaba de relleno rígido a granular, lo que equivale a definir la posición de las rótulas correspondientes a los mecanismos de colapso. El problema es que no siempre es posible definir la posición de tales interfaces, aunque la presencia de manchas y la altura de las pátinas suele ser reveladora de este aspecto. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 81)

¹⁹ Enjarje.- En arquitectura es el enlace de varios nervios de un arco o bóveda en el punto de arranque. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2016)



3.6.3.4.3.1.12. PROBLEMAS DERIVADOS DE ANTERIORES INTERVENCIONES

Las reparaciones efectuadas en el pasado no siempre han sido, por desgracia, afortunadas. Si bien se han realizado con poco o ningún criterio en ocasiones, debe decirse, en homenaje y tributo a quienes aportaron su mejor voluntad e intención a la tarea de reparar estos puentes, que los resultados de algunas reparaciones han sido poco eficaces e incluso contraproducentes para la estructura. Dejando aparte el caso de las afecciones a la durabilidad (fundamentalmente por la utilización de materiales que han revelado su incompatibilidad) y a la estética, se mencionan a continuación; algunas intervenciones inocuas (pero no gratuitas) o hasta dañinas: Losas del lado del intradós nula o insuficientemente conectadas, tanto a la bóveda como a las pilas. Cerchas metálicas dispuestas también inferiormente, lo que ha dado lugar a movimientos por diferente comportamiento térmico (diferente conductividad) y movimientos relativos que han dejado al descubierto tales elementos metálicos, o han hecho saltar las conexiones. Ampliaciones de encepados que, sin atender debidamente al régimen hidráulico, han provocado aumentos de la velocidad de la corriente consiguientes socavaciones. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 81)

3.6.3.4.3.2. DAÑOS PROVENIENTES DE UNA DEFICIENTE DURABILIDAD

Existe un gran número de daños en los puentes arco de fábrica que están provocados por una deficiente durabilidad de los materiales, es decir, por el deterioro y alteración progresiva de los materiales empleados en su confección.

Es importante señalar que las estructuras de fábrica, especialmente las de sillería bien aparejada, presentan una excelente durabilidad, mejor que otras estructuras confeccionadas con otros materiales como hormigón o acero. Esto se debe a que la fábrica es químicamente mucho más inerte. Pero, la larga vida de muchas de ellas, en ocasiones más de 500 años, hace que, en algunos casos, puedan presentar deterioros graves que afecten incluso a la seguridad de estas estructuras.

Por tanto, el estudio, descripción y clasificación de estos daños está justificado por los siguientes argumentos:

Parece existir hoy en día un acuerdo generalizado entre los técnicos en contemplar la durabilidad durante todas las etapas de la vida de las estructuras (proyecto, construcción y mantenimiento). No parece lógico, por tanto, no hacer lo propio con estas estructuras que llevan en servicio más de un siglo en muchas ocasiones.

Por otra parte, los deterioros debidos a la meteorización o alteración de los materiales que, en un principio, no influyen en el comportamiento resistente, pueden llegar a convertirse en causas de otros daños más graves o derivar hacia daños que pongan en duda la capacidad portante de la estructura.

En este apartado se trata de mitigar, en la medida de lo posible, explicando los mecanismos y procesos de alteración y deterioro que ocurren en las fábricas más



comúnmente empleadas en la construcción de los puentes arco de fábrica, sus causas, sus manifestaciones y sus medidas correctoras. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 82)

El planteamiento realizado para el análisis de los daños detectados en estas estructuras debidos a una deficiente durabilidad es similar al empleado para el análisis de los daños provenientes de un deficiente comportamiento resistente.

En primer lugar, se han estudiado y clasificado las acciones actuantes, que en este caso son:

- Acciones medioambientales, que comprenden tanto las acciones climáticas como las debidas a la contaminación existente.
- Acciones biológicas (musgos, líquenes, vegetación, etc.)
- Acción antrópica. En este caso, se engloban tanto las acciones debidas al vandalismo como las provenientes de intervenciones anteriores poco afortunadas y, por último, las acciones debidas a accidentes.

En segundo lugar, se caracterizan los materiales, prestando especial atención en este caso a la composición química y mineral de los materiales más que a las propiedades mecánicas de la fábrica.

En tercer lugar, se analizan y estudian las manifestaciones o daños provenientes de las alteraciones o deterioros detectados que, haciendo una analogía con el punto anterior (daños provenientes de un deficiente comportamiento resistente), corresponden a las manifestaciones o daños resultados de la respuesta estructural (fisuración, agotamiento de la fábrica, movimientos, etc.). (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 82)

En cuarto y último lugar, se analizan los mecanismos de deterioro y los daños o manifestaciones que se describen a continuación.

3.6.3.4.3.2.1. ACCIONES

Los puentes arco de fábrica, al igual que la mayoría de las estructuras de fábrica, han demostrado su valía a lo largo de los numerosos años que llevan en servicio. Además de exhibir una incomparable capacidad de integración en el paisaje, han demostrado una capacidad de readaptación (cambios en las condiciones de contorno y cambios en las condiciones de explotación) muy importante. Estas estructuras han exhibido una muy buena durabilidad, ya que, sin apenas mantenimiento, han permanecido aguantado en buenas condiciones durante muchos años, y eso que, precisamente, su larga vida útil las ha hecho estar sujetas, por una parte a acciones calificadas de accidentales, por su escasa probabilidad de ocurrencia (período de retorno muy alto) y, a acciones cuyo efecto sobre el puente es pequeño y continuo, pero que, al darse de forma continuada a lo largo de muchos años, pueden llegar a afectar su integridad.

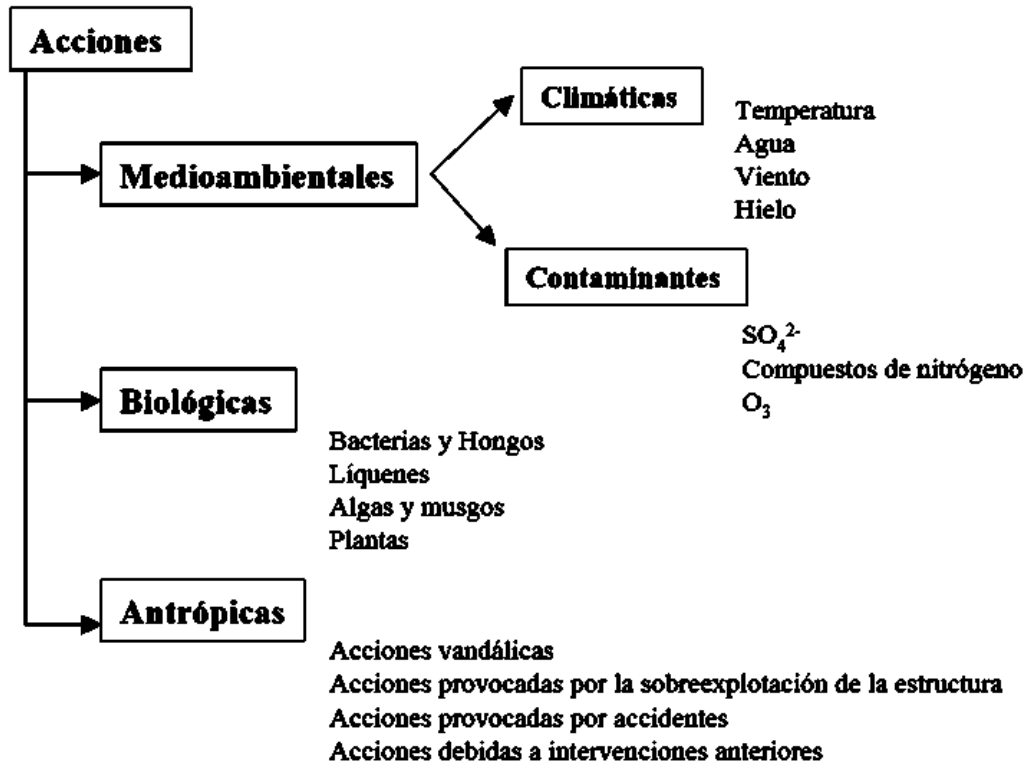


Ilustración 94. Clasificación de las acciones que causan impacto en los puentes de fábrica.
(Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 83)

3.6.3.4.3.2.2. MATERIALES

La fábrica es un material compuesto y su comportamiento está gobernado por las propiedades de sus componentes y la relación entre estas propiedades. Otro hecho significativo en la fábrica es que es un material fuertemente anisótropo, por la anisotropía intrínseca de las piezas (planos de debilidad) pero mucho más por la existencia de juntas verticales (llagas) y de juntas horizontales (tendeles), que condicionan no sólo el comportamiento mecánico sino también el durable de la fábrica. Además, sus propiedades son muy sensibles a las condiciones de ejecución.

Sus partes constituyentes son: las piezas (ladrillo, bloques, sillares), el ligante, generalmente mortero, aunque a veces no existe, y la superficie de adherencia de estos. También se ha considerado el hormigón en masa como fábrica.

Las piezas pueden clasificarse de forma general en: sillares de piedra o ladrillos. Esta diferencia de formas y tamaños influyen decisivamente en el comportamiento mecánico de unos y otros pero también influye en la durabilidad de la fábrica. La presencia de un número mayor de juntas en el caso de fábrica de ladrillo facilita la penetración de agentes nocivos como por ejemplo el agua. También, y siempre hablando en términos generales, los sillares, salvo en casos excepcionales

(areniscas o calizas muy porosas) presentan unas mejores condiciones de durabilidad que los ladrillos. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 84)

3.6.3.4.3.2.2.1. SILLARES

Los sillares pueden clasificarse atendiendo al criterio habitual que hace referencia a su origen en rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas. Dentro de las rocas sedimentarias se encuentran las areniscas y las calizas. Dentro de las ígneas, las básicas como el basalto y las ácidas como el granito y, por último, dentro de las metamórficas, la cuarcita, el gneis o los mármoles.

Aunque todas estas rocas se emplean en la construcción, en los puentes arco de fábrica existen fundamentalmente tres grandes tipos de sillerías por sus propiedades mecánicas, su disponibilidad y su facilidad de trabajo, que son: granitos, areniscas y calizas.

3.6.3.4.3.2.2.2. GRANITOS

Se denomina granito a una familia de rocas ígneas de colores claros y textura granular. Están formados por minerales claros (cuarzo, feldespato y micas blancas) y en menor medida por minerales oscuros (mica negra y anfíbol). Son rocas con textura granular, es decir, donde los granos se encuentran unidos unos a otros sin dejar espacios vacíos entre ellos. Por ello, estas rocas apenas son porosas, salvo que estén microfisuradas o alteradas. Las altas prestaciones mecánicas (resistencia a compresión y módulo de deformación longitudinal) junto con la relativa facilidad con la que se pueden obtener sillares de morfología simple y, con la buena resistencia a la alteración debida a su baja porosidad y a la naturaleza de su mineralogía, la convierte en una roca ideal para la construcción.



Ilustración 95. Sillares de Granito en seco. (LAJO, 1990)

Normalmente, el proceso de alteración comienza con una agresión física mediante la cristalización de sales o ciclos hielo-deshielo, alterando la porosidad y creando vías para la alteración química. Esta última es más rápida e intensa en atmósferas ácidas contaminadas que pueden hidrolizar los feldespatos.

3.6.3.4.3.2.2.3. ARENISCAS

Tanto las areniscas como las calizas están compuestas texturalmente por granos minerales, entre los que aparece una matriz de grano muy fino y un cemento del mismo u otro material. En el caso de las areniscas, éstas están compuestas por fragmentos milimétricos de cuarzo, acompañados o no, según variedades, por feldespatos, calcita, trozos de fósiles y otros minerales en menor proporción. El cemento puede ser silíceo, carbonatado, o incluso ferruginoso.

Los tonos suelen ser pardos, amarillentos o rojizos. Las propiedades de la arenisca dependen en gran medida del tipo de cemento, ya que, generalmente, los granos son inertes y, de la porosidad que presenten. En general, estas rocas tienen una porosidad variable pero elevada. Además, dependiendo del rango del poro, serán, más o menos sensibles al ataque físico por sales y heladas. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 84,85)



Ilustración 96. Sillares de Arenisca. (WordPress, 2015)

3.6.3.4.3.2.2.4. CALIZAS

Las calizas constituyen el segundo gran grupo de rocas sedimentarias, siendo las más empleadas en la construcción de puentes arco de fábrica dada la facilidad con la que se puede trabajar gracias a la escasa dureza de su mineral y a las buenas prestaciones resistentes. Su origen se encuentra en la acumulación de conchas animales ricas en cemento calcáreo y en la cristalización de compuestos solubles.



Ilustración 97. Sillares de Caliza. (Alibaba.com, 2016)

Las prestaciones mecánicas (resistentes y durables) varían ampliamente de unas variedades a otras, debido, fundamentalmente, a la variación de su porosidad. Las calizas granulares se trabajan mejor, pero son menos resistentes que las compactas.

Las fábricas calizas suelen degradarse mediante fenómenos de alteración química en medio ácido, ya que el carbonato cálcico que las forma se disuelve por ataque del SO₂ (dióxido de azufre), catalizado a ácido sulfúrico, generando yeso (SO₄Ca+H₂O) y desprendiendo CO₂ (dióxido de carbono). Además, y como se verá posteriormente, el yeso desprendido que es compatible con varios estados de hidratación, puede producir una agresión mecánica a la piedra. El CO₂ también ataca y disuelve las rocas calizas al transformarse el carbonato de calcio insoluble en bicarbonato que sí es soluble.

3.6.3.4.3.2.2.5. LADRILLO

El ladrillo es el material de construcción de más extensa utilización, ya que su empleo no depende del lugar de afloramiento o localización de canteras sino de su fabricación. Su fabricación ha sufrido notables cambios desde los primeros pasos de la civilización hasta nuestros días pero sus principios básicos siguen siendo iguales, la correcta combinación de tierra, fuego y aire. Básicamente, el ladrillo es arcilla cocida, por lo que las propiedades finales tanto resistentes como durables dependen del secado y cocido del mismo. Debido a la morfología de su sistema poroso son especialmente sensibles al ataque por ciclos hielo-deshielo y al ataque por cristalización de sales solubles (por ejemplo, ataque por sulfatos provenientes, en ciertos casos, del mortero).



Ilustración 98. Sillería de Ladrillo a hueso. (Sogestone, 2011)

El deterioro característico de este material consiste en la deplacación de la superficie y la posterior descamación y arenización del interior. Es muy característico el cavernamiento o alveolización de las piezas peor cocidas, por efecto de la resistencia que adquiere la parte externa del ladrillo durante la cocción, lo que, una vez perdida superficie al exterior en la obra, permite la erosión diferencial de la parte interna del ladrillo. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 86)



3.6.3.4.3.2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS FENÓMENOS DE DETERIORO Y DEGRADACIÓN

Las diferentes acciones anteriormente enunciadas desencadenan fenómenos en la fábrica en los que se produce la degradación y meteorización del material.

El conjunto de estos procesos de degradación y deterioro se pueden agrupar, en función de que se produzcan, transformaciones químicas en el material o no. Los primeros se originan tanto en superficie como en profundidad, mientras que los segundos se suelen producir en la superficie.

3.6.3.4.3.2.3.1. PROCESOS DE DETERIORO QUE NO ALTERAN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL

- Meteorización mecánica por la acción del viento
- Meteorización mecánica por la acción del hielo
- Meteorización mecánica por cambios de temperatura
- Meteorización mecánica por hinchamiento
- Meteorización por cristalización de sales

3.6.3.4.3.2.3.2. PROCESOS DE DETERIORO QUE ALTERAN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ROCAS

- Meteorización por disolución
- Meteorización por oxidación-reducción
- Meteorización por carbonatación
- Meteorización por levigación de las arcillas
- Meteorización por hidratación

3.6.3.4.3.2.4. MANIFESTACIONES Y DAÑOS DETECTADOS

Finalmente, una vez descritas las acciones, los materiales y los procesos de degradación que tienen lugar en la fábrica, se indican a continuación los daños más comunes.

Se han clasificado en tres grandes grupos en función de la profundidad y gravedad del deterioro.

- Modificaciones superficiales
- Eliminación o pérdida de material
- Rupturas o disyunciones

3.6.3.4.3.2.4.1. MODIFICACIONES SUPERFICIALES

Se trata de una serie de manifestaciones superficiales de alteración que afectan, esencialmente, al aspecto exterior de la fábrica, sin provocar generalmente modificaciones de importancia en el material. Su origen puede ser químico o mecánico, y se clasifican a su vez en:

- Deterioro diferencial
- Pátinas
- Costras
- Eflorescencias y criptoeflorescencias
- Alveolización o vesiculación
- Depósito superficial

3.6.3.4.3.2.4.1.1. DETERIORO DIFERENCIAL

El deterioro diferencial es aquel que provoca distintos niveles de degradación dentro de la fábrica como consecuencia de la heterogeneidad composicional del material y de la incidencia diferencial de los agentes.

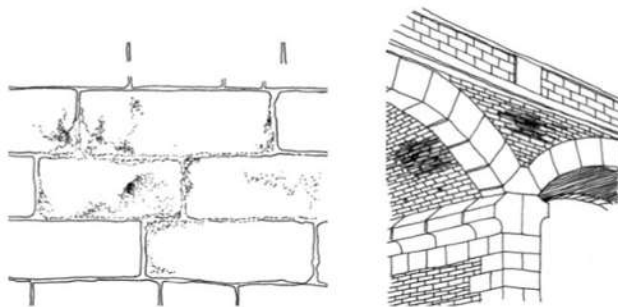


Ilustración 99. Ejemplo de daños por deterioro superficial. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 91)

3.6.3.4.3.2.4.1.2. PÁTINAS

Reciben el nombre de pátinas cuando se trata de capas o películas delgadas y superficiales que se desarrollan sobre la fábrica. Están provocadas por el envejecimiento natural y la contaminación atmosférica.

La pátina más común es la pátina negra o de enmugrecimiento, que es una combinación de microorganismos, de sustancias precipitadas y de partículas procedentes de los distintos contaminantes gaseosos o sólidos existentes en la atmósfera del entorno. Todo ello se desarrolla en aquellas zonas del puente donde, por diversas causas, se produce acumulación de humedad. Este es el caso de las zonas de la bóveda donde se acumula agua debido a un deficiente drenaje, o bajo los conductos de desagüe en bóvedas y tímpanos. Existen también otras pátinas de otras coloraciones, como por ejemplo, pátinas de color naranja (oxalatos) que pueden ser debidas al envejecimiento de antiguos tratamientos protectivos (revocos, morteros, etc.) o al envejecimiento de la propia fábrica. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, págs. 91,92)

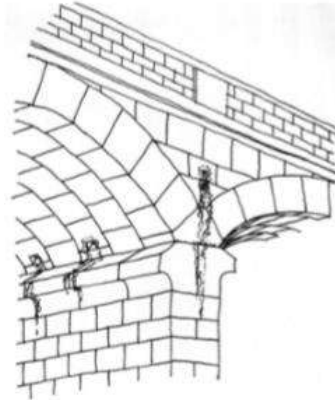


Ilustración 100. Ejemplo de pátinas. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 92)

3.6.3.4.3.2.4.1.3. COSTRAS

Son pátinas donde el espesor es mayor y el efecto destructivo es más agresivo o está más desarrollado. También se consideran dentro de este grupo las costras de carbonatación formadas en la bóveda principalmente, debidas, fundamentalmente, a la disolución de carbonato cálcico, bien proveniente del mortero, del sillar (caliza o arenisca -cemento-) o de intervenciones posteriores.

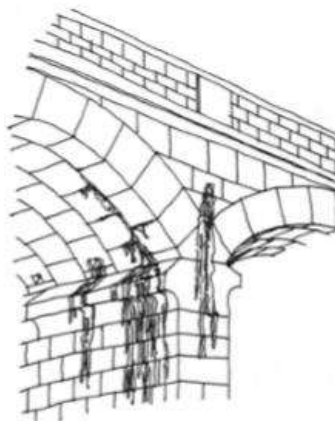


Ilustración 101. Ejemplos de costras. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 92)

3.6.3.4.3.2.4.1.4. EFLORESCENCIAS Y CRIPTOEFLORESCENCIAS

Estas manifestaciones provienen de la cristalización de sales. El fenómeno se desencadena al cristalizar las sales solubles presentes en disolución en el sistema poroso de la fábrica. Si la evaporación se produce en superficie se generan eflorescencias, si la superficie de desecación se encuentra en el interior se forman criptoflorescencias.

Las sales solubles pueden provenir, como ya se ha comentado, de un ataque de la fábrica por contaminantes, pueden estar originalmente en la fábrica, pueden provenir de materiales empleados en intervenciones anteriores o del agua que bien

asciende por capilaridad o bien proviene de la superficie debido a un deficiente drenaje.

La presencia de las eflorescencias y criptoeflorescencias señalan que, por una parte, se está produciendo un proceso de degradación química, generalmente poco peligroso, y que, por otra parte, pueden estar generándose tensiones mecánicas internas de importancia debido a la cristalización de la sal, en función del sistema poroso de la fábrica. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 93)

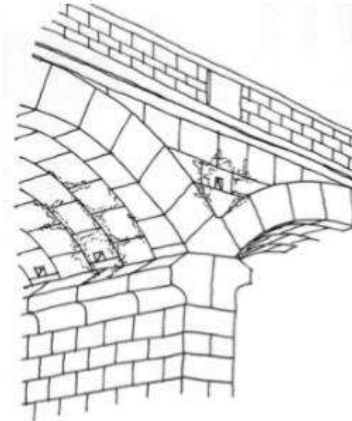


Ilustración 102. Ejemplos de Eflorescencias y Criptoeflorescencias. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 93)

3.6.3.4.3.2.4.1.5. ALVEOLIZACIÓN O VESICULACIÓN

Como ya se ha adelantado anteriormente en el texto, un mecanismo de deterioro habitual asociado a la cristalización de sales y a la acción del viento es la formación de alvéolos o alveolización. En aquellos puentes donde existan zonas expuestas, el frente de desecación es probable que se encuentre bajo la superficie por la acción del viento además, si el drenaje del puente no se encuentra en buenas condiciones, hecho bastante habitual, el agua puede progresar desde el intradós hasta el trasdós a través del relleno, por vías que suelen ser las juntas de la fábrica y que se encuentran más afectadas. En el encuentro de las vías de agua interna y la superficie de desecación se produce el inicio del deterioro del material y de un posible alvéolo. Una vez comenzado el proceso, los remolinos de viento dentro de la oquedad aceleran el proceso. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 94)

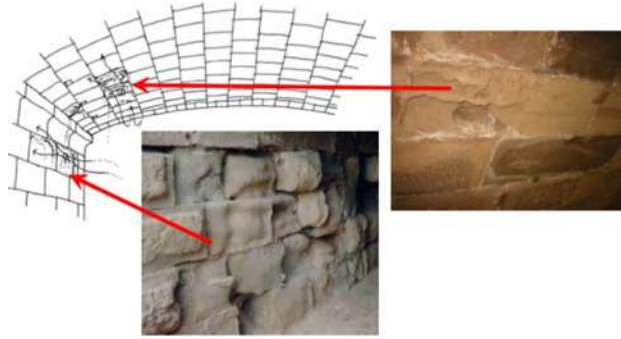


Ilustración 103. Ejemplos de alveolización o vesiculación. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 94)

3.6.3.4.3.2.4.1.6. DEPÓSITO SUPERFICIAL

Este daño se produce en aquellos casos donde exista un nivel de depósitos superficiales debidos a desagües, animales, intervenciones, etc.

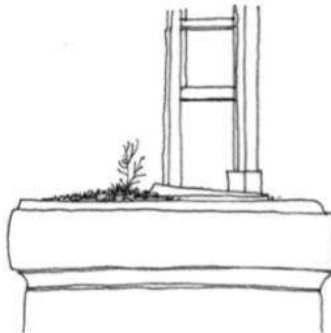


Ilustración 104. Ejemplo de depósitos superficiales. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 94)

3.6.3.4.3.2.4.2. ELIMINACIÓN O PÉRDIDA DE MATERIAL

Este grupo incluye todos aquellos daños que implican eliminación o pérdida de materia en la fábrica como consecuencia de diversos procesos químicos y mecánicos.

Estos daños son más graves y son la manifestación de un proceso de deterioro importante. La naturaleza del proceso puede ser química, como ocurre en los fenómenos de disolución que pueden desembocar en la descementación mecánica, o como ocurre en los fenómenos de cristalización de sales que pueden terminar con la pérdida de material y la desagregación, o mixta, como ocurre en el caso de la alveolización, aunque, normalmente, es la meteorización mecánica la más nociva. (Martínez, MArtín-Caro, & León, 2003, pág. 95)

Pueden clasificarse en:

- Pérdida de material de juntas y de piezas
- Arenización o desagregación granular
- Excoriación

3.6.3.4.3.2.4.2.1. PÉRDIDA DE MATERIAL DE JUNTAS Y DE PIEZAS

La pérdida de material se produce, por una parte, en el mortero, debido al lavado de las juntas y, por otra parte, en las piezas, cuando, debido a la acción combinada de procesos mecánicos y químicos, se terminan por destruir totalmente las piezas, en fases muy avanzadas de deterioro.

En ciertas ocasiones, si a las causas anteriormente mencionadas (procesos químicos y mecánicos) y, si el daño se localiza en las cercanías de la clave de la bóveda, se añade una nueva causa, el efecto del impacto debido a la naturaleza móvil de las sobrecargas que actúan sobre los puentes arco de fábrica, el daño puede derivar en la pérdida y caída de sillares y piezas.

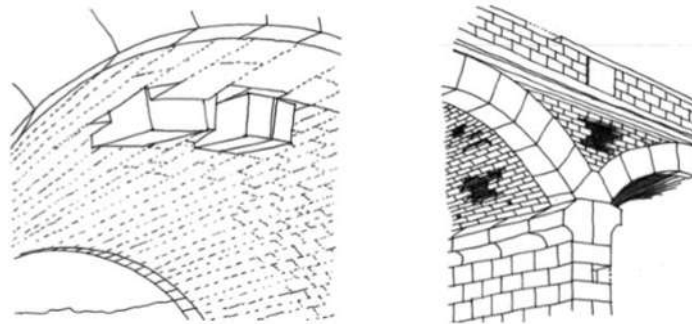


Ilustración 105. Daños producidos por pérdida de material de juntas y aun de piezas. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 95)

3.6.3.4.3.2.4.2.2. ARENIZACIÓN O DESAGREGACIÓN GRANULAR

Este daño es debido a la acción combinada de varios mecanismos: ciclos hielo-deshielo, dilatación térmica diferencial entre clastos-cemento, hinchamiento por diferentes estados de hidratación, disolución de cementos, etc.

Un caso particular y común a puentes confeccionados con fábrica de arenisca o conglomerado, es la descementación, generalmente por la disolución del cemento y, por tanto, la descohesión de los sillares de la fábrica. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 95,96)

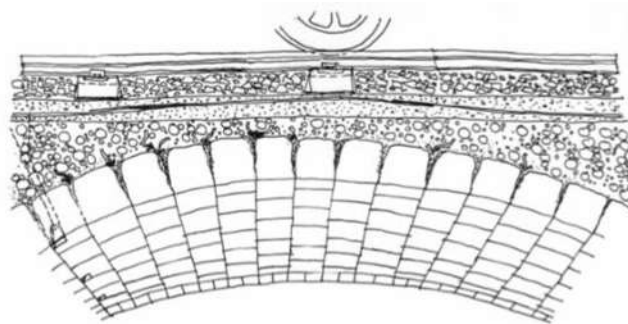


Ilustración 106. Ejemplos de procesos de arenización o desagregación granular. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 96)

3.6.3.4.3.2.4.2.3. EXCORIACIÓN

Con este término se conocen los rasguños y desolladuras producidas por el hombre sobre los puentes arco de fábrica, normalmente, debidos a accidentes ocurridos en el puente que conllevan golpes sobre algún elemento estructural del puente.

3.6.3.4.3.2.4.3. RUPTURAS O DISYUNCIONES

En este grupo de daños se encuentran las roturas y fisuras producidas en la fábrica que no tengan origen resistente. Son las formas de alteración que implican separación en partes paralelas a la superficie de los sillares en el caso de las disyunciones, y oblicuamente o perpendicularmente a la superficie en el caso de las rupturas. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 96,97)

La formación de grietas, los rasguños, la rotura de sillares, etc. debido al impacto de vehículos u otros accidentes provenientes de la acción antrópica quedan fuera del ámbito de este daño, y han sido recogidos bajo la denominación de excoriación. Pueden clasificarse en:

- Rupturas
- Disyunciones

3.6.3.4.3.2.4.3.1. RUPTURAS

Se dividen en fisuras o grietas, en función de su abertura y tamaño. Su origen se debe, normalmente a acciones biológicas (acción de las raíces de las plantas, como se muestra en la ilustración sig.).

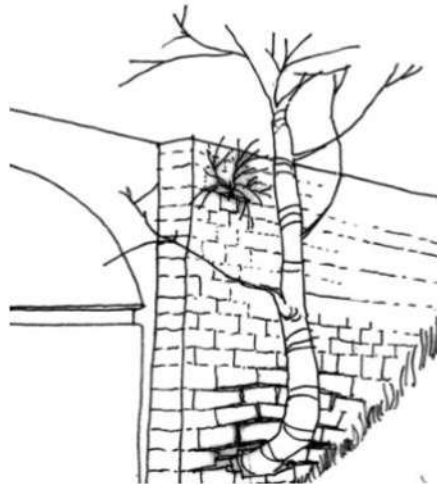


Ilustración 107. Presencia de rupturas por la acción de raíces en los puentes y desórdenes ocasionados. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 97)

3.6.3.4.3.2.4.3.2. DISYUNCIONES

Son soluciones de continuidad del sillar paralelamente a la piedra, que implican la separación abierta entre partes del sillar originalmente juntas, y se producen en diferentes formas y tamaños. Se clasifican en descamación y desplacado. La descamación implica el levantamiento y separación de escamas de la misma naturaleza que la roca paralelamente a la superficie del sillar por causa de diferentes mecanismos (cambios térmicos, ciclos hielo-deshielo). La desplacación implica el levantamiento y separación de láminas extensas, de hasta varios milímetros de espesor, generalmente rígidas y del mismo material del sillar. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, págs. 97,98)

En general las disyunciones se producen por dilataciones diferenciales de la superficie del sillar, por insolación que ocasiona termoclastia²⁰, por la acción cíclica humedad-sequedad, por los ciclos hielo-deshielo y, por la presión de cristalización e hidratación, y confinamiento de sales inmediatamente por debajo de la superficie de los sillares.

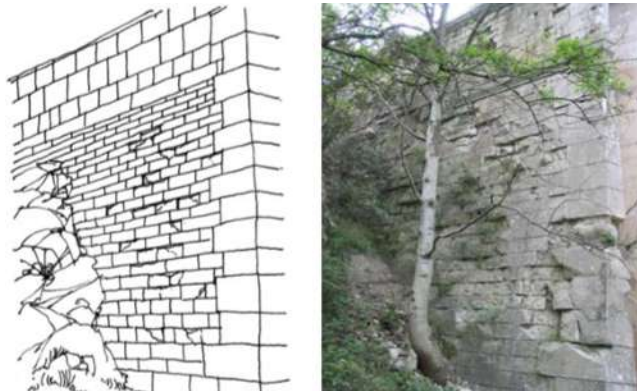


Ilustración 108. Ejemplos de disyunciones. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 98)

3.6.3.4.3.2.5. DAÑOS DEBIDOS A LA ACCIÓN ANTRÓPICA

Se agrupan en este último tipo aquellos daños que están provocados directamente por la acción del hombre. Pueden clasificarse en:

- Acciones vandálicas.
- Intervenciones anteriores.

²⁰ Termoclastia.- Consiste en la fragmentación de la roca debida a los cambios de temperatura bruscos. Las dilataciones y las contracciones producidas por los cambios de temperatura producen tensiones en las rocas que terminan por romperla. (Geografía Física, 2012)

3.5.3.4.3.2.5.1. ACCIONES VANDÁLICAS

Son las debidas a fuegos, pintadas y daños provocados intencionadamente. Su gravedad suele ser pequeña y su extensión queda restringida a la superficie de los elementos del puente.



Ilustración 109. Ejemplo de acciones vandálicas en el puente de La piedad, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

3.5.3.4.3.2.5.2. INTERVENCIONES ANTERIORES

En este caso los daños están provocados por intervenciones poco afortunadas del pasado realizadas por el hombre.



Ilustración 110. Ejemplos de deficiencias debidas a intervenciones anteriores. (Martínez, Martín-Caro, & León, 2003, pág. 98)



4. METODOLOGÍA I. USO DE LAS GEOTECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA LA UBICACIÓN DE LAS VÍAS SECUNDARIAS DEL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO, EN MICHOACÁN, MÉXICO Y, LEVANTAMIENTO DE LOS PUENTES QUE FORMAN PARTE DEL PATRIMONIO.

El patrimonio tangible de los países hispanoamericanos son variados y de importancia cultural, turística y científica. Su gestión para que cumpla con las posibles aplicaciones en desarrollo económico y social de una región, involucra el trabajo de grupos multidisciplinarios que colaboren para el bien común de los pueblos y del mismo patrimonio construido. Para ello es necesario generar programas sustentables que pudieran atraer recursos económicos para el aprovechamiento de estos sitios y genere fuentes de trabajo en las regiones en donde se encuentran. El interés por conservar los caminos antiguos (puentes antiguos) en nuestro país, ha incrementado en los últimos años a raíz de la declaratoria de la Unesco al Camino Real de Tierra Adentro como itinerario cultural Patrimonio de la Humanidad en agosto de 2010. El mantener este nuevo Patrimonio Mundial, desde la ubicación exacta del mismo, ha generado el interés por varios grupos de utilizar las nuevas tecnologías de la información para catalogarlos y resguardarlos. En este capítulo explicaremos las tecnologías utilizadas para ubicación georreferenciada, levantamiento y modelado del ramal del Camino Real de Tierra Adentro y Puentes que lo conforman, en el Estado de Michoacán, México. (Universidad Marista de Querétaro AC)

Se llevó a cabo un levantamiento de Posicionamiento Global (GPS) por medio de un programa móvil llamado iGis 8.2.0.

IGIS utiliza actualmente los archivos .zip a la importación y exportación de datos. Posteriormente, una vez realizado este levantamiento al que daremos por nombre "Camino Virtual", se mandan ya sean: puntos, líneas, polígonos o mapas generados al programa ArcGis9. ArcMap versión 9.3.

Para una mejor localización de los caminos que cruzan por los puentes y de los puentes en sí; en cuanto a georreferenciación se refiere. Se utilizó el programa SAS.Planet. Este programa nos ayudó a descargar la cartografía necesaria para cada puente con el entorno exacto para los levantamientos exportados desde IGis, para posteriormente editarlos y darles el acabado requerido en ArcGis9 versión 9.3.

A continuación se verán un poco a detalle las características principales de los Software's y aplicaciones utilizadas en el levantamiento, así como los mapas terminados.

4.1. LEVANTAMIENTO DE CAMINOS VIRTUALES CON LA APLICACIÓN iGis 8.2.0.



Ilustración 111. Programa utilizado para el levantamiento del “camino virtual” de los Puentes de Estudio. iGis 8.2.0. (Apple Inc., 2016)

iGis.8.2.0. Es un Sistema de Información Geográfica móvil (GIS) que permite a los usuarios descargar, ver, investigar, crear y exportar sus propios datos a través de un fondo de imágenes de servicio de mapas. Los datos espaciales se almacenan directamente en el móvil y/o celular sin necesidad de una conexión a internet para ver su contenido. Esto es de suma importancia ya que es ideal para el trabajo en campo. En este programa se pueden añadir y editar sus propias capas, puntos, líneas y polígonos a través de la visualización del mapa y las formas de entrada de datos personalizables. (Apple Inc., 2016)

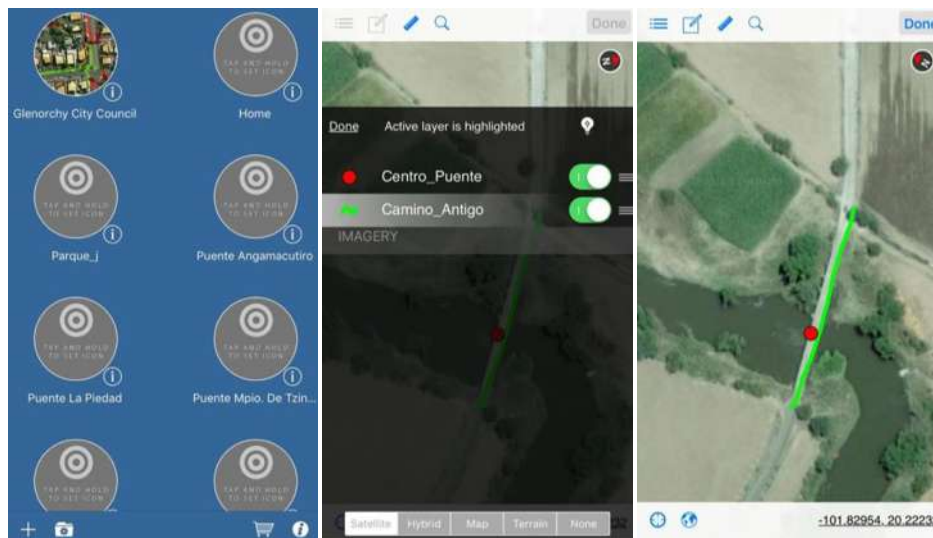


Ilustración 112. Plataformas del Programa iGis 8.2.0. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

A la izquierda.- Plataforma principal para la creación de un nuevo proyecto. En esta plataforma se asigna el nombre del proyecto, coordenadas, nombres de los layers y tipos de layers, ya sean; puntos, líneas o polígonos.



Al centro.- Plataforma en la que se puede desactivar, activar o modificar el layer que se esté o vaya a utilizar.

A la derecha.- Terminación del levantamiento de un camino virtual, así como el centro del puente ubicado en la localidad de Sta. Fe del río, Mpio. De Penjamillo, Mich.



Ilustración 113. Levantamiento del camino virtual y centro del Puente con la aplicación iGis móvil ubicado en Sta. Fe del Río, Mpio. De Penjamillo, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

4.2. DESCARGA DE CARTOGRAFÍA CON EL PROGRAMA SAS.PLANET.

Entre los muchos y variados programas que existen para acceder en línea a servidores de cartografía como: INEGI, Google Earth, etc. Se encuentra SAS.Planet.



Ilustración 114. Programa para descargas de cartografía SAS.PLANET (*Cartografía Digital*, 2014)

Es un programa de origen ruso, consiste en esencia en la descarga de mosaicos de cartografía desde una lista de proveedores predeterminada; dichos mosaicos son guardados en la caché local para luego poder exportarlos en una buena variedad de formatos. A destacar también que el programa viene en modo portable, esto es, no necesita instalación y con descomprimir en una carpeta y ejecutarlo ya podemos funcionar con él. (digimapas.blogspot, 2014)

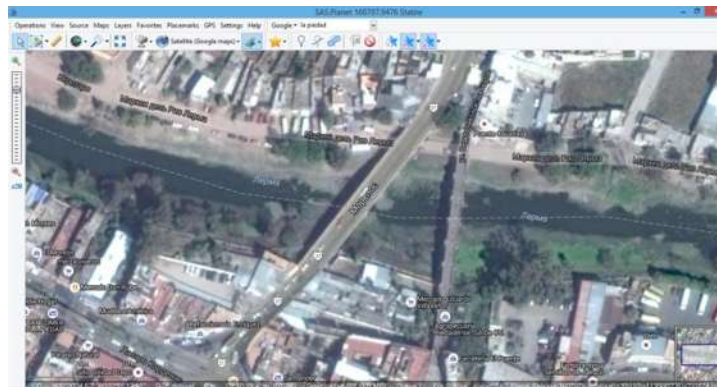


Ilustración 115. Cartografía del Puente Cavadas, ubicado en el Mpio. De La Piedad, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

El esquema de funcionamiento básico es el siguiente:

Selección del proveedor de cartografía que nos interese.

Posibilidad de añadir alguna capa con información suplementaria.

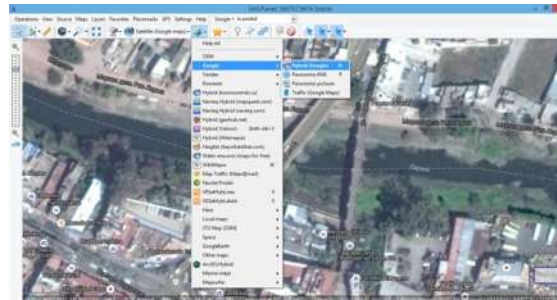


Ilustración 116. Selector de Capas. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Selección del área que queremos descargar, mediante polígonos o la vista en pantalla entre otras.

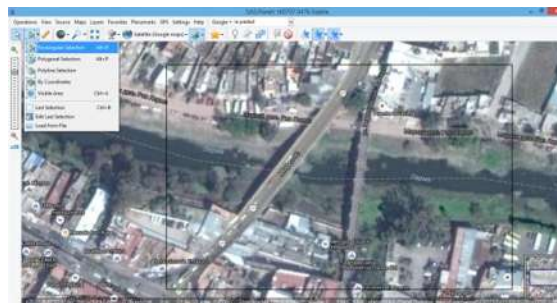


Ilustración 117. Selección del área mediante polígonos. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Selección del nivel de zoom de los mosaicos a descargar, lo que determina la calidad y resolución de los mismos.

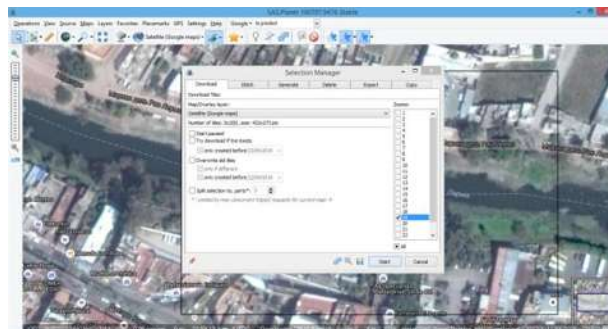


Ilustración 118. Ventana de descarga con selección de mapa y de nivel de zoom. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Dependiendo del zoom con que se descargue será la calidad de resolución que tenga la cartografía. El programa permite hacer varias descargas con resoluciones diferentes para una mejor visualización de los mapas. Una vez terminada la descarga se pueden exportar a un caché local.

4.3. ARCGIS 9. VERSIÓN ArcMap 9.3.

ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. ArcGIS Desktop, la familia de aplicaciones SIG de escritorio, es una de las más ampliamente utilizadas, incluyendo en sus últimas ediciones las herramientas ArcReader, ArcMap, etc. (Sistemas de Información Geográfica SIG, 2016)

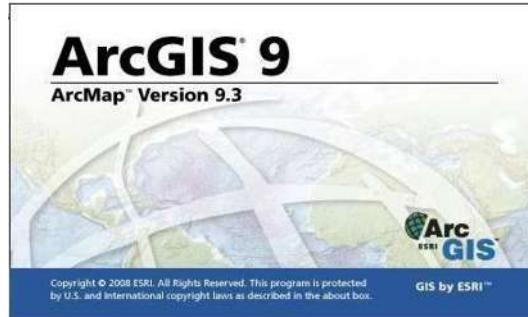


Ilustración 119. Software ArcGis9. Versión ArcMap 9.3 (*blogspot.mx*, 2011)

ArcMap representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa. Los elementos de mapa comunes son el marco de datos, que contiene las capas de mapa para una extensión determinada, más la barra de escala, la flecha de norte, el título, texto descriptivo, una leyenda de símbolos, etc. (Environmental Systems Research Institute, Inc., 2016)

Tareas habituales realizadas en ArcMap:

Trabajar con mapas.- Puede abrir y utilizar documentos de ArcMap para explorar información, desplazarse por los documentos de mapa, activar y desactivar capas, realizar consultas en entidades para acceder a todos los datos de atributos que forman parte del mapa, y visualizar la información geográfica.

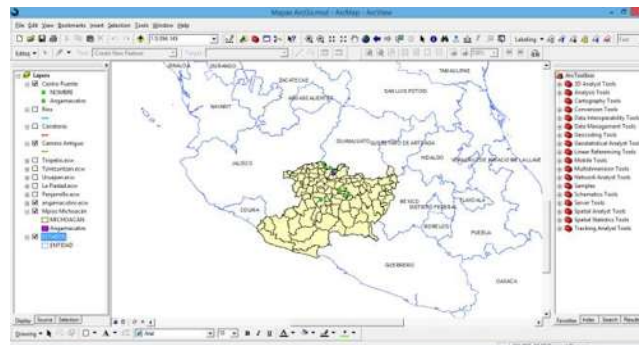


Ilustración 120. Capas de límites de los Estados de la República, así como los Municipios de Michoacán de Ocampo. (*GARCÍA CHÁVEZ*, 2016)

Imprimir mapas.- Con ArcMap puede imprimir mapas, muy sencillos o cartografía compleja.

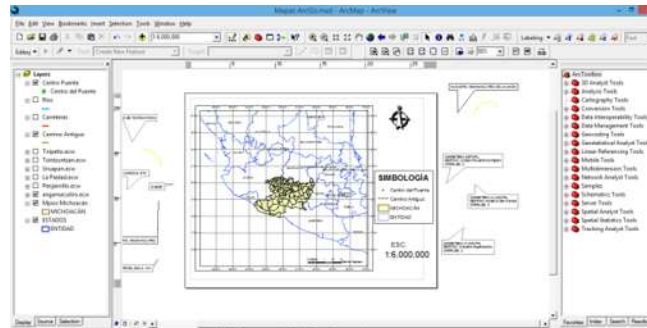


Ilustración 121. Layouts. Plataforma para la visualización, edición e impresión de mapas.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Documentar la información geográfica.- Uno de los objetivos clave de las comunidades de SIG consiste en describir su información geográfica, de forma que ayude a documentar sus proyectos, así como a realizar consultas y compartir los datos. (Environmental Systems Research Institute, Inc., 2016)

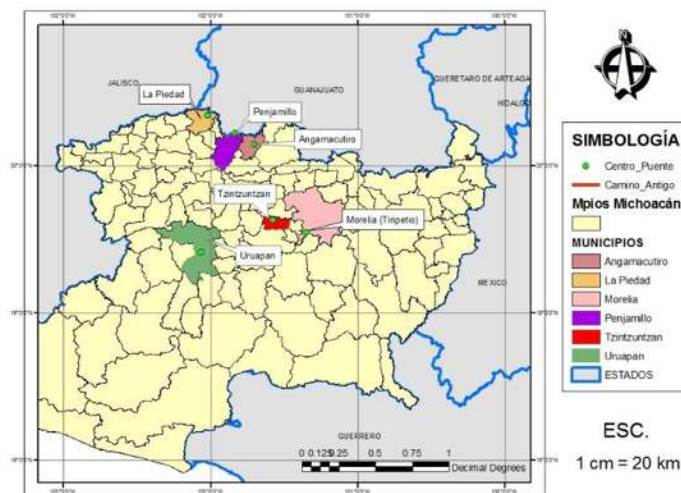


Ilustración 122. Mapa terminado de los Municipios donde se localizaron los Puentes de Estudio en el Estado de Michoacán de Ocampo. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

4.4. MODELAJE EN PLANTA DE LOS PUENTES DE ESTUDIO CON EL SOFTWARE AUTOCAD 2014.

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. (Arquitectura Arkinetia, 2015)



Ilustración 123. Programa de Dibujo Técnico AutoCAD versión 2014. (AUTODESK.com, s.f.)

AutoCad es un programa de dibujo técnico desarrollado por Autodesk para el uso de ingenieros, técnicos y otros profesionales de carreras de diseño.

CAD significa Computer Aid Design. (Diseño Asistido por Ordenador) DAO.

Funciones:

Al igual que otros programas de Diseño Asistido por Ordenador (DAO), AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se muestran éstas, el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de edición o dibujo, desde la línea de órdenes, a la que el programa está fundamentalmente orientado.

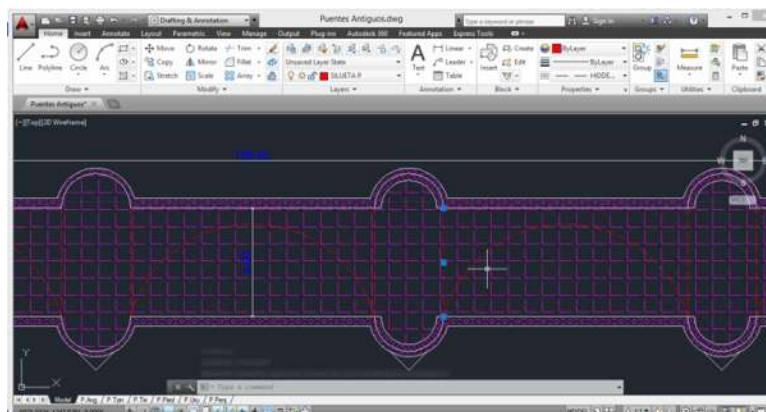


Ilustración 124. Interacción de comandos con la plataforma principal de AutoCad2014. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Parte del programa AutoCAD está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como color, grosor de líneas y texturas tramadas. AutoCad, utiliza el concepto de espacio modelo y espacio papel para separar las fases de diseño y dibujo en 2D y 3D, de las específicas para obtener planos trazados en papel a su correspondiente escala. La extensión del archivo de AutoCAD es .dwg, aunque permite exportar en otros formatos (el más conocido es el .dxf).

Las aplicaciones del programa son múltiples, desde proyectos y presentaciones de ingeniería, hasta diseño de planos o maquetas de arquitectura. (leonardoqta03.blogspot, 2013)

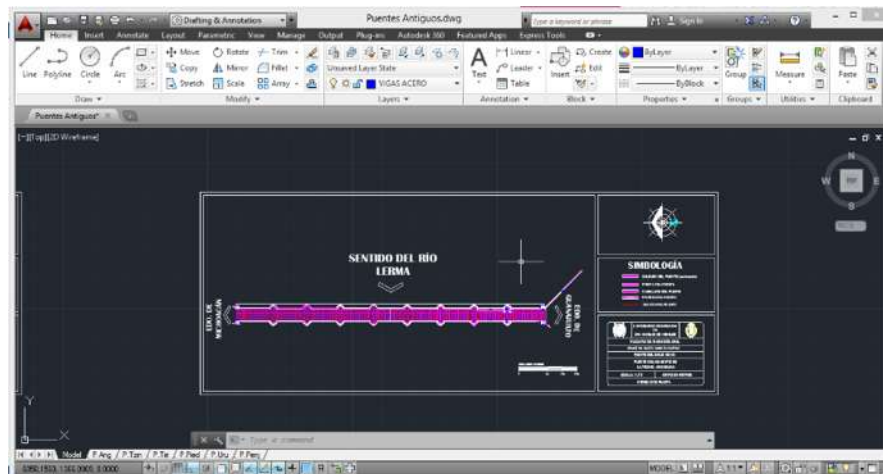


Ilustración 125. Puente Cavadas ubicado en el Mpio. De La Piedad, Mich. Dibujado en planta en el programa AutoCad versión 2014. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

4.5. MODELADO DE LOS PUENTES DE ESTUDIO EN 3D CON EL SOFTWARE REVIT 2015.

Autodesk Revit es un software de Modelado de información de construcción (BIM, Building Information Modeling), para Microsoft Windows, desarrollado actualmente por Autodesk. Permite al usuario diseñar con elementos de modelación y dibujo paramétrico. BIM es un paradigma del dibujo asistido por computador que permite un diseño basado en objetos inteligentes y en tercera dimensión. De este modo, Revit provee una asociatividad completa de orden bi-direccional. Un cambio en algún lugar significa un cambio en todos los lugares, instantáneamente, sin la intervención del usuario para cambiar manualmente todas las vistas. (Autodesk Revit LT, 2013)



Ilustración 126. Programa de Modelado en 3D, REVIT versión 2015. (*identi.li, 2014*)

Implementar la tecnología BIM significa abordar el ciclo de vida completo de un edificio, desde el concepto inicial hasta su edificación.

Revit fue creado de forma exclusiva para trabajo en modelado BIM. Se trata de un programa con un motor de cambios paramétricos con una base de datos relacional que gestiona y coordina la información necesaria para el modelado del diseño arquitectónico, la construcción y, la ingeniería de un edificio, incluyendo todas las especialidades. Este programa permite crear diseños basados en objetos inteligentes y tridimensionales, los que están asociados para coordinarse automáticamente ante cualquier cambio introducido. (Hildebrandt Gruppe, s.f.)

CARACTERÍSTICAS DESTACADAS DE REVIT:

Componentes de diseño y construcción: El programa cuenta con herramientas para diseñar el edificio desde su conceptualización hasta la planimetría de la construcción. Esto abarca detalles en muros, pisos, cielos y cubiertas, incluyendo los muros cortina. Además, permite realizar un estudio volumétrico mediante masas, calcular áreas por pisos y experimentar con texturas, materiales y colores, entre otras aplicaciones.

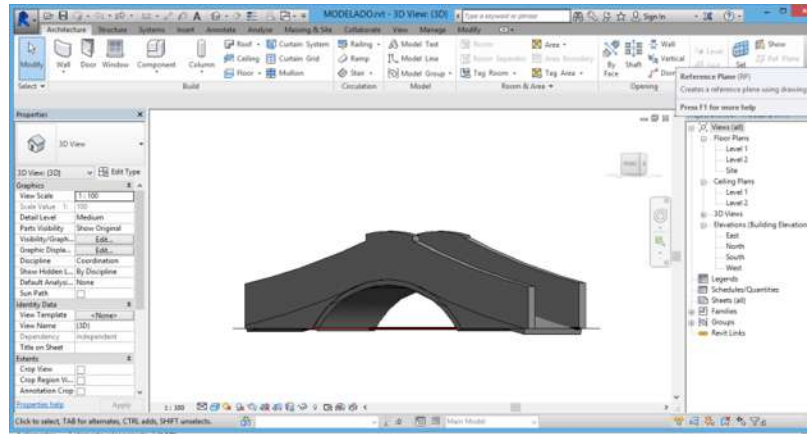


Ilustración 127. Modelo en 3D del Puente ubicado en la localidad de Tiripetío, Mpio. De Morelia, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Sombras Vectoriales: Al realizar cualquier cambio en la estructura, orientación y otros detalles que modifiquen la disposición de elementos frente a la luz, las sombras se ajustan inmediatamente, permitiendo visualizar el efecto de los cambios en la iluminación.

Perspectivas seccionales: Permite analizar todos los ángulos del edificio desde distintas perspectivas y en distintas secciones, incluyendo vistas con líneas ocultas, sombras y siluetas.

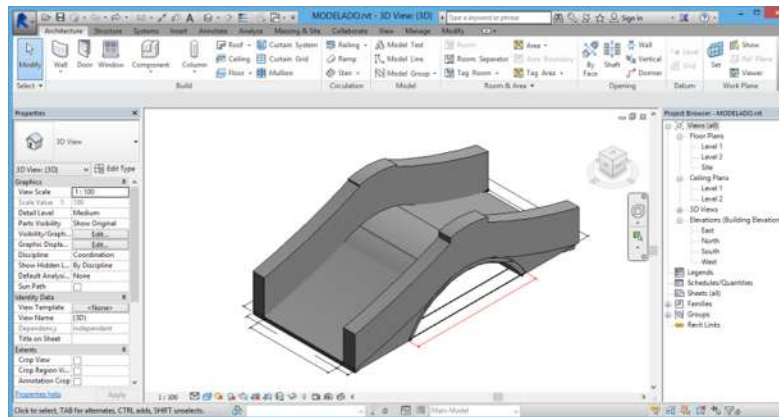


Ilustración 128. Perspectiva en otro ángulo del Puente de Tiripetío, Mpio. De Morelia, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Presentación y visualización: Cuenta con renderización integrada. También realiza análisis de área para producir esquemas, tiene un pantone integrado y permite exportar a pdf para imprimir o enviar vía email. (Hildebrandt Gruppe, s.f.)

5. METODOLOGÍA II: LEVANTAMIENTO, VISUALIZACIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE GEORREFERENCIACIÓN IN SITU DE LOS PUENTES VIRREINALES EN EL ESTADO DE MICHOACÁN DE OCAMPO, MÉXICO

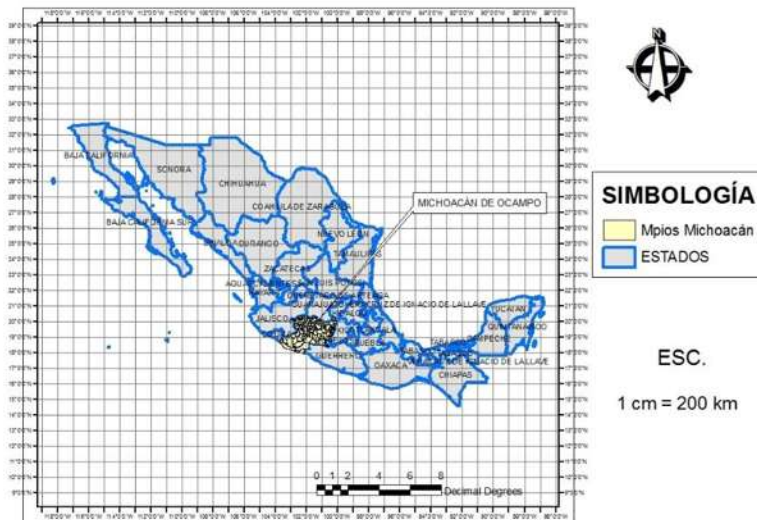


Ilustración 129. Localización del estado de Michoacán de Ocampo en la República Mexicana.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

El estudio se llevó a cabo en el estado de Michoacán de Ocampo, en el cual encontraremos los vestigios de seis puentes virreinales que serán la base de este proyecto.

Se tomó como base preliminar un inventario nacional realizado por el INAH, el cual nos dicta y nos respalda que, realmente los puentes de estudio corresponden al año y a las características de los materiales de fábrica que los conforman, así como algunas de sus dimensiones.

A continuación se dará a conocer un inventario de los puentes que se analizaron para fin de identificar su localización, caracterización, datos históricos y al mismo tiempo establecer parámetros de la situación actual en la que se encuentran.

Las mediciones se llevaron a cabo con ayuda de: Distanciómetro, Flexómetro y Cinta Métrica.



Ilustración 130. Aparatos de Medición de los Puentes. (Cartego.net, 2014), (Suministros Industriales Hermanos Billete S.L., 2013) Y (Grupo ACRE, S.L., s.f.)

A la izquierda.- Flexómetro²¹

Al Centro.- Cinta Métrica²²

A la derecha.- Distanciómetro²³



Ilustración 131. Levantamiento del puente en planta por medio de los aparatos de medición antes mencionados. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

²¹ El Flexómetro.- Es un instrumento de medición el cual es conocido con el nombre de cinta métrica, con la particularidad de que está construido por una delgada cinta metálica flexible, dividida en unidades de medición, y que se enrolla dentro de una carcasa metálica o de plástico. En el exterior de esta carcasa se dispone de un sistema de freno para impedir el enrollado automático de la cinta, y mantener fija alguna medida precisa de esta forma. Se suelen fabricar en longitudes comprendidas entre uno y cinco metros. La cinta metálica está subdividida en centímetros y milímetros. Enfrente de escala se encuentra otra escala en pulgadas. (Galeon.com, 2016)

²² Cinta Métrica.- Al igual que el Flexómetro presenta las mismas características a diferencia de las longitudes en que se fabrican. Estas se diseñan con longitudes comprendidas entre 30 y 50 metros.

²³ Distanciómetro.- También conocido como 'medidor láser' o por sus siglas en inglés EDM, es un instrumento electrónico de medición que calcula la distancia desde el dispositivo hasta el siguiente punto al que se apunte con el mismo. Utilizan un rayo láser para calcular la distancia visible. El Distanciómetro se creó para facilitar las mediciones cuando un Flexómetro no podía llegar. Si la distancia era muy larga y no había soporte, este se doblaba o no era lo suficientemente largo. (Suministros industriales Pasai S.A., 2015)

A la izquierda. Uso del Distanciómetro para el levantamiento en planta del puente ubicado en el Municipio de Angamacutiro, Mich.

A la derecha. Uso de Cinta Métrica para el levantamiento en planta del puente ubicado en la localidad de Sta. Fe del río, Municipio de Penjamillo, Mich.

En su totalidad se localizaron seis puentes a lo largo del estado de Michoacán de Ocampo, de los cuales; uno de ellos es del siglo XVII, uno del siglo XVIII, uno de principios del siglo XIX, dos de mediados y finales del siglo XIX y por último uno del siglo XX.

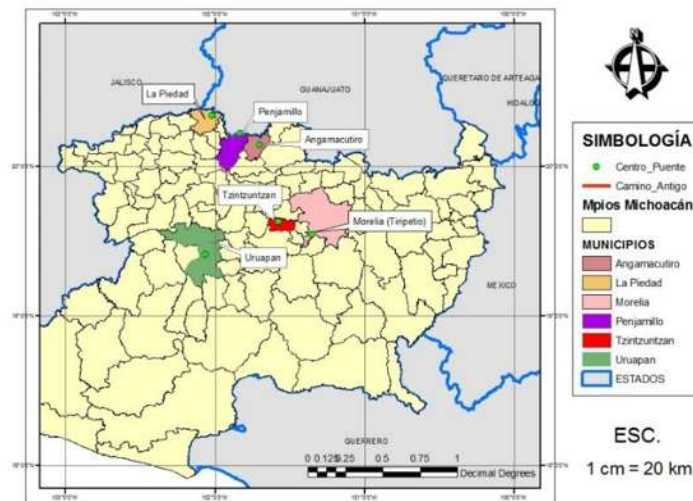


Ilustración 132. Municipios en el estado de Michoacán de Ocampo en los que se localizaron los puentes a estudiar. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Comenzaremos con un poco de historia y nos guiaremos en el recorrido de los puentes cronológicamente a partir del año de construcción de cada puente.

Un poco de historia...

“El llamado “imperio tarasco” fue un dilatado “reino” indígena, contemporáneo y paralelo al mexica. Tan altivos o más que los tenochca, los tarascos alcanzaron un refinamiento social equiparable al de sus belicosos vecinos. En su mejor época, los antiguos dominios P’urhépecha (también conocidos como tarascos) se extendieron desde las pétreas y bizarras riberas del río Lerma al norte, hasta las tórridas y cantarinas aguas del río Balsas al sur. Un gigantesco dominio de más de 75 mil km², cuyo centro neurálgico era la eufónica Tzintzuntzan, su altiva capital, la que de hecho nunca sufrió una derrota militar. Pero si nos atenemos al Códice Plancarte²⁴, el límite más septentrional del imperio tarasco pudo llegar hasta el país

²⁴ Códice Plancarte.- Éste códice fue publicado por primera vez en 1888 en los Anales del Museo Michoacano. El cual consta de doscientos ejemplares numerados. El códice Plancarte fue escrito por el Fray

de los zuñi, la zona del bisonte o "toroscíbolo", en la mítica región de Cíbola, en lo que hoy es Nuevo México, EUA". (Iasa Comunicación, 2016)



Ilustración 133. Códice Plancarte o códice Carapan. (Stanford University, Stanford, California 94305., s.f.)
Y (vBulletin Solutions, Inc., 2016)

A la derecha. Imagen del códice en la que nos muestra la genealogía de los señores de Carapan.

A la izquierda. Códice Plancarte o Códice Carapan que contiene una colección de escritos, relatos e ilustraciones novohispanas del siglo XVI-XVII.

Durante la conquista, los guerreros españoles, así como los monjes evangelizadores; se extendieron por todas las regiones de América existentes topándose en algún momento con las diferentes culturas que gobernaban dichas tierras y arrasando con todas ellas a su paso.

Tal fue el caso del enfrentamiento con los tarascos y mexicas, quienes no tuvieron opción ante las armas de los aguerridos españoles, siendo estos invadidos y sometidos por las creencias y hábitos de los españoles.

Los puentes que veremos a continuación nos relatan la relación existente que hubo en aquel entonces entre el Camino Real de Tierra Adentro y los caminos que conectan a los puentes encontrados en Michoacán construidos durante la conquista y evangelización de estas tierras. Todo esto lo podemos relacionar por medio de sus hitos, como son: el imponente río Lerma, el formidable río Balsas y la curiosa conexión con las culturas; Tarasca y Mexica. Las cuales como se venía observando se cree que extendieron sus fronteras hasta la zona del bisonte o toroscíbolo, en la mítica región de Cíbola (la ciudad de Oro), en lo que hoy es conocida como Nuevo México, EUA.

José Antonio Plancarte, en el cual presenta una colección de escritos, relatos, sermones, obras, sonetos e ilustraciones novohispanas del siglo XVI-XVII, en los cuales engloban la historia de las culturas que gobernaban en aquellas épocas, entre ellas; la cultura tarasca y de su influencia en Michoacán. (Stanford University, Stanford, California 94305., s.f.) y (Enciclopedia de la Literatura en México, 2016)

5.1. PUENTE GRANDE, ANGAMACUTIRO



Ilustración 134. Puente ubicado en el Municipio de Angamacutiro, Michoacán. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.1.1. ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE

Angamacutiro se encuentra localizado en el extremo norte del estado de Michoacán, a una altura de 1,690 metros sobre el nivel del mar. Siendo fronterizo con el estado de Guanajuato, sus límites son al noreste con el municipio de José Sixto Verduzco, al este con el municipio de Puruándiro, al sur con el municipio de Panindícuaro, al oeste con el municipio de Penjamillo y al norte con el municipio de Pénjamo, Guanajuato. Su distancia a la capital del Estado es de 133 km.

Al municipio lo comunica la carretera federal No. 43 Morelia-Salamanca, con desviación en la carretera estatal No. 27 Cuitzeo-Angamacutiro. También se comunica por medio de la Autopista de Occidente Morelia-Guadalajara con desviación en Panindícuaro y la carretera Zacapu-Angamacutiro.

Su extensión territorial es de 230.26 kilómetros cuadrados que representan el 0.39% de la totalidad de la superficie del estado de Michoacán. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2008) Y (Wordpress.com, 2010)



Ilustración 135. Localización del Mpio. De Angamacutiro en el estado de Michoacán, Méx.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

En lengua de Uapeani, Pauacume y Tariácuri, significa” lugar al borde de la barranca”. Fue fundado en el año 1323 por un grupo de otomíes que vinieron del Estado de Guanajuato. Entre los pueblos sometidos por los ejércitos del imperio purépecha, se encuentra Angamacutiro.

En el siglo XVI, el conquistador español Nuño de Guzmán al marchar al frente de una expedición que se dirigía hacia la Nueva Galicia pasó por este pueblo, posesionándose de él indebidamente, lo que ocasionó un litigio, pues el comendero de Huango (Villa Morelos) reclamó Angamacutiro como encomienda.

Durante el año de 1527 se considera la refundación de Angamacutiro por Don Juan Villaseñor.

En Conguripo, localidad perteneciente a este municipio, el 14 de febrero de 1530 Tanganzoan II fue sacrificado vilmente por el tristemente célebre Nuño de Guzmán.

Es de conocimiento general que el sojuzgamiento español hacia la población revistió dos características: mientras Nuño de Guzmán recurrió a la espada, dio instrucciones a los frailes Juan de Padilla, Juan de Badillo y Bartolomé de Estrada para que evangelizaran a la población.

El municipio fue creado el 10 de diciembre de 1831 por el Congreso del Estado.

Entre sus atractivos se puede mencionar: Puente de piedra sobre el río Angulo que data del año de 1600. (Wordpress.com, 2010)

5.1.2. LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE

Estado: Michoacán de Ocampo

Municipio: Angamacutiro

Localidad: Angamacutiro de la Unión

Colonia: Rural

Calle y Número: Kilómetro 0.45 de la carretera Angamacutiro-Miravalle s/n

Otra localización: Sobre el río Angulo a 450m al sur-poniente de la Cab. Municipal de Angamacutiro (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

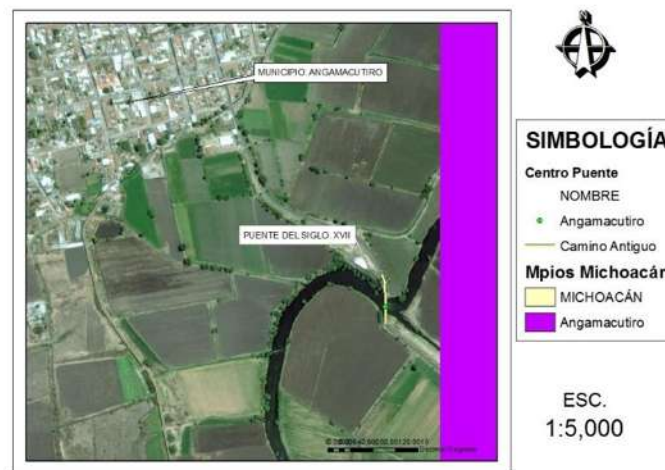


Ilustración 136. Ubicación del puente vía GPS. (SAS.Planet.bin, 2016), (ArcGis9. Versión ArcMap 9.3) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

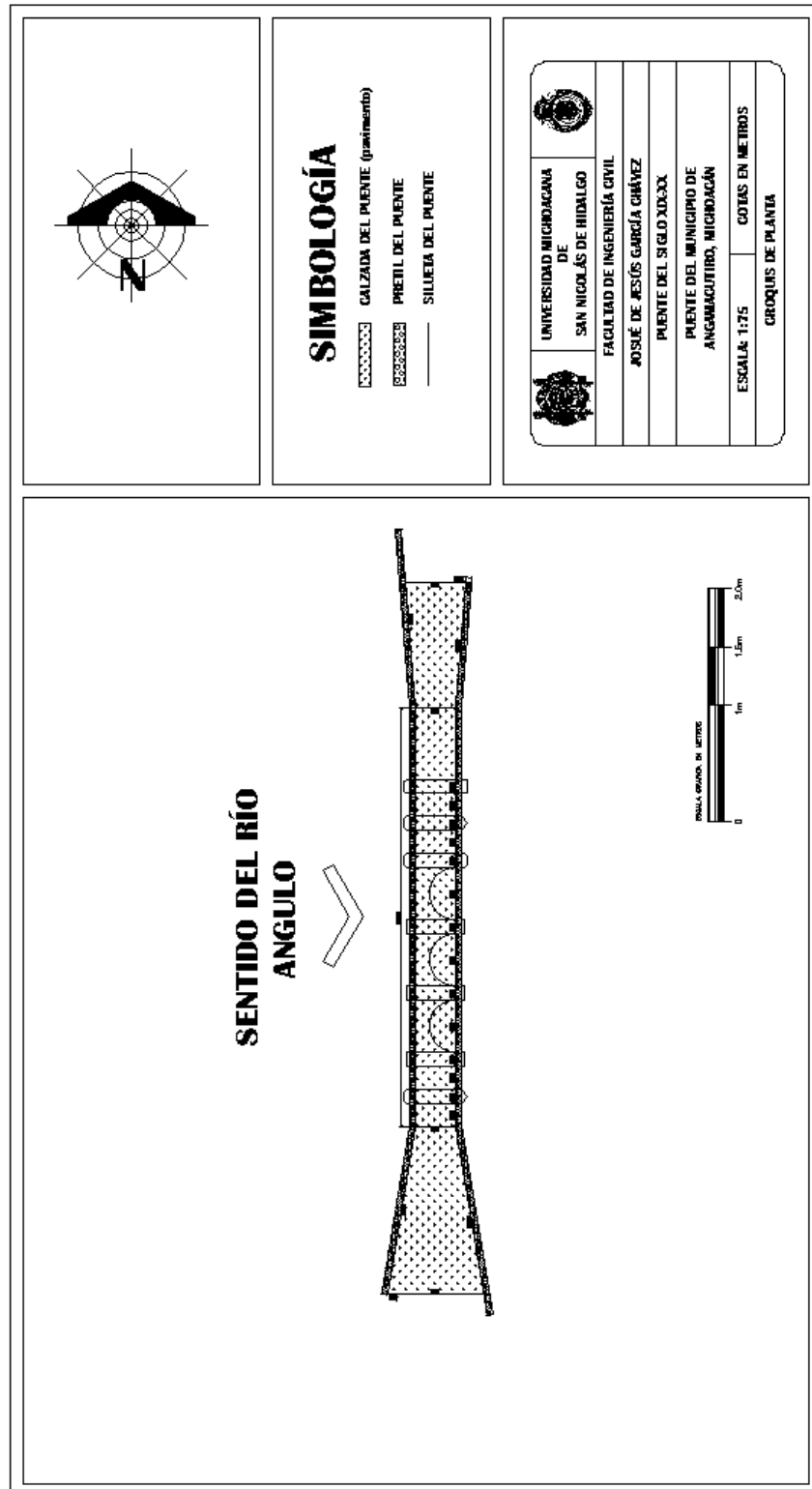


Ilustración 137. Croquis en planta del puente ubicado en el Municipio de Angamacutiro, Michoacán. (AutoCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



5.1.3. IDENTIFICACIÓN

Nombre del Puente: Puente Grande

Uso Original: Puente carretero

Uso actual: Puente Vehicular y peatonal

Época de construcción: Siglo XVII

5.1.4. CARACTERÍSTICAS

Tipo de Fábrica: Sillería y Basalto.

Fachada: Aparente

Muros: Mampostería de piedra

Calzada: 3.46m

Cubiertas: Tipo Bóveda

Forma de cubiertas: Abovedadas, cañones de medio punto

Niveles: 1

Otros elementos: Tajamar, carpeta asfáltica en la calzada, apoyos semicirculares.

5.1.5. ASPECTOS LEGALES

Régimen de Propiedad: Municipal

5.1.6. DATOS HISTÓRICOS

Datos históricos (1. Orales 2. Documentales 3. Inscripciones) (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

1.- Se dice que lo mandó construir José María Vivanco, dueño de la hacienda de Villachuato. Datos proporcionados por el Sr. Marco Antonio Lemus Salgado.

2.- La parte media del puente se tuvo que reconstruir en 1907 debido al paso de unas turbinas que iban a la planta del sabino, que serviría para electrificar el poblado de Angamacutiro.

5.1.7. OBSERVACIONES

5.1.7.1. EN EL EXTERIOR DEL PUENTE

- El puente une al pueblo de Angamacutiro con la localidad de Miravalle.
- Algunos muros del pretil presentan vegetación.



Ilustración 138. Vegetación en muros del pretil (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- En la calzada del puente, la carpeta asfáltica le hace falta mantenimiento, debido a las tormentas de lluvia presenta signos de deslave de material granular y asfáltico.
- La calzada presenta signos de vegetación.



Ilustración 139. Deslave de material asfáltico y signos de vegetación en la calzada. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.1.7.2. PROPIAS DEL PUENTE

- Se trata de un puente elaborado en mampostería de piedra, que presenta por la parte superior un paso vehicular en funcionamiento, recubierto de asfalto, con muretes a los costados en acabado aparente.
- Por la parte inferior presenta tres arcos de medio punto que sostienen la estructura y a través de ellos pasa el río.
- Todos los tajamares presentan signos de arrastre y pérdida de material debido a la corriente de agua del río.



Ilustración 140. Características principales del puente y arrastre de material granular de tajamares. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Todos los muros de los pretiles han sido restaurados con juntas de roca volcánica, y mortero.



Ilustración 141. Muros restaurados con juntas de roca volcánica y mortero. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- En el intradós del primer arco de medio punto presenta fracturas longitudinales y transversales.



Ilustración 142. Fracturas en el intradós del arco. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- En la corona de los pretilos presentan fracturas al igual que derrumbe de material.
- Partes de la corona de los pretilos han sido restaurados con roca volcánica y concreto.



Ilustración 143. Desmoronamiento de la Corona del Puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

A la izquierda. Fracturas y derrumbe de material granular.

A la derecha. Descubrimiento debido al desmoronamiento de material granular con que habían restaurado la corona del puente.

5.1.8. NIVEL DE DAÑO

NIVEL DE DAÑO	NO. ASIGNADO
PESIMO ESTADO	4
MAL ESTADO	3
BUEN ESTADO	2
EXCELENTE ESTADO	1

Tabla 4. Referencia para asignación de valores a los niveles de daños. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES AL EXTERIOR DEL PUENTE GRANDE EN EL MUNICIPIO DE ANGAMACUTIRO, MICHOACÁN	CAUCE DEL PUENTE			2	
	VEGETACIÓN EN LOS PRETILES DEL LADO ORIENTE DEL PUENTE			2	
	VEGETACIÓN EN LOS PRETILES DEL LADO PONIENTE DEL PUENTE			2	
	VEGETACIÓN EN LA CALZADA DEL PUENTE		3		
	ENCARPETADO DE ASFALTO EN LA CALZADA			2	
	CONTAMINACIÓN DE LOS INTRADÓS DEL PUENTE				1

Tabla 5. Nivel de daño del estudio realizado para el exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
El cauce se encuentra en buenas condiciones, a excepción de la vegetación y algunos troncos que se encuentran dañando la estructura del puente. Se recomienda limpieza en el cauce y apartamiento de los troncos.
No se encuentra tan invadido de vegetación. Se recomienda limpieza.
No se encuentra tan invadido de vegetación. Se recomienda limpieza.
Se encuentra en su mayoría lleno de vegetación por la parte donde se conecta el pretel con la calzada en ambos extremos. Se recomienda limpieza y chaponear la parte con vegetación.
Presenta vegetación, arrastres y pérdida de material granular y material asfáltico. Se recomienda reencarpetamiento o sustituir el encarpetado de asfalto por materiales de fábrica.
No presenta signos de vegetación ni coloración en el material que los conforma. Se recomienda recubrimiento con mortero de fábrica para evitar posibles daños de alveolización o arenización.
Nota. En general el exterior del puente se encuentra en buen estado. Necesita mantenimiento normal. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 6. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado al exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE GRANDE EN EL MUNICIPIO DE ANGAMACUTIRO, MICHOACÁN	GAVIONES			2	
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO EN LOS PRETILES DEL LADO ORIENTE			2	
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO EN LOS PRETILES DEL LADO PONIENTE				1
	DESPRENDIMIENTOS EN LOS ARCOS INTERIORES DEL PUENTE			2	
	INTRADÓS DEL PUENTE		3		
	JUNTAS DE LOS ARCOS DEL PUENTE				1
	TAJAMARES		3		

Tabla 7. Nivel de daño del estudio realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
Los pocos gaviones con los que cuenta son particularmente pequeños pero se encuentran en buen estado. Se recomienda mantenimiento.
No tiene desprendimientos debido a que fue restaurado, sólo cuenta con algunas fracturas longitudinales. Se recomienda verificar el causante de esas grietas y restaurarlo en medidas del INAH.
No cuenta con desprendimientos. Se recomienda colocar un mortero que ayude a prevenir alveolización, arenización o similares.
Tiene ligeros desprendimientos de mortero. Se recomienda restaurar con mortero nuevo de fábrica.
Tiene fracturas longitudinales y transversales debido a las cargas en la calzada del puente. Se recomienda analizar a fondo la posible causa de esas fracturas y establecer parámetros para corregirlas por medio del INAH.
No tienen problemas de adherencia, fueron restauradas con mortero. Se recomienda inspección.
La mayoría de ellos se encuentran desmoronados debido a las corrientes de agua y algunos troncos. Se recomienda retirar la maleza y los troncos al igual que colocar nuevos materiales granulares de fábrica para su reconstrucción.
Nota. En general las partes que conforman el puente se encuentran en buen estado. Necesita mantenimiento normal y reparación en los tajamares. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 8. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Los modelos que veremos a continuación fueron diseñados principalmente en el programa AutoCad2014 en planta, se exportó a Revit2015 para modelaje y, finalmente fueron exportados al programa 3ds Máx2015 para terminar acabados y sombras. Esto con el fin de que se puedan usar programas en ellos de cálculo estructural como Tricalc9.0, SAP2000, entre otros, que manejen un interfaz gráfico 3D, en los que sometan a estos inmuebles a esfuerzos dinámicos y así conocer sus propiedades mecánicas y resistencia a esfuerzos, con la finalidad de tener una manera de prever daños con margen de tiempo para garantizar con mayor seguridad el éxito a cualquier modificación, rehabilitación o reparación.

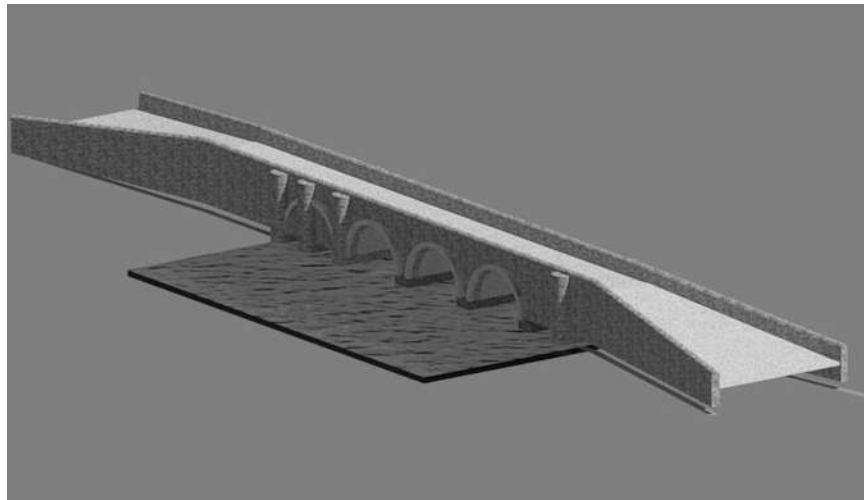


Ilustración 144. Renderizado del Puente Grande ubicado en el Mpio. De Angamacutiro, Mich.
Realizado con el programa Revit2015. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



Ilustración 145. Renderizado del Puente Grande ubicado en el Mpio. De Angamacutiro, Mich.
Realizado con el programa 3ds Máx2015. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.2. PUENTE YAHUARO, TZINTZUNTZAN



Ilustración 146. Puente ubicado en el Municipio de Tzintzuntzan, Michoacán. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.2.1. ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE

Ubicado a sólo 60 km de Morelia, en Michoacán. Para llegar al sitio se toma la carretera federal no.14 Uruapan/México.

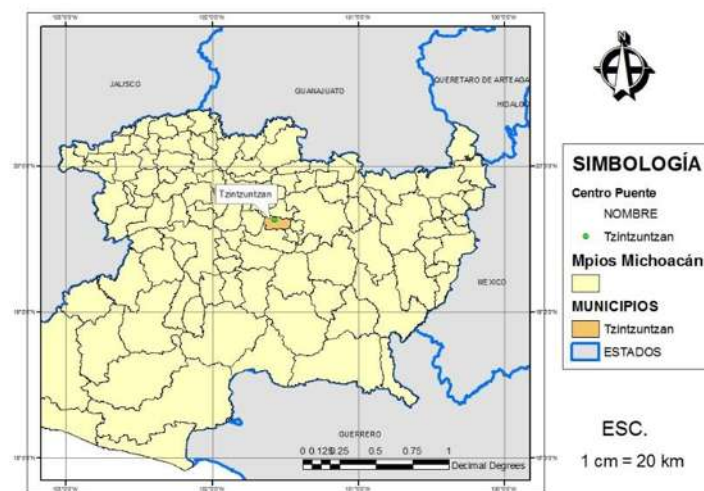


Ilustración 147. Localización del Mpio. De Tzintzuntzan en el estado de Michoacán, Méx. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



Tzintzuntzan, cuyo nombre significa "lugar de colibríes", fue una de las capitales purépechas más importantes durante la época prehispánica. Actualmente conserva una zona arqueológica, llamada las Yácatas, en referencia a sus cinco edificaciones piramidales redondeadas, típicas de esta cultura. Además de su pasado precolombino.

Dispuesta en una elevación natural a orillas del imponente lago de Pátzcuaro, esta población tiene un encanto particular, pues al igual que algunas otras ubicadas en sus alrededores, muestra una fisonomía de cierta evocación colonial. Sobresalen sus calles empedradas y antiguas casas de una planta con techumbres de teja rojiza y pronunciados aleros.

Tzintzuntzan, junto con Pátzcuaro e Ihuatzio, fue la capital del imperio tarasco, donde se concentró el poder económico y político de la región.

Junto con Ihuatzio y Tingambato, Tzintzuntzan fue una de las ciudades de la liga tarasca. Vivió su época de esplendor en el Periodo Clásico, hacia el año 1200 d.C., cuando se consolidó como un gran centro de gobierno, donde residía el calzontzin (rey). Controló una gran extensión territorial y contó con una estructura social muy compleja. Cuando Pátzcuaro decayó, pasó a ser capital, categoría que conservó hasta la Conquista. Las armas de los aguerridos mexicas no pudieron vencer a esta gran capital; no fue sino hasta la llegada de los españoles que el pueblo cayó por la espada del despiadado Nuño de Guzmán. En 1533, Vasco de Quiroga se instaló en estas tierras donde estableció la primera cabeza de la Diócesis de Michoacán. (Iasa Comunicación, 2016)

Varios siglos después; como resultado del establecimiento del régimen de intendencias, en 1786, Tzintzuntzan pasó a ser parte de la intendencia de Michoacán, con capital en Valladolid (actual Morelia). (Beaumont, 1932)

5.2.2. LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE

Estado: Michoacán de Ocampo

Municipio: Tzintzuntzan

Localidad: Tzintzuntzan

Colonia: Centro

Calle y Número: Victoria s/n

Otra localización: Esquina Álamo (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

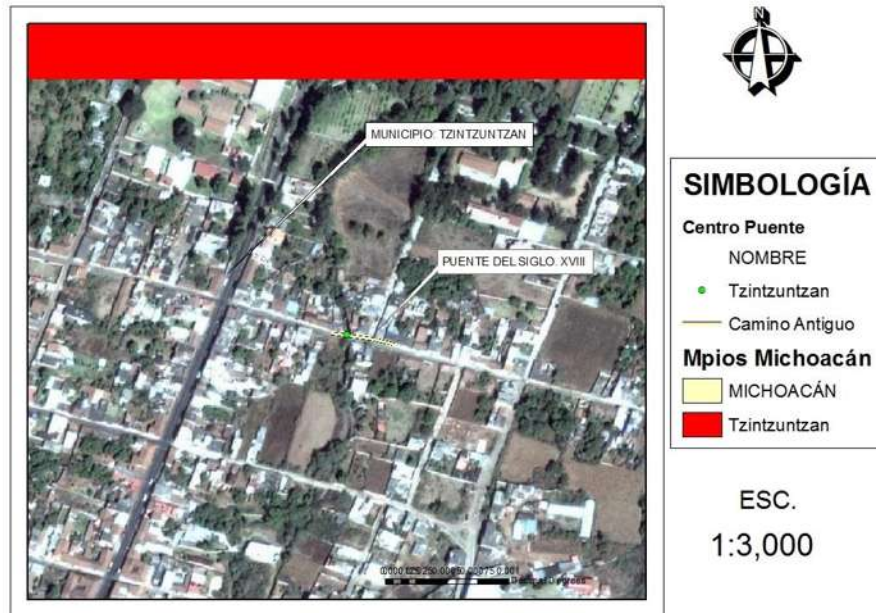


Ilustración 148. Ubicación del Puente vía GPS. (ArcGis9. Versión ArcMap 9.3), (SAS.Planet.bin, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

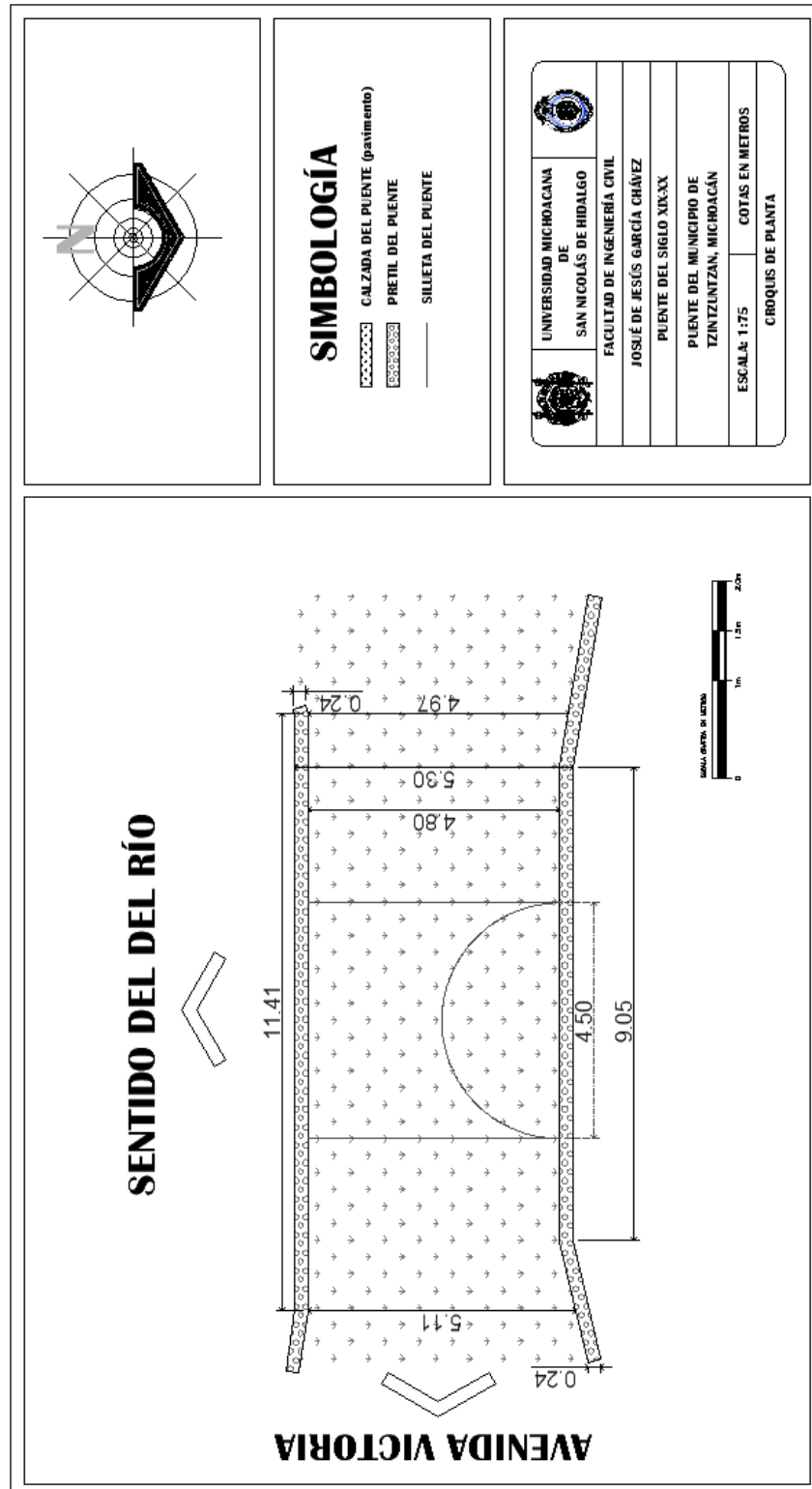


Ilustración 149. Croquis en planta del puente ubicado en el municipio de Tzintzuntzan, Michoacán. (AutoCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.2.3. IDENTIFICACIÓN

Nombre del Puente: Puente Yahuario

Uso Original: Puente carretero

Uso actual: Puente Vehicular y peatonal

Época de construcción: Siglo XVIII

5.2.4. CARACTERÍSTICAS

Tipo de Fábrica: Sillería.

Fachada: Aparente

Muros: Piedra, Mampostería

Calzada: 4.80 m

Cubierta: Bóveda de cañón

Forma de cubierta: Abovedada, medio cañón

Niveles: 1

Otros elementos: Pisos de Piedra recubiertos con asfalto en la calzada

5.2.5. ASPECTOS LEGALES

Régimen de Propiedad: Municipal

5.2.6. DATOS HISTÓRICOS

Datos históricos (1. Orales 2. Documentales 3. Inscripciones) (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

3.- "SIENDO GOBERNADOR JOSEPH EN EL AÑO DE 1736 A COSTA DEL COMUNISE TINALIDO EN 15 DE JUNIO DE 1736 ÑS S.AL D. PHE ARID PAZCUAL CUCUAINES"- Hacia el (Norte) "REINANDO EL REY N.S.D. FERNANDO VI, 9.D.G SE RE EDIFICO ESTE PUENTE EN LA CIUDAD, DE TZINTZUNTAN"



Ilustración 150. Inscripciones en el puente Yahuario, Tzintzuntzan, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

1.- Arturo Rendón, 35 años; habitante de una de las casas adjuntas al puente, informa que tiene viviendo ahí toda su vida, comenta que el gavión de concreto se realizó en el año 2006 por las autoridades destinadas a obras públicas del municipio. Añade también que muchas de las restauraciones que tiene el puente han sido por los mismos habitantes de la zona, ya que a las autoridades no les interesa el estado en el que se encuentra dicho puente.



Ilustración 151. Propiedad del Sr. Arturo Rendón ubicada al pie del Puente Yahuario. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.2.7. OBSERVACIONES

5.2.7.1. EN EL EXTERIOR DEL PUENTE

- El inmueble se encuentra en la calle Victoria, esquina con la calle Álamo.
- Es un puente de uso Vehicular y Peatonal.
- A un costado del puente ya se han construido casas-habitación.



Ilustración 152. Calle victoria, camino que da a la calzada del puente Yahuario. Al fondo a la izquierda la calle Álamo. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El puente no tiene acceso fácil a la parte interior del mismo, debido a que la urbanización invadió las entradas principales al puente. Se tuvo que entrar por una de las casas aledañas construidas al pie de los cimientos del puente y así mismo se pudo observar tanto el deterioro del puente, como la basta contaminación del agua que pasa por el caudal y del entorno.



Ilustración 153. Casas aledañas construidas al pie de los estribos del puente, así como el inviable acceso al pie del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- En las paredes de las enjutas o tímpanos, presentan signos de vegetación.



Ilustración 154. Signos de Vegetación en las enjutas o tímpanos. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El cauce del puente está formado de roca basáltica.
- La calzada presenta signos de vegetación.



Ilustración 155. Signos de vegetación en la Calzada. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Contiene muro de gaviones en la parte interior del arco del puente del lado oriente, hecho con concreto por el departamento de obras públicas del municipio hace relativamente 10 años.



Ilustración 156. Gavión en el interior del arco realizado con concreto por el Dpto. De Obras Públicas del Mpio. De Tzintzuntzan. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.2.7.2. PROPIAS DEL PUENTE

- Se trata de un puente, cuyas características guardan: lomo de piedra que va saliendo de oriente y poniente, y lo flaquean dos pretilas laterales de mampostería de piedra con altura aproximada 1.45m, 8 m de longitud y 5m de ancho de calzada, el lomo curvo posa sobre un arco de medio punto que se abre en sentido norte-sur.
- El puente está compuesto de roca volcánica, basalto y laja en su mayoría.



Ilustración 157. Características principales del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El puente hasta la fecha se encuentra en uso, muchas de las partes que componen al puente ya han sido intervenidas con mortero, tabique y laja basáltica por los mismos habitantes; debido al constante derrumbamiento de los materiales granulares de fábrica con que está construido el puente.



Ilustración 158. Restauraciones realizadas al puente por los habitantes de la zona. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- La calzada del puente que generalmente estaba construida de material granular, ha sido cubierta por una capa de asfalto.



Ilustración 159. Capa de asfalto colocada sobre la calzada de material granular. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Cuenta con dos placas, una por pretil, en las que menciona el año de construcción, encargado de construcción y año de restauración.



Ilustración 160. Placas colocadas en el pretil del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El intradós del arco se encuentra en su mayoría con deterioro diferencial, costras y alveolización. Telarañas en su mayoría y musgo. Esta parte no ha sido alterada por los habitantes o algún departamento del municipio y presenta desprendimientos de piedra y arenización.



Ilustración 161. Manchas de humedad y Telarañas en el Gavión y en el Intradós del arco del Puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Todo el arco del puente se encuentra en su mayoría las juntas cerradas con hormigón.



Ilustración 162. Juntas de los arcos cerradas con hormigón. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Los muros del pretil han sido restaurados con mortero y pequeñas lajas de basalto.



Ilustración 163. Restauración del Muro del Pretil con lajas de basalto y mortero. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.2.8. NIVEL DE DAÑO

NIVEL DE DAÑO	NO. ASIGNADO
PESIMO ESTADO	4
MAL ESTADO	3
BUEN ESTADO	2
EXCELENTE ESTADO	1

Tabla 9. Referencia para asignación de valores a los niveles de daños. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES AL EXTERIOR DEL PUENTE YAHUARO EN EL MUNICIPIO DE TZINTZUNTZAN, MICHOACÁN	CAUCE DEL PUENTE	4			
	VEGETACIÓN EN EL PRETIL NORTE DEL PUENTE		3		
	VEGETACIÓN EN EL PRETIL SUR DEL PUENTE			2	
	VEGETACION EN LA CALZADA DEL PUENTE			2	
	ENCARPETADO DE ASFALTO EN LA CALZADA		3		
	CONTAMINACIÓN DEL INTRADÓS DEL PUENTE	4			

Tabla 10. Nivel de daño del estudio realizado para el exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
El área del cauce se encuentra muy contaminada por basura, ramas, etc. Se recomienda mantenimiento de limpieza.
Se encuentra en su mayoría invadido por vegetación instalada en la mampostería del muro. Se recomienda desplante.
No se encuentra tan invadido de vegetación. Se recomienda limpieza.
No se encuentra tan invadido de vegetación. Se recomienda limpieza.
Se encuentra con baches. Se recomienda levantar lo que queda de la carpeta asfáltica y colocar materiales de fábrica del puente.
Contiene telarañas y musgo, así como criptoflorescencias, deterioro diferencial y costras. Se recomienda limpieza, colocación de morteros con materiales de fábrica que componen al puente.
Nota. En general el exterior del puente se encuentra en mal estado. Necesita mantenimiento y reparaciones urgentes. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 11. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado al exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE YAHUARO, EN EL MUNICIPIO DE TZINTZUNTZAN, MICHOACÁN.	GAVIÓN DEL LADO ORIENTE DEL PUENTE				1
	GAVIÓN DEL LADO PONIENTE DEL PUENTE	4			
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO DEL PRETIL NORTE			2	
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO DEL PRETIL SUR		3		
	DESPRENDIMIENTOS EN EL INTRADÓS DEL PUENTE		3		
	INTRADÓS DEL PUENTE		3		
	JUNTAS DE LOS ARCOS DEL PUENTE		3		
	TAJAMARES			x	

Tabla 12. Nivel de daño del estudio realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
El gavión tiene menos de 10 años de construcción y es de hormigón con piedras colocadas tipo mampostería. Se recomienda limpieza.
El gavión no ha sido restaurado y se encuentra en deplorable estado, con musgo y en algunas partes arrastre de los materiales que lo conforman. Se recomienda un mortero que ayude a impedir la socavación y pérdida de material, así como limpieza del gavión.
En la parte superior derecha presenta disyunciones. Se recomienda desplante de la vegetación, así como reforzar con materiales de la fábrica del puente.
Se pueden notar algunas disyunciones y alveolización de otras tanto por la humedad o por las cargas en la parte superior. Se recomienda limpieza, reparación de las juntas y colocación de mortero para impedir la alveolización y arenización.
Contiene alveolización y arenización. Se recomienda limpieza, reparación con elementos de fábrica, así como colocación de mortero.
Contiene algunos desprendimientos de roca volcánica, así como alveolización de las mismas debido a la humedad, las cargas y la contaminación. Se recomienda reparación inmediata con elementos de fábrica, así como recubrimiento con mortero con base al INAH.
Algunas partes presentan pérdida de material en las juntas, otras ya no tienen adherencia debido a una ruptura presentada. Se recomienda limpieza, reparación y colocación de recubrimiento para impedir la arenización y alveolización.
No cuenta con tajamares. Sería recomendable colocar sistemas que ayudaran a disminuir las corrientes que provocan el arrastre de material.
Nota. En general las partes que conforman el puente se encuentra en mal estado. Necesita mantenimiento y reparaciones urgentes. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 13. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.3. PUENTE TIRIPETÍO



Ilustración 164. Puente Ubicado en la localidad de Tiripetío, en el Mpio. De Morelia, Mich.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.3.1. ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE

Tiripetío es una localidad del estado mexicano de Michoacán de Ocampo, localizado en el sur del municipio de Morelia. Se encuentra localizado en las coordenadas geográficas $19^{\circ}32'48''N$ $101^{\circ}20'54''O$ y tiene una altitud de 2 020 metros sobre el nivel del mar, se localiza en el extremo sur del municipio de Morelia, casi en los límites con el municipio de Acuitzio y a unos 25 kilómetros al suroeste de la capital del estado y cabecera municipal, la ciudad de Morelia, con la que se comunica a través de la Carretera Federal 14 hacia el noreste y hacia el suroeste con las ciudades de Pátzcuaro y Uruapan. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)



Ilustración 165. Localización de la localidad de Tiripetío en el Mpio. De Morelia en el estado de Michoacán, Méx. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



Como Tiripetío es una localidad del Mpio. De Morelia, se dará una pequeña reseña histórica de la Capital Michoacana.

Morelia (de 1545 a 1828, Valladolid, también conocida como Nueva Valladolid) es una ciudad mexicana, capital del estado de Michoacán de Ocampo y cabecera del municipio homónimo. La ciudad está situada en el valle de Guayangareo, formado por un repliegue del Eje Neovolcánico Transversal, en la región norte del estado, en el centro-occidente del país. (Arreola Cortés, 1991)

Morelia fue fundada el 18 de mayo de 1541 por Juan de Alvarado el viejo, Juan de Villaseñor y Luis de León Romano, por mandato del primer virrey de la Nueva España, Antonio de Mendoza y Pacheco. Su nombre en la época prehispánica fue Guayangareo, en la época virreinal primeramente recibió el nombre de Ciudad de Mechuacán, que cambió en 1545 por ciudad de Valladolid en honor a la ciudad homónima en España. En 1828 cambió de nombre por Morelia en honor al héroe de la independencia de México José María Morelos y Pavón, quien nació en esta ciudad.

El nombre original del lugar en época prehispánica fue Guayangareo, que significa "Loma Larga y Achatada". La localidad se llamó Ciudad de Mechuacán entre 1541 (año de la fundación española) y 1545. Desde el 6 de febrero de 1545 hasta el 11 de septiembre de 1828, la ciudad se denominó Valladolid, en recuerdo de la ciudad natal de don Antonio de Mendoza. Finalmente, el nombre de Morelia se empezó a aplicar a partir del 12 de septiembre de 1828, y deriva del apellido de Morelos quien fuera una de las figuras destacadas en la lucha de independencia de México, y oriundo de la ciudad. Su nombre en idioma purépecha actual es Uaianarhio, evolución del original y con idéntico significado. Los sobrenombres de Morelia son "La Ciudad de la Cantera Rosa", "La Ciudad de Las Puertas Abiertas", "La Rosa de los Vientos", "El Jardín de la Nueva España", y religiosamente es conocida como "Morelia del Sagrado Corazón de Jesús". (Arreola Cortés, 1991)

En el valle de Guayangareo aparecieron los primeros vestigios humanos hasta el siglo VII d.C. y han sido relacionados con la cultura teotihuacana; fueron localizados en las inmediaciones de la presa de Cointizio, así como también en la loma de Santa María. El lugar fue despoblado poco después y ocupado nuevamente hasta el establecimiento de los matlatzincas (segunda mitad del s. XV), quienes llegaron con el consentimiento de los gobernantes purépechas por su apoyo para combatir a los Tecos del actual territorio de Jalisco.

Cristóbal de Olid pasó por el lugar en 1522 cuando fue a sostener una entrevista pacífica con el gobernante purépecha, siendo la primera vez que un europeo visitaba el valle de Guayangareo. Entre 1525 y 1526, Gonzalo Gómez tomó posesión de terrenos pertenecientes al valle de Guayangareo. Entre 1530 y 1531 los franciscanos Antonio de Lisboa y Juan de San Miguel llegaron al lugar para

construir una capilla dedicada a San Francisco de Asís y el primitivo colegio de San Miguel Guayangareo, a fin de facilitar la evangelización de los naturales del lugar. En 1537 la reina Juana I de Castilla envió una real cédula para ordenar el establecimiento de una ciudad española en Michoacán que debería llevar por nombre "Valladolid".

El virrey Antonio de Mendoza conoció el valle de Guayangareo en 1540 y al año siguiente ordenó la fundación de una ciudad en el lugar, siendo ésta fundada, el miércoles 18 de mayo de 1541 a las 8 de la mañana por Alonso de Toledo, Juan de Alvarado el Viejo, Juan de Villaseñor y Luis de León Romano, bajo el nombre de "Ciudad de Mechuacán" y no "Valladolid", como había sido ordenado por la reina. Debido a disputas con la ciudad de Pátzcuaro, que entonces era capital de la provincia y también ostentaba el título de "Ciudad de Mechoacán", el nombre se cambió a Valladolid (6 de febrero de 1545) y se le concedió el título de ciudad. El escudo de armas le fue concedido en 1553. Entre 1575 y 1580 fueron trasladados los poderes e instituciones gubernamentales de Pátzcuaro hacia Valladolid, con lo que se aceleró su crecimiento durante el resto del período colonial. Durante la segunda mitad del siglo XVIII en esta ciudad nacieron o vivieron algunas de las figuras más importantes de la guerra de Independencia de México (Morelos, Josefa Ortiz de Domínguez, Iturbide e Hidalgo). (Arreola Cortés, 1991)

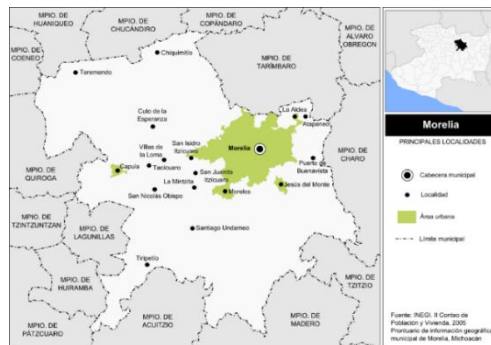


Ilustración 166. Principales localidades de Morelia, Mich. (*Morelia localidades.svg*, 2010)

Dentro de las localidades de las cuales conforma la Capital Michoacana se encuentran:

Cuto de la Esperanza, Chiquimitío, Jesús del Monte, Santiago Undameo, Tiripetío, Capula, la Mintzita, Morelos, Sn. Juanito Itzicuaró, Villas de la loma, entre otras.

La localidad de Tiripetío se localiza al Sur Oriente de la Capital Michoacana. A unos 25 km aproximadamente. Aquí es donde se localiza el puente en cuestión.



5.3.2. LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE

Estado: Michoacán de Ocampo

Municipio: Morelia

Localidad: Tiripetío

Otra localización: Crucero Carretera Morelia-Pátzcuaro- Acuitzio del Canje, sobre la ruta 53 (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

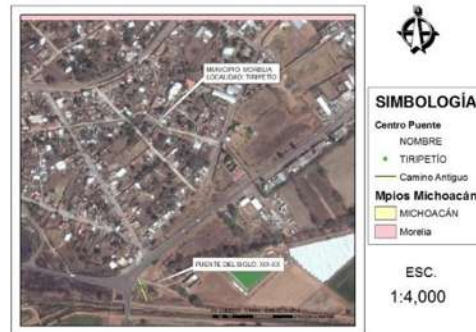


Ilustración 167. Ubicación vía GPS del Puente de Tiripetío. (ArcGis9. Versión ArcMap 9.3), (SAS.Planet.bin, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

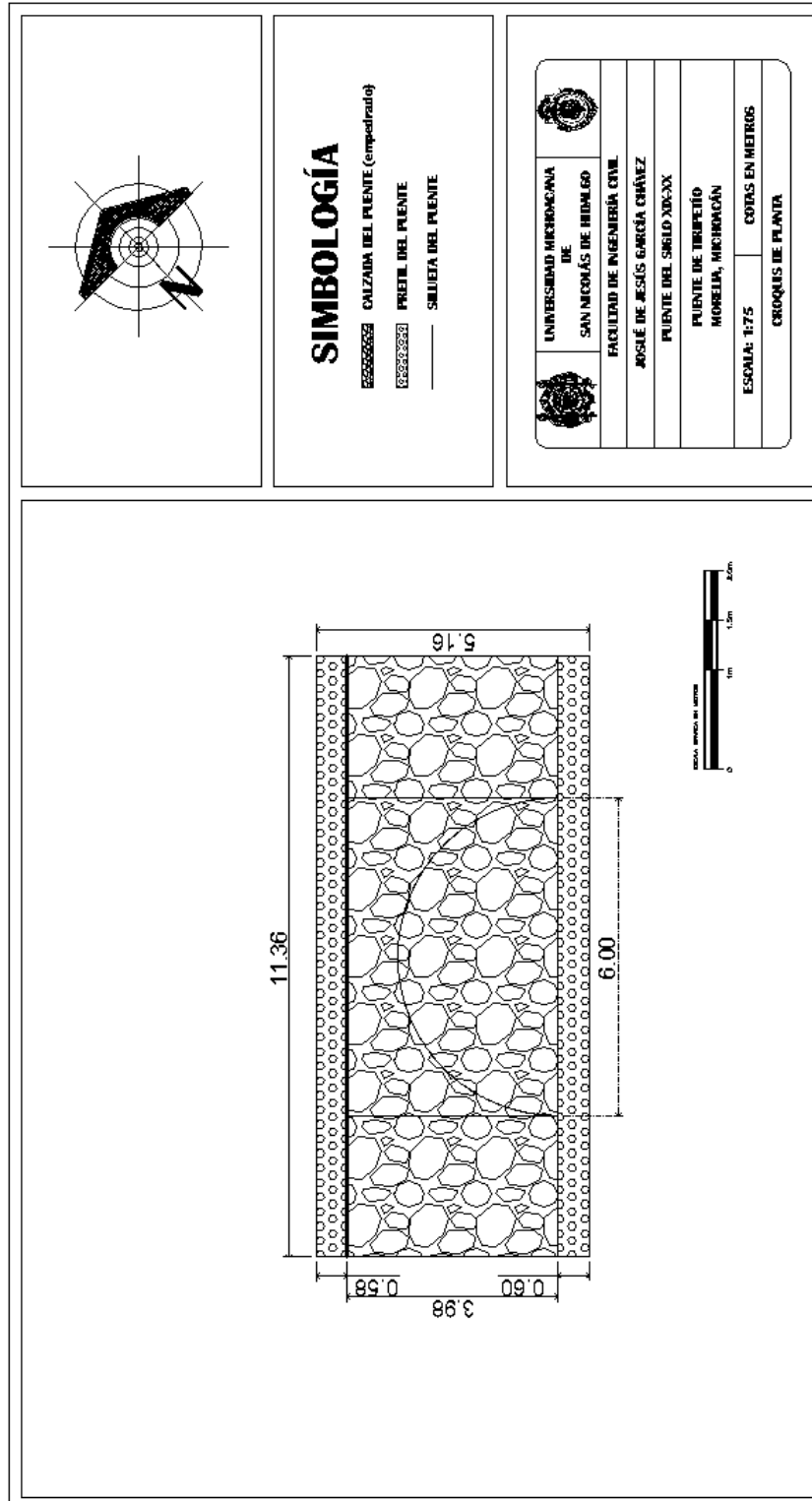


Ilustración 168. Croquis en planta del puente ubicado en la localidad de Tiripetío en Morelia, Michoacán. (AutoCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



5.3.3. IDENTIFICACIÓN

Nombre del conjunto: Hacienda de Coapa

Nombre del Puente: Sin nombre

Uso Original: Puente carretero

Uso actual: Sin Uso

Época de construcción: Siglo XIX-XX

5.3.4. CARACTERÍSTICAS

Tipo de Fábrica: Sillería y Basalto.

Fachada: Aparente

Muros: Mampostería de Piedra

Calzada: 3.98m

Cubierta: Piedra

Forma de cubierta: Abovedada

Niveles: 0

Otros elementos: Cuenta con 3 luminarias de las cuales solo 1 está completa.

5.3.5. ASPECTOS LEGALES

Régimen de Propiedad: Federal

5.3.6. DATOS HISTÓRICOS

Datos históricos (1. Orales 2. Documentales 3. Inscripciones) (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

5.3.7. OBSERVACIONES

5.3.7.1. EN EL EXTERIOR DEL PUENTE

- El puente está orientado de norte a sur y está ubicado en la parte oriente de la ex hacienda de Coapa.
- La calzada del puente se encuentra invadida de vegetación; al igual que el entorno en el que se encuentra el puente.



Ilustración 169. Vegetación en la calzada del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Los muros del pretil presentan vegetación.



Ilustración 170. Presencia de vegetación en el pretil del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El puente quedó asilado totalmente de toda vía de transporte vehicular o peatonal, al igual que de cualquier río o arroyo.



Ilustración 171. Aislamiento del Puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El fondo del puente está formado de rocas de río y vegetación.

5.3.7.2. PROPIAS DEL PUENTE

- Es de proporción rectangular y se conforma por un arco adovelado de cantera aparente.
- A pesar de la vegetación que invade totalmente toda la estructura del puente, se puede establecer que se encuentra en perfecto estado.



Ilustración 172. Características principales del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El arco interno del puente presenta signos de coloración debido a la humedad (ataque de sulfatos y criptoeflorescencias), así como desprendimiento de material granular que conforman al mismo. También presenta deterioro diferencial y pátinas.



Ilustración 173. Coloración, humedad y desprendimiento granular. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Los muros del pretil han sido intervenidos con juntas de laja tipo basalto y las juntas están adheridas con mortero.
- Las juntas de las dovelas están restauradas con mortero.



Ilustración 174. Juntas restauradas con mortero y laja basáltica. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.3.8. NIVEL DE DAÑO

NIVEL DE DAÑO	NO. ASIGNADO
PESIMO ESTADO	4
MAL ESTADO	3
BUEN ESTADO	2
EXCELENTE ESTADO	1

Tabla 14. Referencia para asignación de valores a los niveles de daños. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES AL EXTERIOR DEL PUENTE DE TIRIPETÍO, MORELIA, MICHOACÁN	CAUCE DEL PUENTE			x	
	VEGETACIÓN EN LOS PRETILES DEL LADO NORORIENTE DEL PUENTE			2	
	VEGETACIÓN EN LOS PRETILES DEL LADO NORPONIENTE DEL PUENTE			2	
	VEGETACION EN LA CALZADA DEL PUENTE	4			
	ENCARPETADO DE ASFALTO EN LA CALZADA			x	
	CONTAMINACIÓN DE LOS INTRADÓS DEL PUENTE			2	

Tabla 15. Nivel de daño del estudio realizado para el exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
No tiene cauce el puente, está aislado de cualquier río cercano. Se recomienda chaponear.
No se encuentran invadidos de vegetación. Se recomienda limpieza.
No se encuentran invadidos de vegetación. Se recomienda limpieza.
Se encuentra invadida de vegetación. Se recomienda chaponear y limpieza.
No es posible apreciar el daño debido a que está saturada de vegetación, el piso de la calzada es empedrado. Limpieza y verificar las condiciones en las que se encuentre la calzada una vez limpia.
Tienen coloración verdosa y púrpura; también presenta algunos alveolos. Se recomienda limpiar y cubrir con una capa de mortero con materiales de fábrica del puente para prevenir deterioros gravosos futuros.
Nota. En general el exterior del puente se encuentra en buen estado. Necesita mantenimiento de limpieza. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 16. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado al exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE DE TIRIPETÍO, MORELIA, MICHOACÁN	GAVIONES	x			
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO EN LOS PRETILES DEL LADO NORORIENTE				1
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO EN LOS PRETILES DE LADO NORPONIENTE				1
	DESPRENDIMIENTOS EN LOS ARCOS INTERIORES DEL PUENTE			2	
	INTRADOS DEL PUENTE		3		
	JUNTAS DE LOS ARCOS DEL PUENTE				1
	TAJAMARES	x			

Tabla 17. Nivel de daño del estudio realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
No cuenta con gaviones.
No presenta desprendimientos.
No presenta desprendimientos.
Presenta alveolización notoria en el tramo central del puente. Se recomienda verificar la causa y colocación de mortero con materiales de fábrica para una mejor conservación.
Presenta coloraciones, criptoeflorescencias y algunos desprendimientos de cantera. Se recomienda limpiar, verificar la causa principal de la coloración y atacarla mediante procesos avalados por el INAH.
Se encuentran totalmente cubiertas con mortero. Se recomienda verificar si es válido tener recubrimientos de ese mortero y si no, aplicar materiales de fábrica con morteros basados en el INAH.
No cuenta con tajamar.
Nota. En general las partes que conforman el puente se encuentra en buen estado. Necesita mantenimiento de limpieza. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH. ²⁵

Tabla 18. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

²⁵ Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas Artísticas e Históricas. La Normatividad para conservar y/o restaurar los puentes históricos es la misma que se aplica para los bienes inmuebles considerados patrimonio de la Nación. (CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN, 2015)

5.4. PUENTE CAVADAS, LA PIEDAD



Ilustración 175. Puente ubicado en el Mpio. De La Piedad, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.4.1. ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE

Se localiza al norte del Estado, en las coordenadas 20°21' de latitud norte y 102°02' de longitud oeste, a una altura de 1,680 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con los Estados de Jalisco y Guanajuato, al este con Numarán, al sur con Zináparo, Churintzio y Ecuandureo, y al oeste con Yurécuaro. (Inafed.gob, s.f.)

Encabeza la Zona Metropolitana Pénjamo-La Piedad situada entre los estados mexicanos de Guanajuato y Michoacán. (Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México, 2015)

Su distancia a la capital del estado es de 174 Km. por la autopista México-Guadalajara y de 183 Km. por la carretera federal 15 y 37 en sus tramos Morelia-Carapan-La Piedad. (Inafed.gob, s.f.)

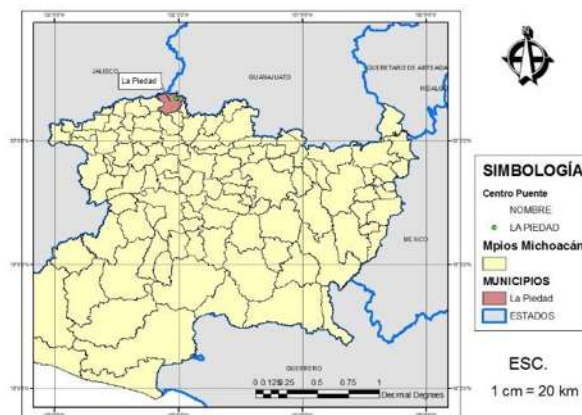


Ilustración 176. Localización del Mpio. De La Piedad en el estado de Michoacán, Méx. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



En el siglo XII de nuestra era y en su larga peregrinación los aztecas fundaron a lo largo del río Grande o Lerma el pueblo de Zula que significa "Lugar de codornices". (Galeon.com, s.f.)

En el año de 1380 las huestes de Tariácuri, rey de los purépechas conquistaron el pueblo y le pusieron el nombre de Aramutaro que significa lugar de cuevas. Y un 20 de enero pero de 1530, día de San Sebastián, las tropas de don Antonio de Villarreal, lugarteniente de Nuño de Guzmán tomaron posesión del lugar, al que llamaron San Sebastián de Aramutarillo.

De 1530 a 1687, el pueblo de San Sebastián vivió en el total olvido quedando sometido a la esclavitud y a la ignorancia; pero existieron dos hechos históricos que hicieron cambiar el rumbo de aquella aldea de chozas abandonadas, uno de carácter político-jurídico y otro de carácter religioso.

El hecho religioso se refiere al hallazgo de un madero en forma de Cristo crucificado durante la Noche Buena del año de 1687 en la Buena Huerta, al conocer el hallazgo, los pueblos aledaños solicitaron el traslado de dicha imagen a sus templos, tocándole en suerte en los tres sorteos realizados al pueblo más humilde, San Sebastián de Aramutarillo.

A partir de este suceso, el crucifijo recibió el nombre de 'Señor de La Piedad' en honor a los milagros atribuidos desde su hallazgo.

El segundo hecho histórico que cambió el panorama de Aramutarillo, fue el traslado de las autoridades políticas y judiciales de Tlazazalca a Aramutarillo, hecho que provocó que se fuera avocando algunos comerciantes, artesanos y gente de progreso, y es así como la formación del pueblo propiamente se realiza en 1692, siendo este año cuando Juan López de Aguirre pone el nombre de La Piedad al nuevo vecindario.

La Piedad se elevó a rango de municipio el 10 de diciembre de 1831, y por ley territorial el 27 de abril de 1861 se le denomina Villa de Rivas elevándola de categoría política. El 22 de noviembre de 1871 una vez más fue elevada a la categoría de ciudad, dándole el nombre de La Piedad de Cavadas, en honor a José María Cavadas y Dávalos, cura y benefactor del pueblo, quien vivió en esta ciudad del año de 1830 a 1835, y fue quien mandó construir el importante puente sobre el río Lerma y que también lleva su nombre, siendo este un punto vital del nutrido movimiento mercantil y agrícola. (El Piedadense, 2011)

Entre 1832 y 1833, se construyó el célebre puente Cavadas sobre el río Lerma, el que sirve de límite natural a Michoacán y Guanajuato. Esta construcción, fue impulsada por el párroco José María Cavadas y constituye un importante monumento de la población. (WordPress.com, 2009)

5.4.2. LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE

Estado: Michoacán de Ocampo

Municipio: La Piedad

Localidad: La Piedad de Cavadas

Colonia: Centro

Calle y Número: Calle Pedro Chavolla Eje Nte, Centro, 59300 La Piedad de Cavadas.

Otra localización: Al final de la Avenida Pedro Chavolla (Eje Norte) (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

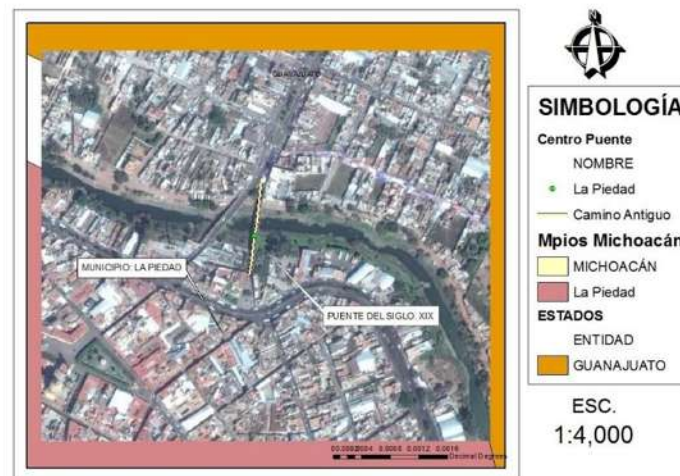


Ilustración 177. Ubicación vía GPS del Puente Cavadas. (ArcGis9. Versión ArcMap 9.3), (SAS.Planet.bin, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

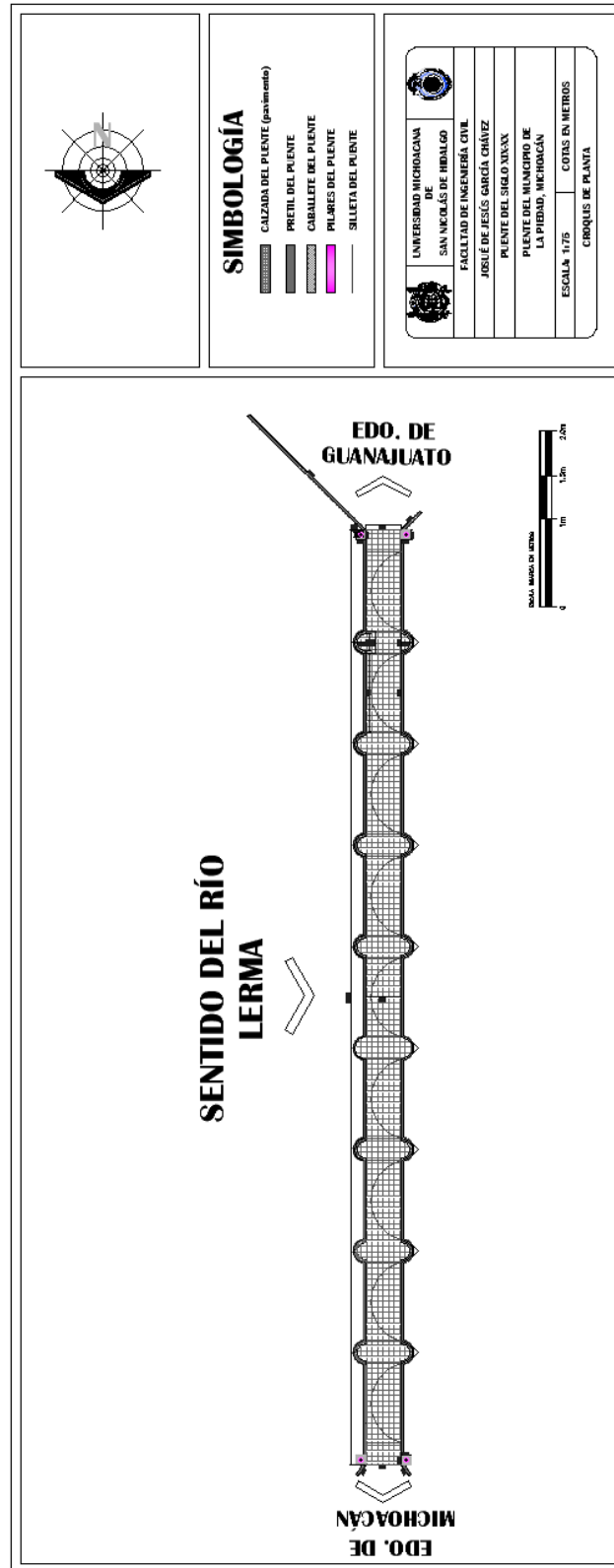


Ilustración 178. Croquis en planta del puente ubicado en el Municipio de La Piedad, Michoacán.
(AutoCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



5.4.3. IDENTIFICACIÓN

Nombre del Puente: Puente Cavadas

Uso Original: Puente carretero

Uso actual: Puente peatonal

Época de construcción: Siglo XIX

5.4.4. CARACTERÍSTICAS

Tipo de Fábrica: Sillería.

Fachada: Aparente

Muros: Cantería

Calzada: 4m

Cubiertas: Tipo Bóveda

Forma de cubiertas: Abovedadas, medios cañones

Niveles: 1

Otros elementos: Tajamar, apoyos semicirculares

5.4.5. ASPECTOS LEGALES

Régimen de Propiedad: Federal

5.4.6. DATOS HISTÓRICOS

Datos históricos (1. Orales 2. Documentales 3. Inscripciones) (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

1.- El puente actualmente es peatonal, solo hace algunos años era de paso vehicular, el cual causó severos daños. Por lo cual se decidió construir un nuevo puente para el paso vehicular. Toda la construcción es de cantería rosa de la región. Se recomienda mantenimiento mayor a esta obra de ingeniería de Don José María Cavadas, por ser un ícono, no solo de la piedad sino de los estados de Michoacán y Guanajuato.



Ilustración 179. Al fondo, Puente Vehicular construido para la conservación del Puente Cavadas. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

2.- El puente Cavadas se compone de nueve arcos de medio punto, en el extradós de estos y delimitando el puente a los costados aparece un muro o murete con caballete, entre cada arco aparece un apoyo semicircular, el cual tenía una doble función, como banca de descanso y como resguardo al paso de carretas; al inicio y al final del puente, aparecen dos basas de una altura aproximada de seis metros, soportando un jarrón decorado con guirnaldas y rematado por un flamero. Al lado poniente aparece un tajamar entre cada arco, en ambos costados sobresale del paramento de los contrafuertes semicirculares.



Ilustración 180. Caballete. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Los Caballetes o muretes con caballete tenían una doble función, como banca de descanso y como resguardo al paso de carretas.

2. La construcción de este puente data de 1832 a 1833. Según relata Fernando Tejeda Alvarado Historiador de la piedad, en aquellos años no existía un medio seguro de cruzar el río Lerma, y las personas que se atrevían a cruzar lo hacían por medio de canoas de madera, sin embargo; este sistema resultaba inseguro sobre todo en el tiempo de lluvias ya que los caudales de este derribaban las canoas ocasionando la muerte de los tripulantes. Relató el historiador que por medio de información heredada por personas de aquella época, según el sacerdote utilizó en lugar de agua leche de burra, huevos de gallina y argamasa para hacer la mezcla de los materiales requeridos y así esta fuera más fuerte y resistente. (Periódico Cambio de Michoacán, 2015)

5.4.7. OBSERVACIONES

5.4.7.1. EN EL EXTERIOR DEL PUENTE

- La zona urbana ha alcanzado a la estructura del puente, al pie de los estribos de ambos extremos del puente se puede observar invasión.



Ilustración 181. Mancha urbana alcanzada al pie de los estribos del Puente Cavadas. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Cuenta con seis luminarias las cuales le dan realce al puente al anochecer, colocadas estratégicamente al pie de la calzada.



Ilustración 182. Luminarias colocadas en el Puente para dar una mejor proyección de éste cuando anochece. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Al pie de los contrafuertes semicirculares o de los tajamares se encuentra bastante maleza.



Ilustración 183. Presencia de vegetación en los contrafuertes y tajamares. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El agua del cauce al parecer se encuentra contaminada, sin presencia de residuos sólidos.



Ilustración 184. Calidad del agua del cauce que transporta el río Lerma. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Cuenta con un muro de gavión en la parte sur del puente el cual se encuentra en buen estado.



Ilustración 185. Gavión al pie del estribo del Puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.4.7.2. PROPIAS DEL PUENTE

- El puente se compone de nueve arcos de medio punto.
- Cuenta con tajamares del lado Poniente del puente.



Ilustración 186. Características principales del Puente en Estudio. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Algunos tajamares están desmoronándose debido a la corriente de agua y presentan deterioro diferencial y costras.



Ilustración 187. Desmoronamiento en los Tajamares. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- En el intradós de los arcos del puente se presentan pequeñas fracturas longitudinales, así como pátinas y costras al igual que criptoeflorescencias y arenización.



Ilustración 188. Pátinas, costras, arenización y fracturas en el intradós de los arcos del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- En la parte de la calzada del puente podemos encontrar en los caballetes que se usan como bancas de descanso, daños antrópicos (rayones y grafitis), al igual que en algunos contrafuertes semicirculares.



Ilustración 189. Caballetes y Contrafuertes semicirculares con daños antrópicos. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- El puente en general ha sido intervenido con mortero, lajas de cantera y basalto acomodadas como mampostería.



Ilustración 190. Restauraciones al Puesto con mortero y/o cemento, lajas de cantera y basalto. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.4.8. NIVEL DE DAÑO

NIVEL DE DAÑO	NO. ASIGNADO
PESIMO ESTADO	4
MAL ESTADO	3
BUEN ESTADO	2
EXCELENTE ESTADO	1

Tabla 19. Referencia para asignación de valores a los niveles de daños. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES AL EXTERIOR DEL PUEBTO CABADAS EN EL MUNICIPIO DE LA PIEDAD, MICHOACÁN	CAUCE DEL PUEBTO			2	
	VEGETACIÓN EN LOS PRETILES DEL LADO ORIENTE DEL PUEBTO				1
	VEGETACIÓN EN LOS PRETILES DEL LADO PONIENTE DEL PUEBTO				1
	VEGETACIÓN EN LA CALZADA DEL PUEBTO				1
	ENCARPETADO DE ASFALTO EN LA CALZADA				1
	CONTAMINACIÓN EN EL INTRADÓS DEL PUEBTO			2	

Tabla 20. Nivel de daño del estudio realizado para el exterior del puebto. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
El cauce se encuentra libre de basura y vegetación.
No se encuentran invadidos de vegetación. Se recomienda inspección periódica.
No se encuentran invadidos de vegetación. Se recomienda inspección periódica.
No se encuentran invadidos de vegetación.
No tiene asfalto, es de cantera y se encuentra en perfectas condiciones.
Se presentan pátinas, costras, deterioro diferencial, así como presencia de telarañas y vegetación. Se recomienda limpieza, así como la aplicación de mortero o algún aditamento que ayude a corregir los factores causantes.
Nota. En general el exterior del puente se encuentra en excelente estado. Necesita mantenimiento de limpieza. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 21. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado al exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE CABADAS EN EL MUNICIPIO DE LA PIEDAD, MICHOACÁN	GAVIONES				1
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO DEL PRETIL ORIENTE				1
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO DEL PRETIL PONIENTE				1
	DESPRENDIMIENTOS EN EL INTRADÓS DEL PUENTE			2	
	PARTE INTERNA DEL PUENTE			2	
	JUNTAS DE LOS ARCOS DEL PUENTE				1
	TAJAMARES			2	

Tabla 22. Nivel de daño del estudio realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
Sólo presenta vegetación. Se recomienda limpieza.
No presenta desprendimientos.
No presenta desprendimientos.
Presenta alveolización y arenización de cantera en el intradós de la bóveda. Se recomienda la implementación de un mortero o algún aditamento que ayude a prevenir estos factores.
Cuenta con pequeñas fracturas longitudinales y desmoronamiento de cantera en el intradós de la bóveda. Se recomienda verificar el causante de las grietas y aplicar los respectivos procedimientos en base al INAH.
No presenta desprendimientos, ni problemas de adherencia.
Presentan desgaste por corriente de agua, musgo en el estribo. Se recomienda colocar algún elemento que disminuya el arrastre por la corriente de agua y limpieza del musgo.
Nota. En general las partes que conforman el puente se encuentra en excelente estado. Necesita mantenimiento de limpieza y reparación de fracturas. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 23. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.5. PUENTE URUAPAN DEL PROGRESO



Ilustración 191. Puente ubicado en el Mpio. De Uruapan del Progreso, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.5.1. ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE

Uruapan es la segunda ciudad más importante y poblada del Estado de Michoacán de Ocampo. Es la cabecera del municipio de Uruapan. Se considera también el punto de unión entre tierra caliente y la meseta Purépecha. Su nombre oficial es Uruapan del Progreso. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)

Su superficie es de 1014.34 km² y representa 1.62 por ciento del total del Estado.



Ilustración 192. Localización del Mpio. De Uruapan del Progreso en el estado de Michoacán, Méx. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

Uruapan proviene de la palabra tarasca "uruapani" y significa "el florecer y fructificar de una planta al mismo tiempo", por lo que se ha traducido como "lugar donde los árboles tienen siempre fruto".

Uruapan fue un pueblo prehispánico habitado principalmente por tarascos. (INAFED, s.f.) Uruapan fue importante señorío durante el periodo Prehispánico, tripartita de Pátzcuaro-Ihuatzio-Tzintzuntzan en el año de 1400, la ubicación del Uruapan Prehispánico se ubica donde actualmente es el barrio de la Magdalena. Uruapan fue el resguardo del último cazonci P'urhepecha, Tangaxoán II, razón por la cual los españoles llegaron al lugar en el año 1522 aproximadamente. La violencia que tuvo la incursión de los invasores en la región encabezados por Nuño de Guzmán, para encontrar al último rey P'urhepecha ocasionó que los nativos se dispersaran y se alejaran de los centros urbanos. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)

El 25 de agosto de 1524 fue entregado en encomienda a Don Francisco de Villegas. Posteriormente fue evangelizado por los franciscanos, considerándose a Fray Juan de San Miguel, fundador de la ciudad, por su obra urbanística iniciada en 1534. En 1540 se establece como República de Indios. (INAFED, s.f.)

5.5.2. LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE

Estado: Michoacán de Ocampo

Municipio: Uruapan

Localidad: Uruapan del Progreso

Colonia: Centro

Calle y Número: Cupatitzio s/n

Otra localización: Salvando el cauce del río Cupatitzio (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)



Ilustración 193. Localización vía GPS del Puente. (ArcGis9. Versión ArcMap 9.3), (SAS.Planet.bin, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



5.5.3. IDENTIFICACIÓN

Tipo de Fábrica: Sillería y Basalto

Uso Original: Puente carretero

Uso actual: Puente Vehicular y peatonal

Época de construcción: Siglo XIX-XX

5.5.4. CARACTERÍSTICAS

Fachada: Aplanado, aparente

Muros: Piedra

Ancho de los muros: 0.60m

Calzada: 7.95m

Cubiertas: Tipo Bóveda

Forma de cubiertas: Abovedadas, arcos de medio punto

Niveles: 1

Otros elementos: Muro de gaviones para proteger tubería de desechos residuales, carpeta asfáltica en la calzada. También cuenta con Tajamares y apoyos semicirculares.

5.5.5. ASPECTOS LEGALES

Régimen de Propiedad: Municipal

5.5.6. DATOS HISTÓRICOS

Datos históricos (1. Orales 2. Documentales 3. Inscripciones) (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

5.5.7. OBSERVACIONES

5.5.7.1. EN EL EXTERIOR DEL PUENTE

- El puente se encuentra actualmente en funcionamiento como paso vehicular y peatonal, ya que es una de las salidas al municipio hacia San Juan Nuevo.



Ilustración 195. Puente Peatonal y Vehicular. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- La zona urbana ha alcanzado a la estructura del puente. Al pie de los estribos de ambos extremos del puente se puede observar invasión.



Ilustración 196. Invasión del puente por la mancha urbana. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- No hay acceso a la parte Sur poniente del puente debido a la basta maleza con la que está invadida.



Ilustración 197. Exceso de vegetación en la zona sur Poniente del puente. Imposible el acceso.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- La parte Sur Oriente no cuenta con tanta maleza como la Poniente pero aun así, necesita limpieza urgente.



Ilustración 198. Vegetación en la zona sur Oriente del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Los pretilos del puente presentan bastante vegetación así como musgo y desprendimientos de aplanado.



Ilustración 199. Musgo y desprendimiento de aplanado en el puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Algunas de las enjutas o tímpanos presentan daños antrópicos, así como también algunas dovelas de la parte Sur poniente del puente.



Ilustración 200. Grafitis en las dovelas y enjutas del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.5.7.2. PROPIAS DEL PUENTE

- El puente se encuentra soportado por tres arcos de medio punto realizados en piedra y ladrillo, el arco central se encuentra flaqueado por un par de pilastras con tajamar, en la parte superior cuenta con un par de pilastras de sección rectangular en cada uno de sus extremos realizadas en cantería aparente con una columna adosada a medio fuste²⁶ hacia sus caras oriente y poniente en dirección del río, presentan base rectangular, fuste liso y capitel moldurado, a lo largo del puente y en cada uno de sus extremos presenta una barandilla contemporánea que conserva un par de balaustres realizados en fierro vaciado y decorado con adornos florales, ovos y flechas, se encuentran desplantados sobre basamentos rectangulares.



Ilustración 201. Balaustres del Puente realizados en fierro vaciado y decorado con adornos florales. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

²⁶ Fuste.- Parte de la columna que tiene forma de cilindro alargado y está comprendida entre la basa y el capitel. (Farlex, Inc, 2016)

- Los costados del puente sobre la arcada²⁷ presenta desprendimiento de aplanado, las pilastras²⁸ presentan exfoliación de cantería, humedades, fisuras y faltante de elementos.



Ilustración 202. Pilastras de cantería, con exfoliación y faltante de elementos que la componen. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- La calzada se encuentra en malas condiciones, con baches, desprendimientos de la carpeta asfáltica y agrietamientos en la misma.



Ilustración 203. Calzada del Puente con agrietamientos y desprendimientos de la carpeta asfáltica. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Las banquetas de concreto en la calzada se encuentran en condiciones deplorables.

²⁷ Arcada.- Serie de arcos apoyados sobre pilastras o columnas. (wordreference.com, 2016)

²⁸ Pilastra.- Es un pilar o columna adosada a un muro o pared. Su función puede ser estructural, sosteniendo techo, tejado, entablamento, moldura, o meramente decorativa. (ARQHYS.com., 2016)



Ilustración 204. Banquetas en pésimas condiciones. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Los bordes en las calzadas se encuentran con desmoronamiento, dejándose ver algunos elementos como varilla, agregados pétreos.



Ilustración 205. Desmoronamiento de los bordes de la calzada. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Algunas de las piezas de las pilastras han sido restauradas con mortero, al igual que las dovelas de los arcos. Aun así muchas de las piezas muestran problemas de adherencia.



Ilustración 206. Pilastras y dovelas con problemas de adherencia. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Algunos elementos como las enjutas han sido restauradas con roca basáltica, laja de roca basáltica, mortero y aplanado de mortero.



Ilustración 207. Enjutas restauradas con mortero y roca basáltica y/o volcánica. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- En el intradós de los arcos se puede observar la contaminación de los mismos, con telarañas, musgo, exfoliación, criptoflorescencias y alveolos en las canteras que conforman a los arcos.



Ilustración 208. Intradós de los arcos contaminados con telarañas, presencia de costras, deterioro diferencial, alveolos, exfoliación, criptoflorescencias y desprendimiento de las canteras. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Los tajamares se encuentran con desprendimiento de aplanado, así como contaminados por la vegetación (invadidos de musgo), desmoronamiento de material granular y eflorescencias.



Ilustración 209. Tajamares con invasión de vegetación, desmoronamiento de material y eflorescencias. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.5.8. NIVEL DE DAÑO

NIVEL DE DAÑO	NO. ASIGNADO
PESIMO ESTADO	4
MAL ESTADO	3
BUEN ESTADO	2
EXCELENTE ESTADO	1

Tabla 24. Referencia para asignación de valores a los niveles de daños. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES AL EXTERIOR DEL PUENTE EN EL MUNICIPIO DE URUAPAN DEL PROGRESO, MICHOACÁN	CAUCE DEL PUENTE				1
	VEGETACIÓN EN LOS PRETILES DEL LADO SUR ORIENTE DEL PUENTE			2	
	VEGETACIÓN EN LOS PRETILES DEL LADO SUR PONIENTE DEL PUENTE			2	
	VEGETACION EN LA CALZADA DEL PUENTE			2	
	ENCARPETADO DE ASFALTO EN LA CALZADA		3		
	CONTAMINACIÓN DEL INTRADÓS DEL PUENTE		3		

Tabla 25. Nivel de daño del estudio realizado para el exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
No tiene contaminación el río, sólo vegetación abundante. Se recomienda limpieza.
Presenta vegetación pero no en exceso. Se recomienda limpieza.
Presenta vegetación pero no en exceso. Se recomienda limpieza.
Presenta poca vegetación. Se recomienda limpieza.
Presenta desprendimiento de carpeta asfáltica, baches y fracturas, así como también desmoronamientos en las banquetas. Se recomienda restaurar la carpeta, o de lo contrario levantarla y colocar materiales de fábrica.
Contiene telarañas, musgo, costras, criptoflorescencias y alveolización en el intradós. Se recomienda limpieza y uso de materiales que impidan la aceleración de estos factores.
Nota. En general el exterior del puente se encuentra en buen estado. Necesita mantenimiento de limpieza, reparaciones en la calzada y en el intradós de los arcos. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 26. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado al exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE EN EL MUNICIPIO DE URUAPAN DEL PROGRESO, MICHOACÁN	GAVIONES			2	
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO DEL PRETIL SUR ORIENTE		3		
	DESPRENDIMIENTOS DE MURO DEL PRETIL SUR PONIENTE		3		
	DESPRENDIMIENTOS EN EL INTRADÓS DEL PUENTE			2	
	INTRADÓS DEL PUENTE		3		
	JUNTAS DE LOS ARCOS DEL PUENTE		3		
	TAJAMARES	4			

Tabla 27. Nivel de daño del estudio realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
Los gaviones que tiene son ajenos al puente y presentan desmoronamiento. Se recomienda reconstrucción y limpieza.
Presentan desprendimiento de aplanado, disyunciones, así como exfoliación de las piedras que conforman a las enjutas. Se recomienda restauración con morteros de fábrica, así como limpieza.
Presentan desprendimiento de aplanado, disyunciones, así como exfoliación de las piedras que conforman a las enjutas. Se recomienda restauración con morteros de fábrica y limpieza.
Presentan alveolización y exfoliación en el intradós del arco. Se recomienda limpieza y aplicación de morteros o adiciones que ayuden a combatir estos agentes.
Se encuentra llena de telarañas, musgo y costras, al igual que alveolos en el intradós del arco. Limpieza y restauración con adiciones basadas en métodos correctivos del INAH.
Desprendimientos de juntas entre dovelas, arenización de algunas piezas del intradós. Se recomienda restauración de piezas en el intradós del puente, así como colocación de adiciones que ayuden a combatir la arenización.
Se encuentran invadidos de musgo y vegetación en su mayoría, desprendimiento de aplanado de mortero, desmoronamiento de algunas piezas, así como eflorescencias y costras. Se recomienda limpieza, restauración de mortero de fábrica y aplicación de adiciones que ayuden a combatir las costras por medio de métodos establecidos por el INAH.
Nota. En general las partes que conforman el puente se encuentra en mal estado. Necesita mantenimiento de limpieza, reparaciones en la calzada, en el intradós de los arcos, en los tajamares, las juntas de los puentes y en las enjutas. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos del INAH.

Tabla 28. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.6. PUENTE DE SANTA FE DEL RÍO, PENJAMILLO



Ilustración 210. Puente ubicado en el Mpio. De Penjamillo, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.6.1. ANTECEDENTES DE LA LOCALIDAD EN LA QUE SE UBICA EL PUENTE

Penjamillo: "lugar de sabinos".

Se fundó por merced de tierras, concedida a los naturales²⁹ por el virrey Don Luis de Velasco en 1560. Durante esta época, se establecieron varias haciendas de labor, que absorbieron la mano de obra de los naturales y constituyeron uno de los principales centros productivos agrícolas de la provincia de Michoacán.

En la época colonial, Penjamillo era una congregación de naturales, que tenían en posesión algunos terrenos, al lado de los cuales había grandes haciendas pertenecientes a familias españolas.

Este municipio se localiza al norte del Estado, a una altura de 1,700 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el Estado de Guanajuato, además con los municipios de Angamacutiro, Panindícuaro, Zacapu, Tlazazalca, Churintzio, Zináparo y Numarán. Su distancia a la capital del Estado es de 154 Km. Por la autopista México-Guadalajara.

Este municipio tiene una superficie territorial de 371.57 Km².

Penjamillo es la cabecera municipal, tenencia de Ziquítaro, **tenencia de Santa Fe del Río**, Ancihuacuaro, Guándaro, La Luz, Tirimacuaro, San Antonio Carupo y Patambarillo.

Está comunicado a la capital del estado por las carreteras federales 15 y 37, en sus tramos Morelia-Zamora y Carapan-La Piedad, con desviación en la carretera estatal

²⁹ Natural.- Nativo de un lugar. (Real Academia Española, 2016)

Zináparo-Penjamillo. La intercomunicación con sus comunidades se realiza por una red de caminos de terracería. (Wordpress.com, 2010)

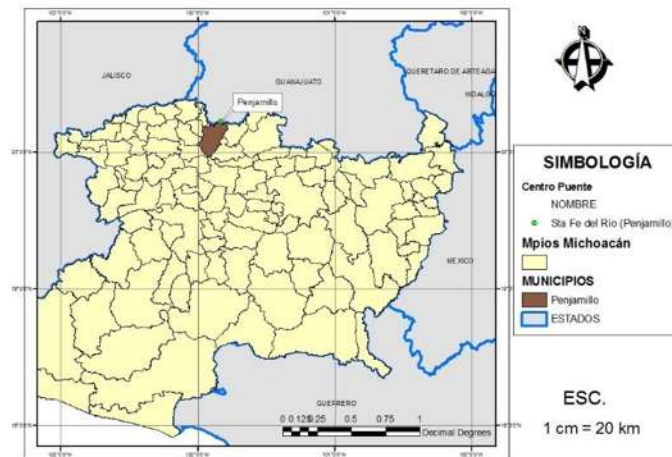


Ilustración 211. Localización del Mpio. De Penjamillo en el estado de Michoacán, Méx. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.6.2. LOCALIZACIÓN Y CROQUIS DE PLANTA DEL PUENTE

Estado: Michoacán de Ocampo

Municipio: Penjamillo

Localidad: Santa Fe del Río

Otra localización: Camino Santa Fe del Río, San Marcos Guanajuato (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

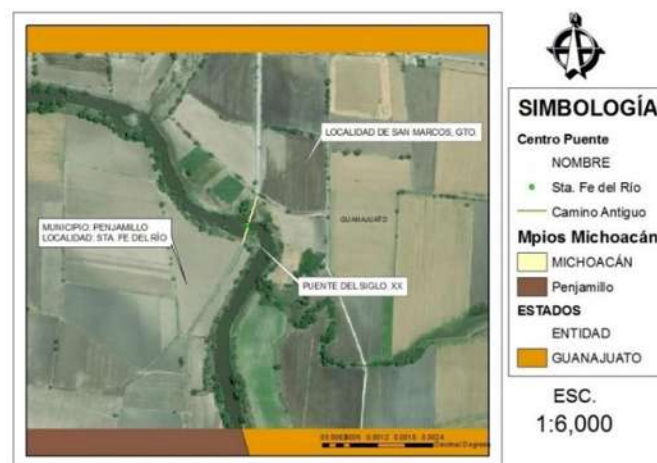


Ilustración 212. Ubicación del Puente vía GPS. (ArcGis9. Versión ArcMap 9.3), (SAS.Planet.bin, 2016) y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

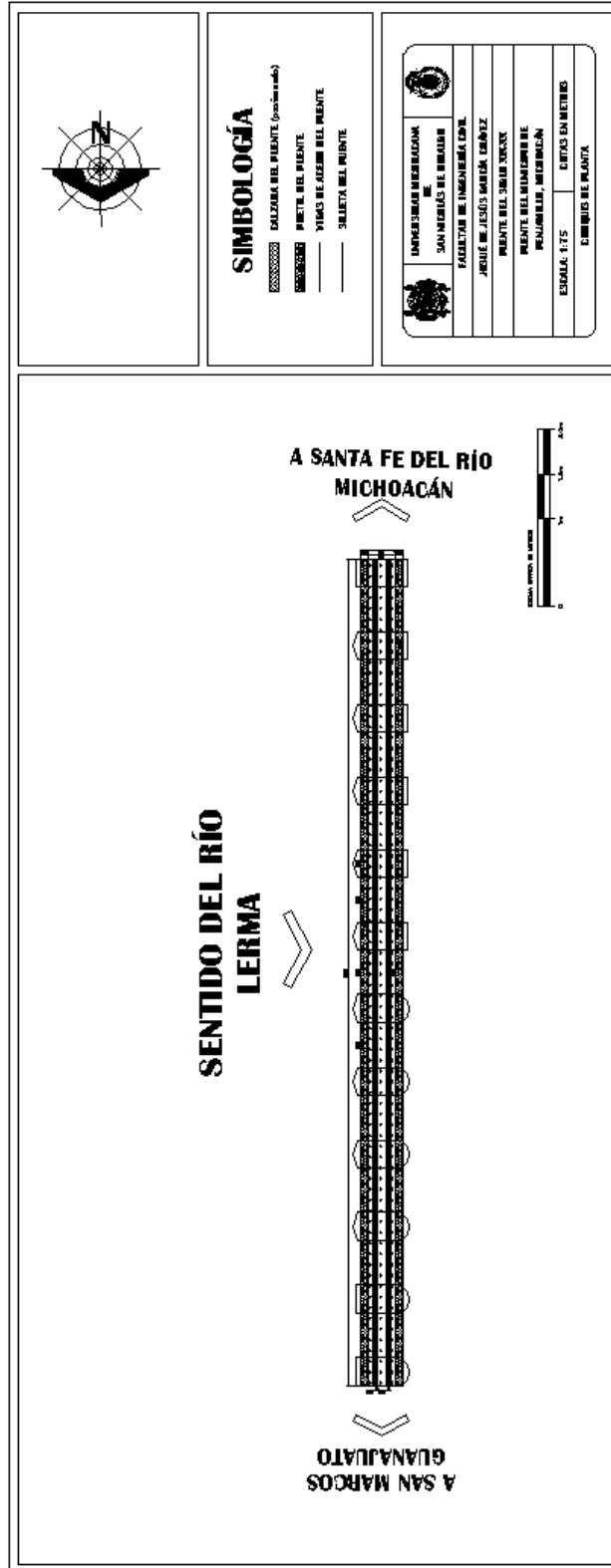


Ilustración 213. Croquis en planta del puente ubicado en el Municipio de Penjamillo, Michoacán.
(AutoCAD2014, 2016) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



5.6.3. IDENTIFICACIÓN

Nombre del Puente: Puente Maldonado

Uso Original: Puente carretero

Uso actual: Puente Vehicular y peatonal

Época de construcción: Siglo XX

5.6.4. CARACTERÍSTICAS

Tipo de Fábrica: Hormigón en masa y Sillería

Muros: Cantería

Ancho de muros: 2.40m

Calzada: 3m

Cubierta: Tipo cajón

Forma de cubierta: Cajonada

Niveles: 1

5.6.5. ASPECTOS LEGALES

Régimen de Propiedad: Federal

5.6.6. DATOS HISTÓRICOS

Datos históricos (1. Orales 2. Documentales 3. Inscripciones) (Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH), 2005)

1.- El Señor Camilo González de 70 años de edad, así como Don José Bernal de 65 años, nos dieron a conocer que el puente inicialmente empezó su construcción en el año de 1959, los materiales con que se comenzó la construcción eran transportados con animales de carga (asnos y mulas). Una vez terminado el puente unos años más tarde, el río Lerma tuvo una creciente nunca antes vista, se llevó a su paso algunas guarniciones que conformaban a las pilastras de cantería. Así que; se tuvieron que restaurar, con la diferencia de que el diseño final no fue de la misma forma en que se había terminado originalmente. Nos comentan que el puente es la única comunicación cercana que se tienen para llegar a la localidad de San Marcos y, que el puente se encuentran en condiciones deplorables.

5.6.7. OBSERVACIONES

5.6.7.1. EN EL EXTERIOR DEL PUENTE

- Se ubica sobre el río Lerma, en el camino que conduce a Santa Fe del Río, Michoacán, a la localidad de San Marcos, Guanajuato.

- El río se encuentra en deplorables condiciones, al igual que la fauna que habita en él.



Ilustración 214. Condiciones del Puente y Fauna que habita en el Río Lerma cerca del Puente.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- La calzada del puente se encuentra en pésimas condiciones.



Ilustración 215. Condiciones de la calzada del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- La vegetación a lo largo del puente es muy abundante al igual que muchos elementos del mismo.



Ilustración 216. Signos de Vegetación presentes al contorno del Puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Necesita urgentemente un parapeto para proteger a los peatones y vehículos de posibles caídas al cauce del río Lerma.



Ilustración 217. Falta de Parapeto para protección de usuarios. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- En las guarniciones que se encuentran en la calzada, algunas varillas se dejan ver debido al descubierto de la capa de concreto que las conforma. Así como las fracturas y hundimiento de las placas que conforman la guarnición de la calzada.



Ilustración 218. Condiciones de las Guarniciones de la calzada, así como las condiciones de las capas de concreto que las conforman. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

5.6.7.2. PROPIAS DEL PUENTE

- Tiene Aproximadamente cinco metros de ancho por cien metros de largo y es soportado por doce pilares de mampostería ciclópea³⁰, de cantería rosa con juntas de lajas y argamasa.³¹



Ilustración 219. Características del Puente de Penjamillo. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- La estructura es de concreto y ha sido reforzada con 6 viguetas de acero de aproximadamente 15cm de grosor cada una.



Ilustración 220. Viguetas de acero que conforman la estructura del Puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- A cada lado corre un guarnición de cantería de aproximadamente 90 cm de ancho y 20 cm de alto.

³⁰ **Ciclópea.**- [construcción antigua] La construcción ciclópea es la que utiliza solamente piedra en el proceso constructivo, o sea, no hace uso de ningún tipo de argamasa. (ARQHYS Arquitectura, 2016)

³¹ **Argamasa.**- Mezcla de diversos materiales, como arena, cal y agua que tiene como objetivo unir piezas o ladrillos en obras de albañilería. (EcuRed, 2016)



Ilustración 221. Guarnición o banqueta de 90cm de ancho. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Cuenta con seis pilastras o contrafuertes semicirculares al norponiente del puente, mientras que los otros seis del sur poniente son de forma rectangular.



Ilustración 222. A la izquierda Soportes o Pilastras en forma semicircular. A la derecha Pilastras rectas. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Al pie de los estribos, se encuentran guarniciones elaboradas con material granular.



Ilustración 223. Guarniciones elaboradas con mampostería en los extremos del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Los pilares del puente están conformados por mampostería recubierta con concreto.



Ilustración 224. Pilares del puente con recubrimiento de concreto. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- Las vigas que tiene en la parte inferior de la calzada del puente, están expuestas al aire libre por lo que se encuentran en su mayoría corroídas.



Ilustración 225. Vigas corroídas debido a la exposición a la intemperie. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

- La calzada por la parte inferior del puente se encuentra llena de fisuras, así como deformaciones por las mismas cargas de los vehículos que transitan en la parte superior de la calzada. También presentan exfoliación y desprendimientos de materiales granulares.



Ilustración 226. A la izquierda. Deformaciones en la calzada debido a las cargas de los vehículos. A la derecha. Fisuras y exfoliación de la parte inferior de la calzada del Puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



5.6.8. NIVEL DE DAÑO

NIVEL DE DAÑO	NO. ASIGNADO
PESIMO ESTADO	4
MAL ESTADO	3
BUEN ESTADO	2
EXCELENTE ESTADO	1

Tabla 29. Referencia para asignación de valores a los niveles de daños. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES AL EXTERIOR DEL PUENTE EN EL MUNICIPIO DE PENJAMILLO, MICHOACÁN.	CAUCE DEL PUENTE	4			
	VEGETACIÓN EN EL PRETIL ORIENTE DEL PUENTE			2	
	VEGETACIÓN EN EL PRETIL PONIENTE DEL PUENTE		3		
	VEGETACION EN LA CALZADA DEL PUENTE			2	
	ENCARPETADO DE ASFALTO EN LA CALZADA	4			
	CONTAMINACIÓN DEL INTERIOR DEL PUENTE			X	

Tabla 30. Nivel de daño del estudio realizado para el exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
Presenta demasiada contaminación del caudal, así como vegetación abundante. La Fauna que habita en él se encuentra en pésimas condiciones. Se recomienda limpieza del caudal, acción por parte de la organización encargada de la fauna de la entidad, chaponeo y retiro de troncos que debilitan a la estructura.
No presenta en demasía la presencia de vegetación. Se recomienda limpieza.
Presenta vegetación en las columnas cilíndricas. Se recomienda limpieza.
Presenta poca vegetación en las guarniciones por donde transitan los peatones. Se recomienda limpieza.
Presenta deformaciones, agrietamientos, fallas longitudinales y transversales, así como contaminación por arcillas en la calzada. Se recomienda reencarpamiento, o dar limpieza y mantenimiento cubriendo los baches existentes.
No cuenta con arcos. Las vigas de acero que se sitúan en la parte inferior de la calzada presentan corrosión. Se recomienda adición de pintura anticorrosiva y limpieza.
Nota. En general el exterior del puente se encuentra en pésimo estado. Necesita mantenimiento de limpieza, reparaciones en la calzada y la instalación de un parapeto para los peatones. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticos e históricos del INAH.

Tabla 31. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado al exterior del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE DAÑO			
		Pésimo Estado	Mal Estado	Buen Estado	Excelente Estado
CONDICIONES PROPIAS DEL PUENTE EN EL MUNICIPIO DE PENJAMILLO, MICHOACÁN.	GAVIONES		3		
	DESPRENDIMIENTOS DEL MURO DEL PRETIL ORIENTE		3		
	DESPRENDIMIENTOS DEL MURO DEL PRETIL PONIENTE		3		
	DESPRENDIMIENTOS DE LOS ARCOS INTERIORES DEL PUENTE			X	
	PARTE INTERNA DEL PUENTE		3		
	JUNTAS DEL PUENTE			X	
	TAJAMARES			2	

Tabla 32. Nivel de daño del estudio realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
Presentan desmoronamiento de material granular, así como alveolización. Se recomienda Restauración de los gaviones, y aplicación de adiciones que ayuden a combatir el desmoronamiento o arrastre de material.
Presenta pocos desprendimientos, exfoliación y hundimientos en las losas destinadas a guarnición. Se recomienda nivelación de losas, limpieza y aplicación de mortero que ayude a combatir los desprendimientos.
Presenta pocos desprendimientos, exfoliación y hundimientos en las losas destinadas a guarnición. Se recomienda nivelación de losas, limpieza y aplicación de mortero que ayude a combatir los desprendimientos.
No cuenta con arcos. Se recomienda limpieza, restauración de la parte interna del puente.
La parte interna presenta deformaciones, fracturas longitudinales, despostillamiento de aplanado. Se recomienda analizar a fondo el factor causante de las grietas, colocación de mortero o alguna adición que ayude a cubrir el despostillamiento en base al INAH.
No presenta juntas ya que no es de mampostería.
Presentan poco desmoronamiento y costras en la parte donde se encuentra en presencia con el cauce. Se recomienda limpieza y aplicación de mortero de fábrica.
Nota. En general las partes que conforman el puente se encuentra en mal estado. Necesita mantenimiento de limpieza, reparaciones en la calzada, en la parte interna de la calzada, los gaviones y sobre todo en las vigas corroídas que le dan sostenimiento al puente en sí. Cualquier reparación realizarla en base a la Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticos e históricos del INAH.

Tabla 33. Observaciones del estudio de nivel de daño realizado a las condiciones propias del puente. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



6. CAMINOS DE MICHOACÁN Y SU RELACIÓN CON LA VÍA SECUNDARIA DEL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO

Desde el siglo XVI se había conformado una infraestructura caminera en el país, en cierto sentido, como consecuencia del desarrollo económico. La ciudad de México era el punto nodal, por ella pasaba el eje interoceánico Veracruz-Acapulco. De ella partía el más largo de los caminos carreteros, el de "tierra adentro" hacia las tierras del septentrión español. Ya directamente, por medio de ramificaciones, la capital del Virreinato estaba comunicada con las capitales y ciudades principales de las intendencias.

El sistema caminero novohispano, comunicaba en lo fundamental todos los centros principales de las actividades socio-económicas. Con estos caminos se consolidaron regiones geoeconómicas en torno a las minas y a las ciudades principales. Así como las regiones agrícolas que producían los alimentos para sostener a la población de las minas.

Dentro de esta red de caminos nos encontramos con Valladolid de Michoacán. Era considerada una de las capitales que formaban parte de las regiones agrícolas que producían alimentos para sostener a la población de las minas de Guanajuato, Zacatecas, Querétaro, por mencionar algunas.

Para llegar del punto nodal que era México a Valladolid de Michoacán podía irse por dos rutas diferentes:

1° Partiendo de la capital a Cuajimalpa, Lerma, Toluca, Ixtlahuaca, San Felipe del Obraje, Hacienda de Tepetongo, Maravatío, Ucareo Zinapécuaro, Queréndaro, Indaparapeo, Charo.

2° De México a Querétaro, pasando por Celaya, Tarimoro, Acambaro, Indaparapeo, Charo, Valladolid.

De Valladolid había ruta a Colima: Por Pátzcuaro, Zamora, Jiquilpan y Zapotlán El Grande.

De Valladolid partía otro camino hacia Querétaro: Por Acambaro, Xerécuaro, El Fresno, La Barranca y El Batán.

De Valladolid a Guanajuato: Tarímbaro, Copándaro, Cuitzeo, Uriangato, Valle de Santiago, Salamanca, Irapuato, Marfil. (Universidad Marista de Querétaro AC)

A continuación se dará a conocer por medio de planos de georreferenciación, un inventario de la infraestructura caminera actual de Michoacán tomando como base para sus trazos, la localización georreferenciada de los puentes virreinales de

estudio, así como la infraestructura caminera antigua y la posible conexión entre estas dos.

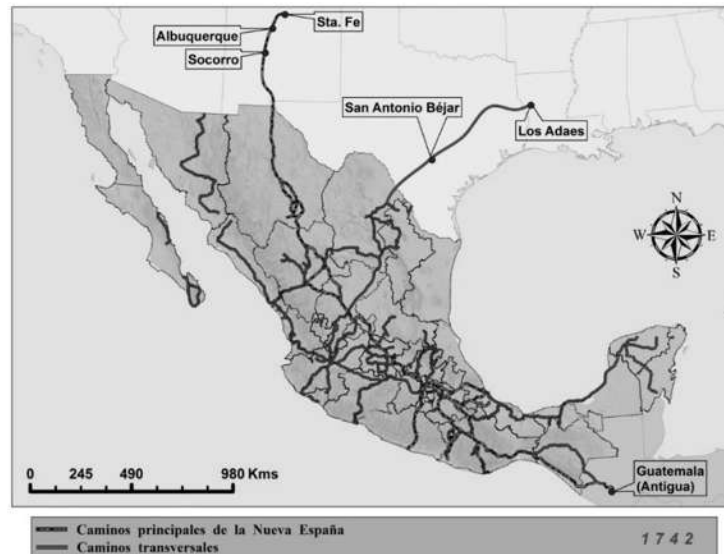


Ilustración 227. Caminos Principales y Transversales de la Nueva España. (Bustamante Altamirano)

El mapa (ilustración 258) representa las rutas más importantes que nuestro país tenía durante la época de la colonia. En esta representación cartográfica se muestran los dos tipos de caminos más importantes que existieron durante esa época: Reales y Transversales. (Universidad Marista de Querétaro AC)

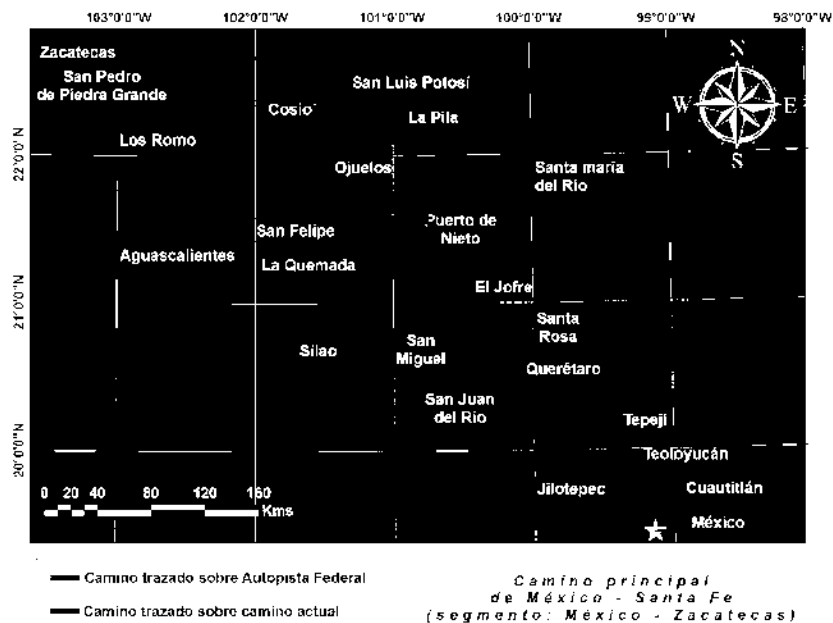


Ilustración 228. Rutas trazadas sobre autopistas y caminos actuales al Nort-orient de Michoacán. En el segmento México-Zacatecas. (Bustamante Altamirano)

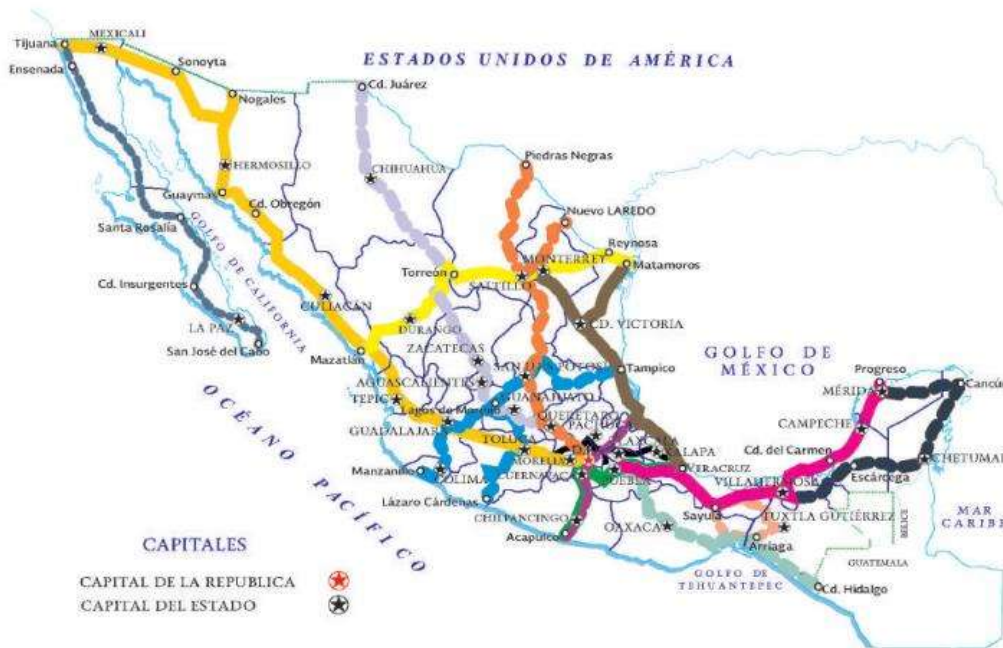


Ilustración 229. Corredores troncales de la red carretera actual de México. (SCT.gob, 2012)

Primero presentaremos un inventario de las carreteras o infraestructura caminera actual que conforman georreferencialmente a los puentes de estudio.

En segunda instancia, se dará a conocer un inventario de la orografía que es el medio principal por el cual se tuvo pensada la idea en aquel entonces de construir una obra de ingeniería como son los puentes.



En tercer lugar, se presentarán tres propuestas de vías secundarias estructuradas sobre las carreteras actuales, ya sean; Federales, Estatales o Municipales, que muestren la relación antigua y actual de las vías por las cuales transitaban las carretas o los animales de carga. Con el fin de relacionar los caminos secundarios de Michoacán con el camino real de tierra adentro.

6.1. INVENTARIO DE LA INFRAESTRUCTURA CAMINERA ACTUAL DE LOS PUENTES DE ESTUDIO Y SUS ALREDEDORES.

6.1.1. Municipio de Angamacutiro de la Unión, Michoacán.

Carreteras Principales:

- Al Poniente con la Carretera Estatal.

Destino: Cuitzeo-Puruándiro-Zináparo

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

- Al Sur Oriente con la Carretera Municipal.

Destino: Miravalle-Angamacutiro

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

Camino Antiguo del Puente:

- Al Sur Oriente con la Carretera Municipal.

Destino: Al Norte y Sur: Miravalle-Angamacutiro.

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

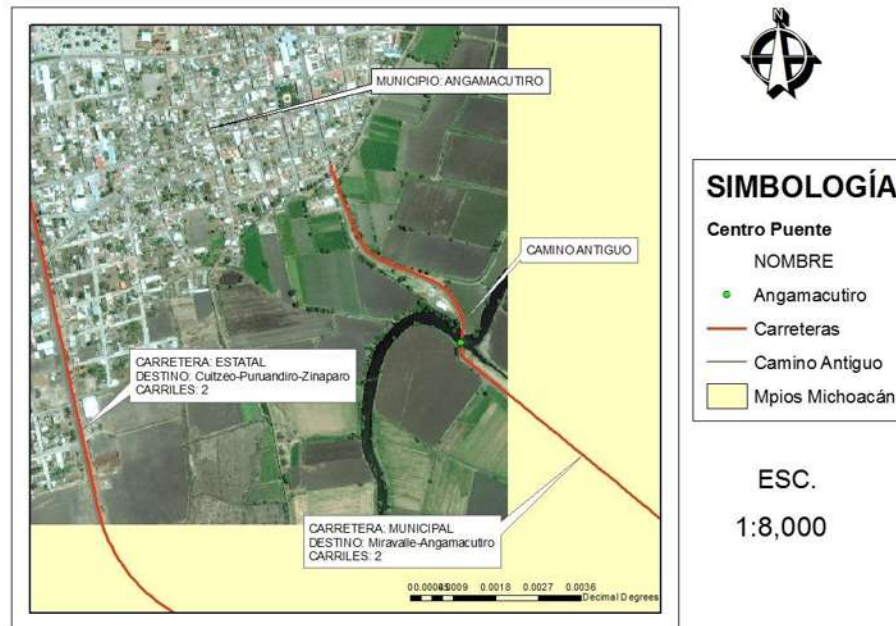


Ilustración 230. Carreteras que conforman al Puente de Angamacutiro de la Unión, Mich.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.1.2. Municipio de La Piedad, Michoacán.

Carreteras Principales:

- Al Poniente con la Carretera Federal.

Destino: Irapuato-Guadalajara, Tramo: Santa Ana Pacueco, Gto. La Piedad

Carriles: 3

Pavimento: Asfalto

- Al Sur Oriente con la Carretera Municipal.

Destino: Boulevard López Mateos (Paso por La Piedad)

Carriles: 6

Pavimento: Asfalto

- Al Sur Poniente con la Carretera Municipal.

Destino: Acceso al Blvd. Lázaro Cárdenas (Paso por La Piedad)

Carriles: 2

Pavimento: Concreto Hidráulico

Camino Antigo del Puente:

- Al centro: Camino Antigo del Puente

Destino: Al Norte: Entronque con la carretera Federal Irapuato-Guadalajara.

Al Sur: acceso al Blvd. Lázaro Cárdenas (Paso por La Piedad).

Carriles: 1 (Peatonal)

Pavimento: Cantera

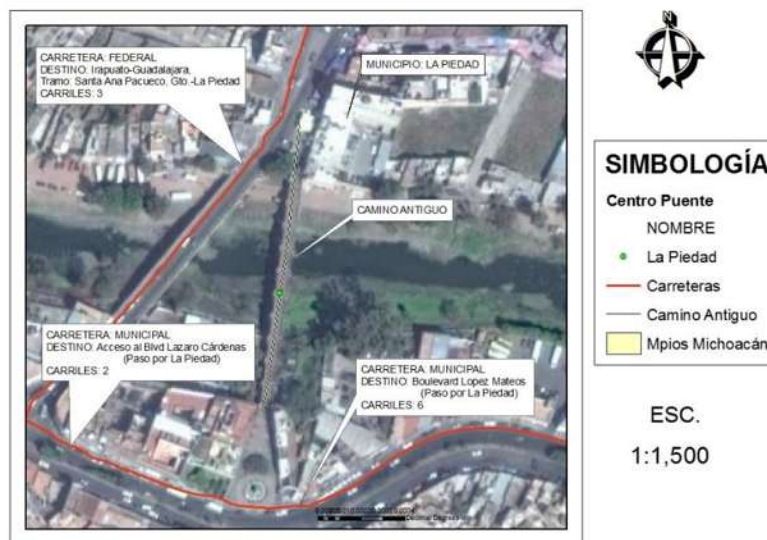


Ilustración 231. Carreteras que conforman al Puente de la Piedad de Cavadas, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.1.3. Localidad de Sta. Fe del Río, Municipio de Penjamillo, Michoacán.

Carreteras Principales:

- Al Norte con la Carretera Estatal

Destino: La Herradura de Pénjamo, Gto

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

- Al Norte con la Carretera Municipal.

Destino: Acceso a San Marcos, Gto.



Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

- Al Sur con la Carretera Municipal.

Destino: Acceso a Sta. Fe del Río, Mich.

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

Camino Antiguo del Puente:

- Al centro con la Carretera Municipal

Destino: Al Norte: Acceso a San Marcos, Gto.

Al Sur: Acceso a Sta. Fe del Río, Mich.

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

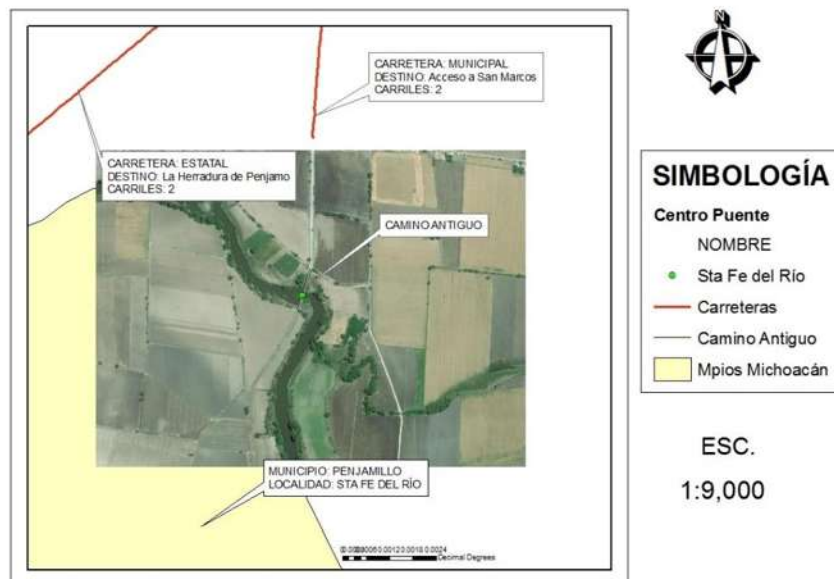


Ilustración 232. Carreteras que conforman al Puente de Sta. Fe del Río, Penjamillo, Mich.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



6.1.4. Localidad de Tiripetío, Municipio de Morelia, Michoacán.

Carreteras Principales:

- Al Poniente con la Carretera Estatal

Destino: Paso por Tiripetío

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

- Al Oriente con la Carretera Estatal.

Destino: Paso por Tiripetío

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

- Al Sur con la Carretera Estatal.

Destino: Tiripetío- Carácuaro- Eréndira

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

Camino Antiguo del Puente:

- Al Sur Oriente (sobre el Puente).

Destino: Al Norte: Entronque con el paso por Tiripetío.

Al Sur: Entronque con Tiripetío- Carácuaro- Eréndira

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

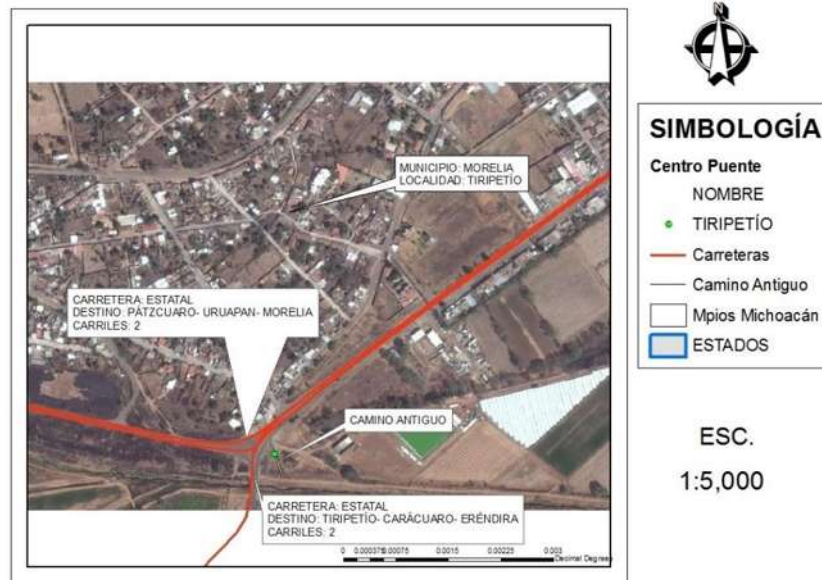


Ilustración 233. Carreteras que conforman al Puente de Tiripetío, Morelia, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.1.5. Municipio de Tzintzuntzan, Michoacán.

Carreteras Principales:

- Al Norte con la Carretera Estatal

Destino: Embarcadero de Tzintzuntzan

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

- Al Nort-Oriente con la Carretera Federal.

Destino: Quiroga-Tepalcatepec

Carriles: 4

Pavimento: Asfalto

- Al Poniente con la Carretera Municipal.

Destino: Tzintzuntzan-Ucasanastacua-San Pedro Cucuchucho

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

- Al Sur con la Carretera Federal.

Destino: Quiroga-Tepalcatepec

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

Camino Antiguo del Puente:

- Al Oriente (sobre el Puente).

Destino: Sobre la calle Victoria, Esquina con Álamo

Al Norte: Quiroga-Tepalcatepec

Al Poniente: Quiroga-Tepalcatepec

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

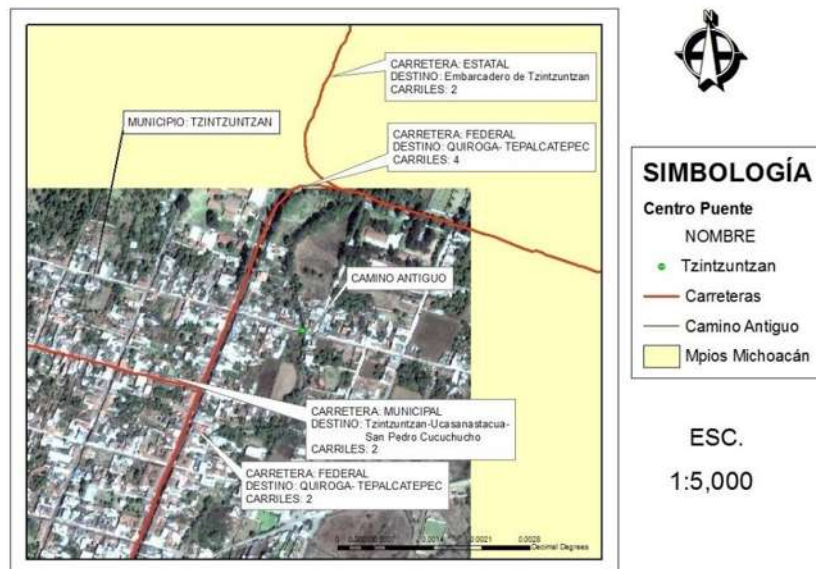


Ilustración 234. Carreteras que conforman al Puente de Tzintzuntzan, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.1.6. Municipio de Uruapan del Progreso, Michoacán. **Carreteras Principales:**

- Al Norte con la Carretera Municipal.

Destino: Uruapan-San Juan Nuevo (Paso por Uruapan)

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

- Al Sur con la Carretera Municipal.

Destino: Uruapan-San Juan Nuevo (Paso por Uruapan)

Carriles: 2

Pavimento: Concreto Hidráulico

Camino Antiguo del Puente:

- Al Centro (sobre el Puente).

Destino: Al Norte y Sur: Uruapan-San Juan Nuevo (Paso por Uruapan)

Carriles: 2

Pavimento: Asfalto

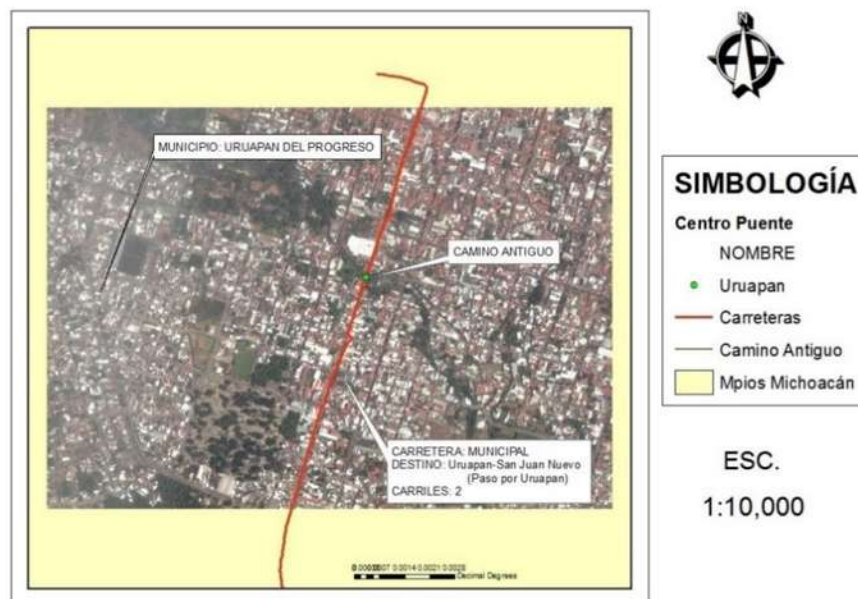


Ilustración 235. Carreteras que conforman al Puente de Uruapan del Progreso, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.2. INVENTARIO DE LA OROGRAFÍA ACTUAL DE LOS PUENTES DE ESTUDIO.

6.2.1. Municipio de Angamacutiro de la Unión, Michoacán.

Características del río:

Río: Angulo

Entidad: Corriente de Agua

Tipo: Perenne

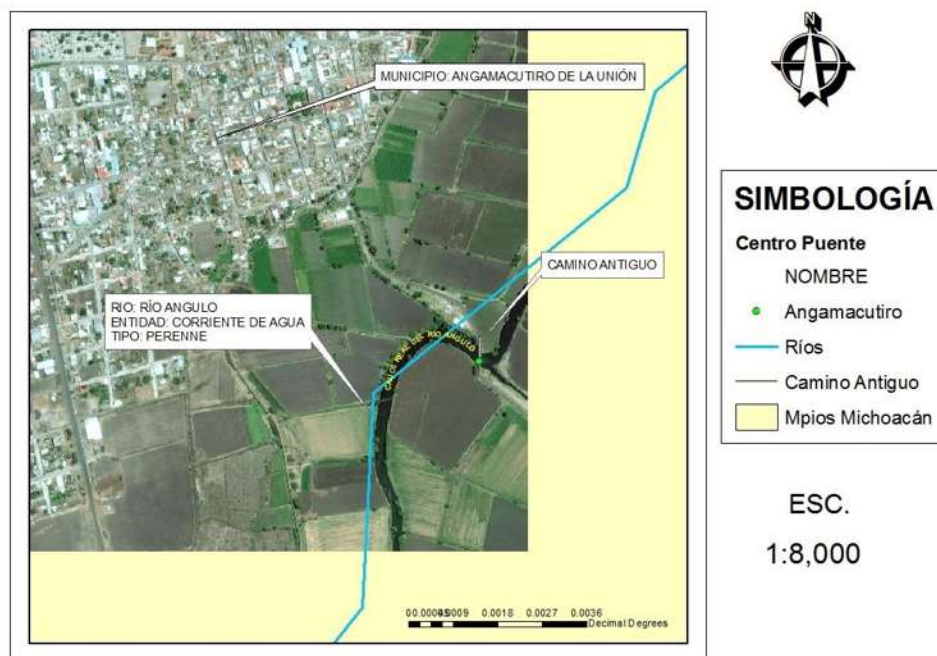


Ilustración 236. Ríos que conforman al Puente de Angamacutiro de la Unión, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.2.2. Municipio de La Piedad, Michoacán.

Características del río:

Río: Lerma de Santiago

Entidad: Corriente de Agua

Tipo: Perenne



Ilustración 237. Ríos que conforman al Punte de La Piedad de Cavadas, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.2.3. Localidad de Sta. Fe del Río, Municipio de Penjamillo, Michoacán.

Características del río:

Río: Lerma de Santiago

Entidad: Corriente de Agua

Tipo: Perenne

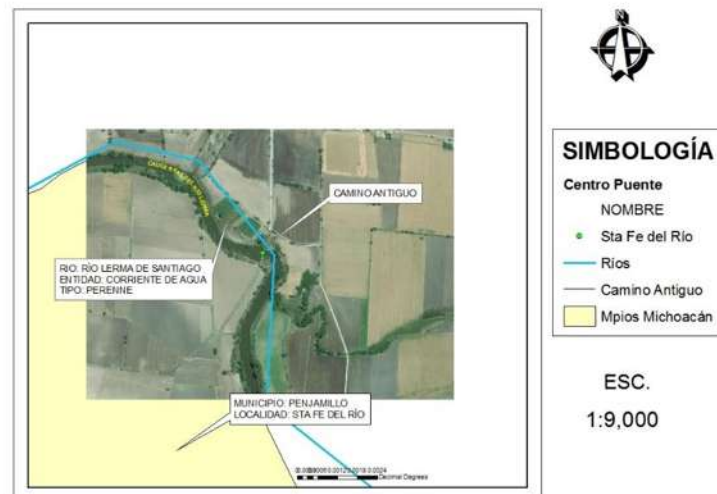


Ilustración 238. Ríos que conforman al Punte de Sta. Fe del Río, Penjamillo, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.2.4. Localidad de Tiripetío, Municipio de Morelia, Michoacán.

Características del río:

No se encuentra ningún río pasando por el puente que está en desuso.

El río más cercano pasa aprox. a 500m de distancia del puente y es un río de aguas negras.

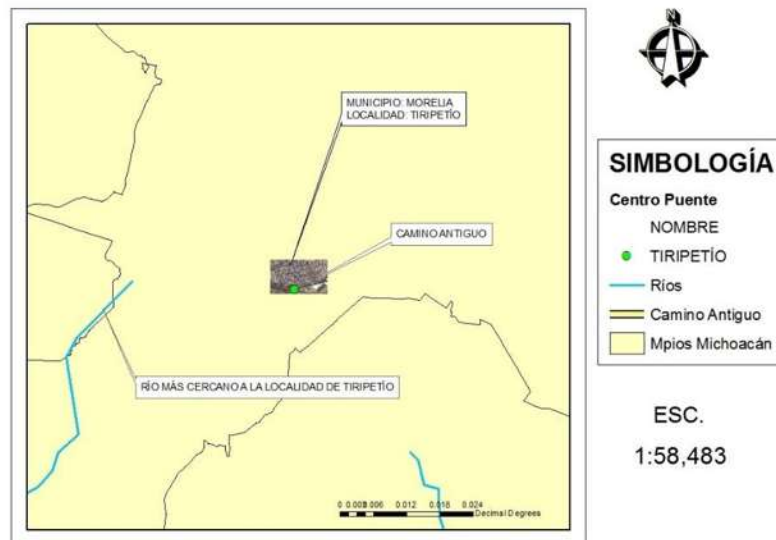


Ilustración 239. Ríos que conforman al Puente de Tiripetío, Morelia, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.2.5. Municipio de Tzintzuntzan, Michoacán.

Características del río:

El cauce del puente es un canal de aguas negras.

El río más cercano al puente se encuentra aprox. a 500m de distancia.

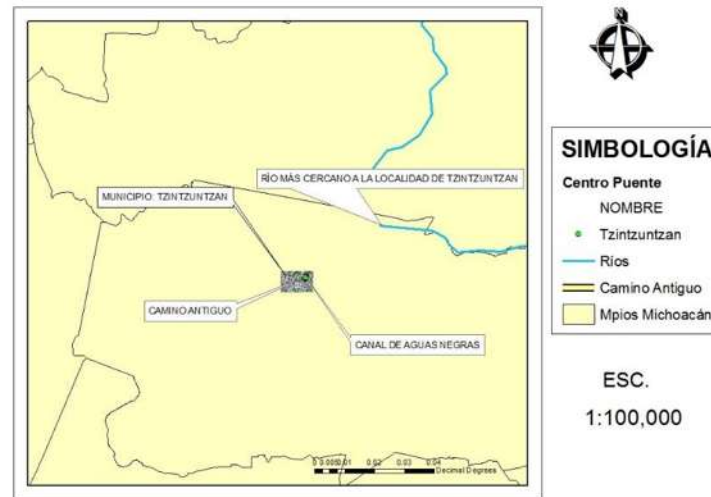


Ilustración 240. Ríos que conforman al Puente de Tzintzuntzan, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.2.6. Municipio de Uruapan del Progreso, Michoacán.

Características del río:

Río: Cupatitzio

Entidad: Corriente de Agua

Tipo: Perenne

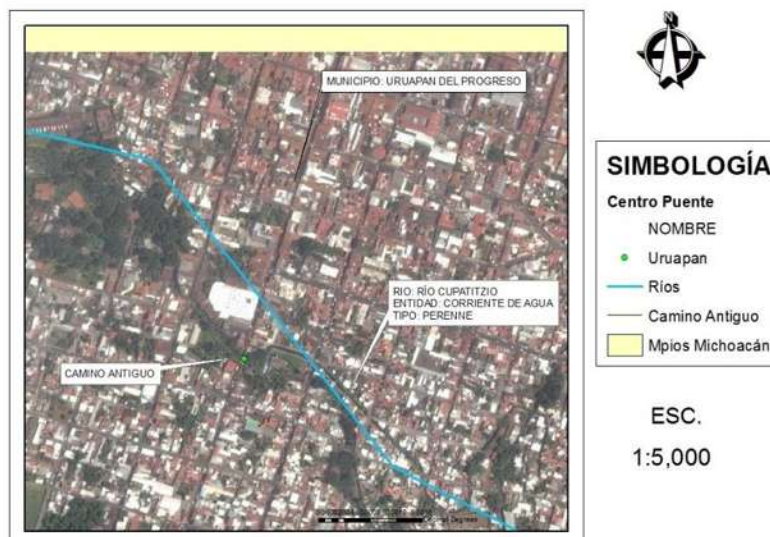


Ilustración 241. Ríos que conforman al Puente de Uruapan del Progreso, Mich. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)



6.3. PROPUESTAS DE VÍAS SECUNDARIAS ESTRUCTURADAS SOBRE LAS CARRETERAS ACTUALES DE LOS ESTADOS DE MICHOACÁN Y GUANAJUATO.

Para el caso de la infraestructura de caminos creada durante la época colonial, es complicado el generar un inventario de estos vestigios o tramos de caminos virreinales donde incluya campos como su localización, estado en que se encuentran e importancia regional, si el inmueble a inventariar es una línea con extensiones de varios cientos o miles de kilómetros. El inventario que actualmente cuenta el INAH de patrimonio del Camino Real de Tierra Adentro incluye variados tipos de construcción en las diferentes épocas de la historia prehispánica, colonial e independiente de México el cual incluye construcciones con localización bien definidas. Pero en el caso de caminos prehispánicos o coloniales de Michoacán su catalogación sería un tanto complicada por el hecho de que no es una estructura con localización única y posee elementos que forman parte del patrimonio, como el caso de puentes, haciendas, conventos, ventas, mesones y presidios que, vistos de manera individual pareciera un rompecabezas de información. (LOS CAMINOS DE LA HISTORIA: ÉPOCA VIRREINAL)

A continuación se presentarán tres propuestas de vías secundarias estructuradas sobre las carreteras actuales, ya sean; Federales, Estatales o Municipales, que muestren la relación antigua y actual de las vías por las cuales transitaban las carretas o los animales de carga. Con el fin de relacionar los caminos secundarios de Michoacán con el camino real de tierra adentro.

Para estas tres propuestas se tomará como base en su estructuración uno de los elementos más importantes que venimos manejando durante este proyecto, que son: Los Puentes Virreinales. Estos puentes, así como las vías principales serán punto de partida para la creación de estas posibles rutas camineras.

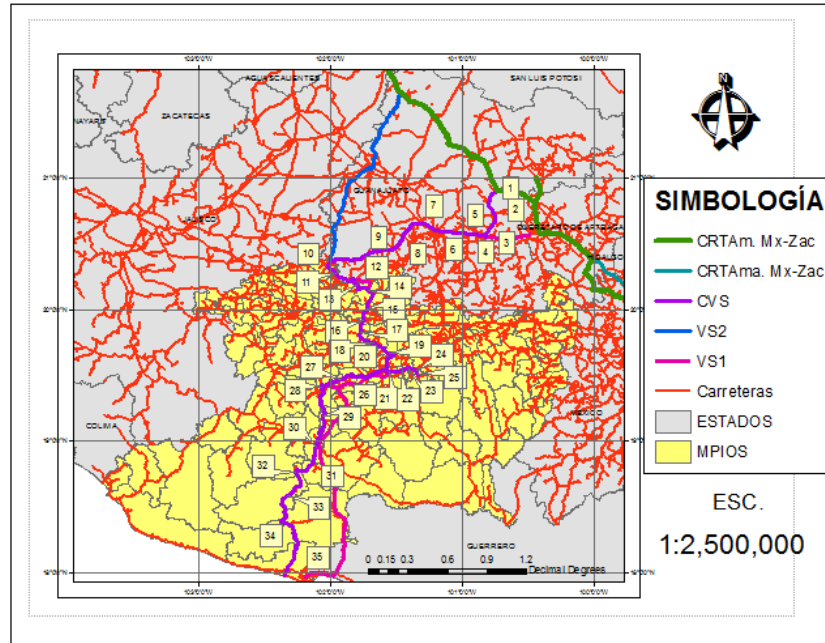


Ilustración 242. Vías propuestas sobre las carreteras actuales de los estados de Michoacán y Gto, tomando como punto de partida el Camino Real de Tierra Adentro y el camino México-Zacatecas, así como los vestigios de los puentes virreinales. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016).

6.3.1. VÍA SECUNDARIA 1

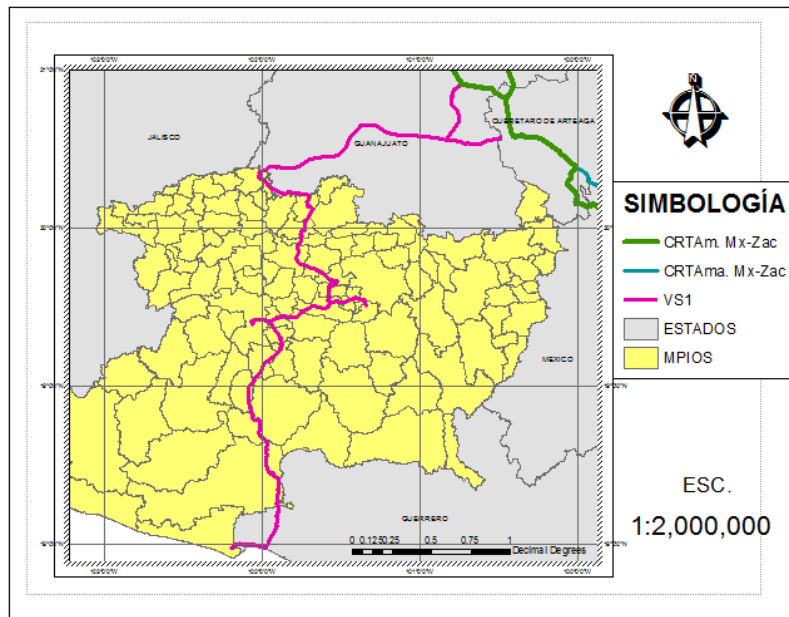


Ilustración 243. Diseño de la primera vía secundaria. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

La primera vía secundaria propuesta parte desde el Mpio. De Sn. Miguel de Allende Gto. Hasta el Mpio. De Lázaro Cárdenas, Mich. Abarcando un total de 36 Municipios en su recorrido. En esta ruta su tronco abarca los puentes de La Piedad, Penjamillo, Angamacutiro, Tzintzuntzan y tiene dos bifurcaciones hacia los puentes de Tiripetío y de Uruapan.

A continuación se enumeraran los municipios por los que pasa la ruta propuesta y después; por medio de una tabla, se dará a conocer todos los municipios que conforman esta ruta propuesta, así como todas las carreteras que constituyen dicha ruta.

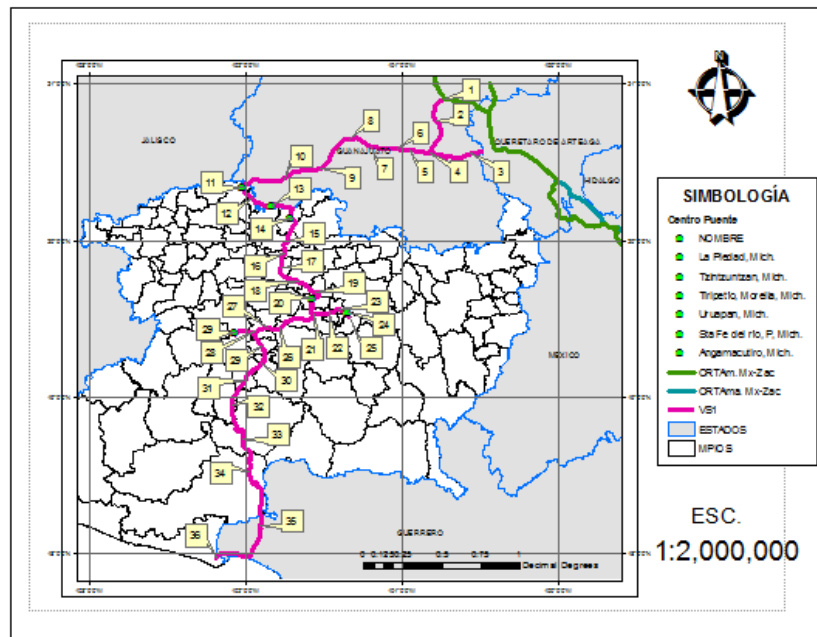


Ilustración 244. Enumeración de los Municipios por los que pasa la vía propuesta no.1. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

VÍA SECUNDARIA 1			
NO.	ESTADO	MUNICIPIO	CARRETERAS
1	GUANAJUATO	San Miguel de Allende	Fed. Celaya-Ojuelos tramo: Libramiento San Miguel de Allende, Estal. Celaya-San Miguel de Allende
2	GUANAJUATO	Comonfort	Estal. Celaya-San Miguel de Allende
3	GUANAJUATO	A paseo el Grande	Fed. Autopista Querétaro-Irapuato
4	GUANAJUATO	Celaya	Estal. Celaya-San Miguel Allende, Fed. autopista Querétaro-Irapuato
5	GUANAJUATO	Villagrán	Fed. autopista Querétaro-Irapuato
6	GUANAJUATO	Santa Cruz de Juventino Rosas	Fed. autopista Querétaro-Irapuato
7	GUANAJUATO	Salamanca	Fed. autopista Querétaro-Irapuato
8	GUANAJUATO	Irapuato	Fed. Autopista Querétaro-Irapuato, Fed. Irapuato-Lim.Edos.Gto/Mich.
9	GUANAJUATO	Abasolo	Fed. Irapuato-Lim.Edos. Gto/Mich.
10	GUANAJUATO	Pénjamo	Fed. Irapuato-Lim.Edos. Gto/Mich., Fed. Irapuato-Guadalajara, Tramo: Santa Ana Pacueco, Gto.-La Piedad
11	MICHOACÁN	La Piedad	Mpal. Boulevard López Mateos (Paso por La Piedad), Fed. La Piedad-Carapan
12	MICHOACÁN	Numarán	Fed. La Piedad-Carapan



13	GTO-MICH	Pénjamo- Penjamillo	Mpal. Corrales de Rabago-Lim. Edo. Mich. Gto., Estal. La Herradura de Pénjamo, Mpal. Acceso a San Marcos
14	MICHOACÁN	Angamacutiro	Estal. Cuitzeo -Puruándiro-Zináparo, Mpal. Miravalle - Angamacutiro, Mpal. E.C. (Zacapu-Villachuato)- E.C.(Puruándiro-Zináparo)
15	MICHOACÁN	Panindícuaro	Estal. Zacapu-Villachuato
16	MICHOACÁN	Jiménez	Estal. Zacapu-Villachuato
17	MICHOACÁN	Zacapu	Estal. Zacapu-Villachuato, Fed. Morelia-Jiquilpan
18	MICHOACÁN	Coeneo	Fed. Morelia-Jiquilpan
19	MICHOACÁN	Quiroga	Fed. Morelia-Jiquilpan
20	MICHOACÁN	Tzintzuntzan	Fed. Quiroga-Tepalcatepec
21	MICHOACÁN	Pátzcuaro	Fed. Quiroga-Tepalcatepec, Fed. Morelia-Pátzcuaro, Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
22	MICHOACÁN	Huiramba	Fed. Morelia-Pátzcuaro
23	MICHOACÁN	Lagunillas	Fed. Morelia-Pátzcuaro
24	MICHOACÁN	Morelia	Tiripetío-Carácuaro-Eréndira, Fed. Morelia, Pátzcuaro
25	MICHOACÁN	Acuitzio	Estal. Tiripetío-Carácuaro-Eréndira
26	MICHOACÁN	Salvador Escalante	Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
27	MICHOACÁN	Tingambato	Fed. Pátzcuaro-Uruapan
28	MICHOACÁN	Ziracuaretiro	Fed. Autopista Pátzcuaro-Uruapan, tramo: Entrada a Uruapan, Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
29	MICHOACÁN	Uruapan	Fed. Pátzcuaro-Uruapan, Mpal. Paso por Uruapan (Calzada. Benito Juárez), Mpal. Acceso a Uruapan (Entrada al Parque Nacional Eduardo Ruiz), Mpal. Uruapan-San Juan Nuevo (Paso por Uruapan), Mpal. Paso por Uruapan (Paseo Lázaro Cárdenas), Fed. Carapan-Playa Azul
30	MICHOACÁN	Nuevo Urecho	Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
31	MICHOACÁN	Gabriel Zamora	Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
32	MICHOACÁN	Múgica	Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
33	MICHOACÁN	La Huacana	Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
34	MICHOACÁN	Arteaga	Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
35	GUERRERO	La Unión de Isidoro Montes de Oca	Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas
36	MICHOACÁN	Lázaro Cárdenas	Fed. Morelia-Lázaro Cárdenas

Tabla 34. Tabla de Municipios y Carreteras que conforman a la vía secundaria propuesta no.1.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.3.2. VÍA SECUNDARIA 2

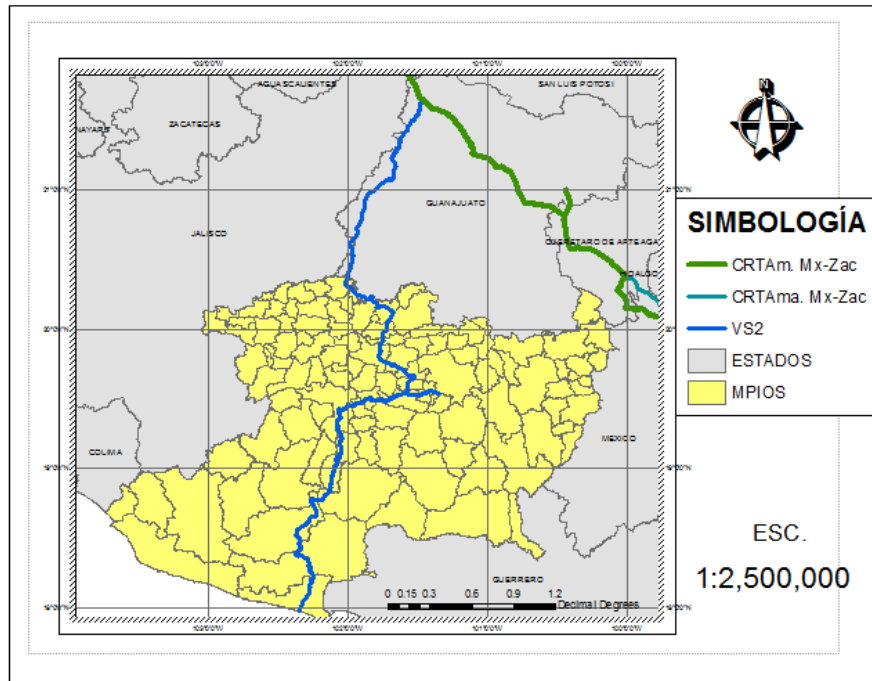


Ilustración 245. Diseño de la segunda vía secundaria. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

La segunda vía secundaria propuesta parte desde el Mpio. De Ocampo, Gto. Hasta el Mpio. De Lázaro Cárdenas, Mich. Abarcando un total de 31 Municipios en su recorrido. En esta ruta su tronco abarca los puentes de La Piedad, Penjamillo, Angamacutiro, Tzintzuntzan, Uruapan y tiene una bifurcación hacia el puente de Tiripetío.

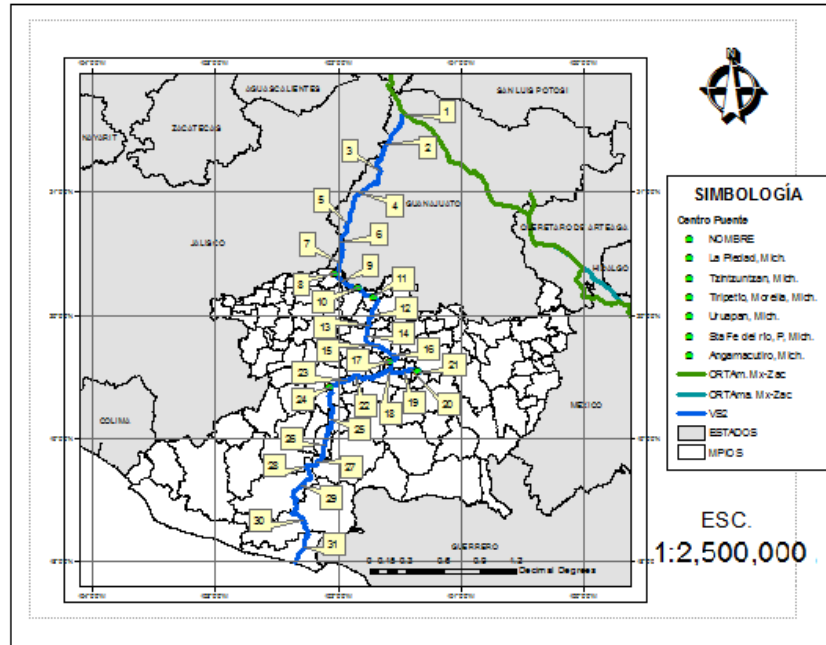


Ilustración 246. Enumeración de los Municipios por los que pasa la vía propuesta no.2. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

VÍA SECUNDARIA 2			
NO.	ESTADO	MUNICIPIO	CARRETERAS
1	GUANAJUATO	Ocampo	Fed. Celaya-Ojuelos tramo: Dolores Hgo.--lim.Edos. Gto. /Jal. Estal. Ocampo-EC[León-San Felipe]
2	GUANAJUATO	San Felipe	Estal. Ocampo-EC[León-San Felipe]
3	GUANAJUATO	León	Estal. León- San Felipe, Estal. León -Ibarrillas, Estal. León-Plan de Ayala, Estal. León-Santa Rosa- Cd. M. Doblado
4	GUANAJUATO	San Francisco del Rincón	Estal. León-Santa Rosa- Cd. M. Doblado
5	GUANAJUATO	Manuel Doblado	Estal. León-Santa Rosa- Cd. M. Doblado, Fed. La Piedad-CD. Manuel Doblado
6	GUANAJUATO	Jesús María	Fed. La Piedad-CD. Manuel Doblado
7	GUANAJUATO	Pénjamo	Fed. La Piedad-CD. Manuel Doblado
8	MICHOACÁN	La Piedad	Fed. La Piedad-Carapan, Fed. La Piedad-CD. Manuel Doblado
9	MICHOACÁN	Numarán	Fed. La Piedad-Carapan
10	GTO-MICH	Pénjamo-Penjamillo	Mpal. Corrales de Rabago-Lim.Edo. Mich. Gto., Estal. Ramal a Anchiuacaro (Anchiuacaro)
11	MICHOACÁN	Angamacutiro	Estal. Cuitzeo-Puruandiro-Zinaparo, Mpal. Miravalle-Angamacutiro, Mpal. E.C.(Zacapu-Villachuato)-E.C.(Puruandiro-Zinaparo)
12	MICHOACÁN	Panindícuaro	Estal. Zacapu-Villachuato
13	MICHOACÁN	Jiménez	Estal. Zacapu-Villachuato
14	MICHOACÁN	Zacapu	Estal. Zacapu-Villachuato, Fed. Morelia-Jiquilpan
15	MICHOACÁN	Coeneo	Fed. Morelia-Jiquilpan
16	MICHOACÁN	Quiroga	Fed. Morelia-Jiquilpan
17	MICHOACÁN	Tzintzuntzan	Fed. Quiroga-Tepalcatepec
18	MICHOACÁN	Pátzcuaro	Fed. Quiroga-Tepalcatepec, Fed. Morelia-Pátzcuaro
19	MICHOACÁN	Huiramba	Fed. Morelia-Pátzcuaro
20	MICHOACÁN	Lagunillas	Fed. Morelia-Pátzcuaro
21	MICHOACÁN	Morelia	Fed. Morelia, Pátzcuaro
22	MICHOACÁN	Tingambato	Fed. Pátzcuaro-Uruapan
23	MICHOACÁN	Ziracuaretiro	Fed. Pátzcuaro-Uruapan

24	MICHOACÁN	Uruapan	Fed. Pátzcuaro-Uruapan, Mpal. Paso por Uruapan (Calzada. Benito Juárez), Mpal. Acceso a Uruapan (Entrada al Parque Nacional Eduardo Ruiz), Mpal. Uruapan-San Juan Nuevo (Paso por Uruapan), Mpal. Paso por Uruapan (Paseo Lázaro Cárdenas), Fed. Carapan-Playa Azul
25	MICHOACÁN	Gabriel Zamora	Fed. Carapan-Playa Azul
26	MICHOACÁN	Múgica	Fed. Carapan-Playa Azul
27	MICHOACÁN	La Huacana	Fed. Carapan-Playa Azul, Mpal. Tumbiscatío-Cupuán-E.C.(Carapan-Playa Azul)
28	MICHOACÁN	Apatzingán	Mpal. Tumbiscatío-Cupuán-E.C.(Carapan-Playa Azul)
29	MICHOACÁN	Tumbiscatío	Mpal. Tumbiscatío-Cupuán-E.C. (Carapan-Playa Azul), Mpal. Paso por Las Cruces (Gral. Francisco Villa), Mpal. Tumbiscatío-Arucha-Los Chivos, Estal. Arteaga-Tumbiscatío
30	MICHOACÁN	Arteaga	Estal. Arteaga-Tumbiscatío, Fed. Carapan-Playa Azul
31	MICHOACÁN	Lázaro Cárdenas	Estal. Arteaga-Tumbiscatío, Fed. Carapan-Playa Azul

Tabla 35. Tabla de Municipios y Carreteras que conforman a la vía secundaria propuesta no.2.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

6.3.3. COMBINACIÓN DE LAS VÍAS SECUNDARIAS 1 Y 2

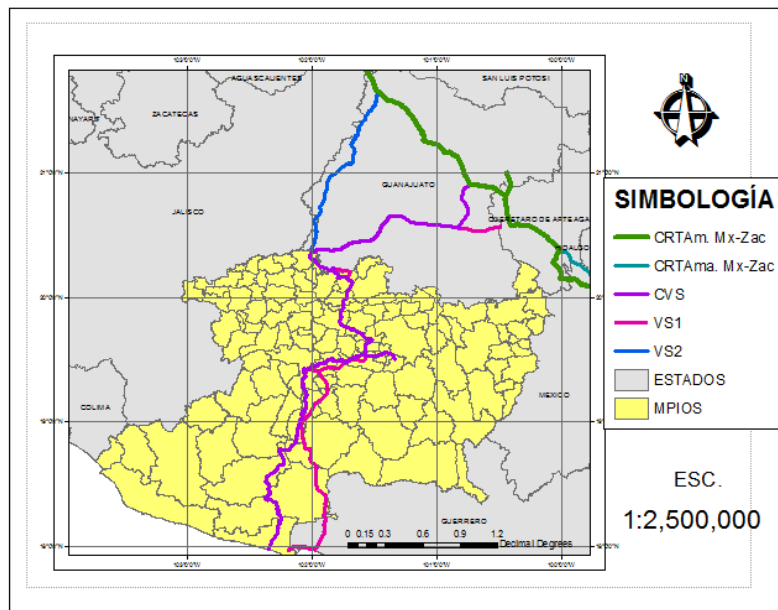


Ilustración 247. Combinación de las vías secundarias propuestas. De color rosa: vía secundaria 1, de azul: vía secundaria 2 y de Morado: Unión de las vías 1 y 2. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

La tercer vía secundaria (combinación de las primeras dos vías) propuesta, parte desde el Mpio. De Sn Miguel de Allende, Gto. Hasta el Mpio. De Lázaro Cárdenas, Mich. Abarcando un total de 35 Municipios en su recorrido. En esta ruta su tronco abarca los puentes de La Piedad, Penjamillo, Angamacutiro, Tzintzuntzan, Uruapan y tiene una bifurcación hacia el puente de Tiripetío.

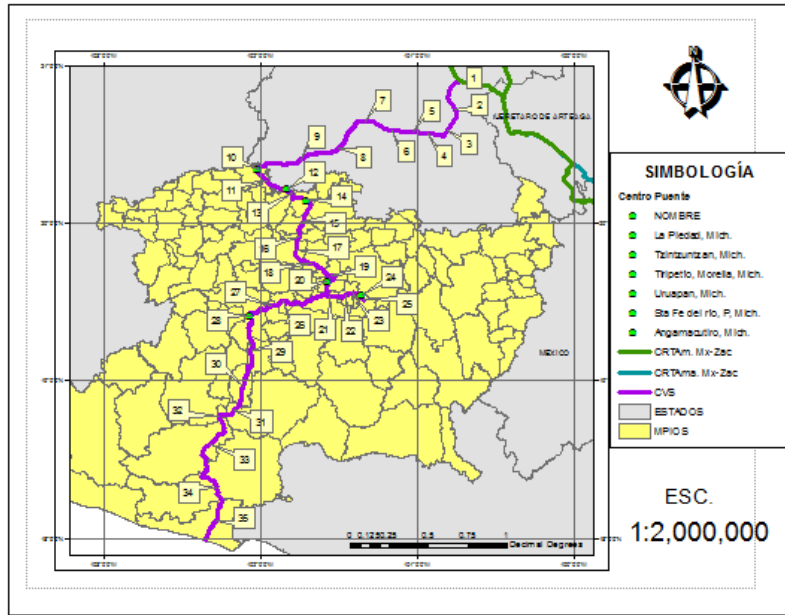


Ilustración 248. Enumeración de los Municipios por los que pasa la vía propuesta no.3. (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

VÍA SECUNDARIA 3 O COMBINACIÓN DE LAS PRIMERAS DOS VÍAS PROPUESTAS			
NO.	ESTADO	MUNICIPIO	CARRETERAS
1	GUANAJUATO	San Miguel de Allende	Fed. Celaya-Ojuelos tramo: Libramiento San Miguel de Allende, Estal. Celaya-San Miguel de Allende
2	GUANAJUATO	Comonfort	Estal. Celaya-San Miguel de Allende
3	GUANAJUATO	Celaya	Estal. Celaya-San Miguel Allende, Fed. autopista Querétaro-Irapuato
4	GUANAJUATO	Villagrán	Fed. autopista Querétaro-Irapuato
5	GUANAJUATO	Santa Cruz de Juventino Rosas	Fed. autopista Querétaro-Irapuato
6	GUANAJUATO	Salamanca	Fed. Autopista Querétaro-Irapuato
7	GUANAJUATO	Irapuato	Fed. Autopista Querétaro-Irapuato, Fed. Irapuato-Lim.Edos.Gto/Mich.
8	GUANAJUATO	Abasolo	Fed. Irapuato-Lim.Edos.Gto/Mich.
9	GUANAJUATO	Pénjamo	Fed. Irapuato-Lim.Edos.Gto/Mich., Fed. Irapuato-Guadalajara, Tramo: Santa Ana Pacueco, Gto.-La Piedad
10	MICHOACÁN	La Piedad	Mpal. Boulevard López Mateos (Paso por La Piedad), Fed. La Piedad-Carapan
11	MICHOACÁN	Numarán	Fed. La Piedad-Carapan
12	GTO-MICH	Pénjamo- Penjamillo	Mpal. Corrales de Rabago-Lim.Edo. Mich. Gto., Estal. La Herradura de Pénjamo, Mpal. Acceso a San Marcos
13	MICHOACÁN	Penjamillo	Mpal. Anchiuacaro-Santa Fe del Río, Estal. Ramal a Anchiuacaro (Anchiuacaro),
14	MICHOACÁN	Angamacutiro	Estal. Cuitzeo-Puruandiro-Zinaparo, Mpal. Miravalle-Angamacutiro, Mpal. E.C.(Zacapu-Villachuato)-E.C.(Puruandiro-Zinaparo)
15	MICHOACÁN	Panindícuaro	Estal. Zacapu-Villachuato
16	MICHOACÁN	Jiménez	Estal. Zacapu-Villachuato
17	MICHOACÁN	Zacapu	Estal. Zacapu-Villachuato, Fed. Morelia-Jiquilpan
18	MICHOACÁN	Coeneo	Fed. Morelia-Jiquilpan
19	MICHOACÁN	Quiroga	Fed. Morelia-Jiquilpan
20	MICHOACÁN	Tzintzuntzan	Fed. Quiroga-Tepalcatepec
21	MICHOACÁN	Pátzcuaro	Fed. Quiroga-Tepalcatepec, Fed. Morelia-Pátzcuaro
22	MICHOACÁN	Huiramba	Fed. Morelia-Pátzcuaro



23	MICHOACÁN	Lagunillas	Fed. Morelia-Pátzcuaro
24	MICHOACÁN	Morelia	Tiripetío-Carácuaro-Eréndira, Fed. Morelia, Pátzcuaro
25	MICHOACÁN	Acuitzio	Estal. Tiripetío-Carácuaro-Eréndira
26	MICHOACÁN	Tingambato	Fed. Pátzcuaro-Uruapan
27	MICHOACÁN	Ziracuaretiro	Fed. Pátzcuaro-Uruapan
28	MICHOACÁN	Uruapan	Fed. Pátzcuaro-Uruapan, Mpal. Paso por Uruapan (Calzada. Benito Juárez), Mpal. Acceso a Uruapan (Entrada al Parque Nacional Eduardo Ruiz), Mpal. Uruapan-San Juan Nuevo (Paso por Uruapan), Mpal. Paso por Uruapan (Paseo Lázaro Cárdenas), Fed. Carapan-Playa Azul
29	MICHOACÁN	Gabriel Zamora	Fed. Carapan-Playa Azul
30	MICHOACÁN	Múgica	Fed. Carapan-Playa Azul
31	MICHOACÁN	La Huacana	Fed. Carapan-Playa Azul, Mpal. Tumbiscatío-Cupuán-E.C.(Carapan-Playa Azul)
32	MICHOACÁN	Apatzingán	Mpal. Tumbiscatío-Cupuán-E.C. (Carapan-Playa Azul)
33	MICHOACÁN	Tumbiscatío	Mpal. Tumbiscatío-Cupuán-E.C. (Carapan-Playa Azul), Mpal. Paso por Las Cruces (Gral. Francisco Villa), Mpal. Tumbiscatío-Arucha-Los Chivos, Estal. Arteaga-Tumbiscatío
34	MICHOACÁN	Arteaga	Estal. Arteaga-Tumbiscatío, Fed. Carapan-Playa Azul
35	MICHOACÁN	Lázaro Cárdenas	Estal. Arteaga-Tumbiscatío, Fed. Carapan-Playa Azul

Tabla 36. Tabla de Municipios y Carreteras que conforman a la vía secundaria propuesta no.3.
(GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

En el trazo de las vías secundarias propuestas vemos que en general se parte desde San Miguel de Allende, Gto., y la ruta termina en Lázaro Cárdenas, Mich.

A continuación explicaremos de una manera breve los motivos por los cuales se tomaron esos dos municipios en consideración.

San Miguel de Allende, Gto. Fue fundado en 1542 por el monje franciscano Fray Juan de San Miguel, quien bautizó el asentamiento como San Miguel el Grande, que posteriormente cambió el nombre por San Miguel de Allende en honor al héroe nacional. Era un punto de paso importante del Antiguo Camino Real, parte de la ruta de plata que se conectaba con Zacatecas.

La principal corriente fluvial del municipio de San Miguel de Allende es el río Laja que proveniente del municipio de Dolores Hidalgo desembocando en el río Lerma. (50 Maravillas de Guanajuato, 2009)

Lázaro Cárdenas, Mich. Es la cabecera de uno de los municipios que conforman al estado de Michoacán, ubicado al sur del estado, justo en la frontera con el estado de Guerrero, que está delimitada por el río Balsas. Representó en la época prehispánica, un punto de disputa entre los imperios Purépecha y Nahuatl, sin que se definiera un grupo dominante. Sin embargo, años después tras la llegada de los españoles, esta región se convirtió en un territorio codiciado por ellos, ya que al enterarse de la enorme riqueza de estas tierras, Hernán Cortés envía un pequeño grupo de hombres encabezado por Gonzalo de Umbría a investigar las minas de oro del señorío de Zacatula. Posteriormente, en 1523, donde por órdenes de Hernán Cortés, se construyó el primer astillero que hubo en tierras mexicanas. Convirtiendo a esta zona en un centro de importancia comercial y marítima, ya que gracias a su ubicación los españoles lo construyeron con la finalidad de seguir explorando el



llamado "Mar del Sur", y por otro lado lo utilizaron como punto de salida en sus expediciones a lo largo de todo la costa, en su afán de explorar el norte y el sur del continente. Al establecerse los españoles en México instauran el sistema de encomiendas, con el objetivo de adoctrinar a los indígenas, despojarlos de sus tierras y utilizarlos como mano de obra. Conjuntamente llegaron los misioneros agustinos encabezados por Fray Juan Bautista Moya fundando doctrinas en Ajuchitlán, Coyuca, Pungarabato y otros lugares; avanzando luego hasta Coahuayutla, Petatlán, Tecpán y Acapulco. Detrás de ellos habían dejado una cadena de misiones que iniciaban en Tiripetío y que continuaban por Tacámbaro, Ario, La Huacana hasta el Balsas. La explotación desmedida de los recursos de la región, riqueza que en su mayoría, era enviada a España, trajo como consecuencia la casi total desaparición de zonas auríferas en estas tierras. (INEGI, 2015)

Existen yacimientos de minerales metálicos y no metálicos, tales como el hierro, cobre, zinc, cadmio, plomo, plata, oro, arenas, gravas, calizas, mármol, caolín, sílice y yeso entre otros. Michoacán es el segundo estado productor en el país de coque y tercero en hierro, minerales que contribuyen al crecimiento de la industria siderúrgica en México.

En Lázaro Cárdenas se encuentra uno de los complejos portuarios industriales más importantes del país. Su vocación es fundamentalmente industrial y al tiempo de ser un puerto joven, constituye la reserva portuaria estratégica más importante del litoral en el sentido de atender las necesidades de grandes plantas industriales y de la distribución de insumos y productos propios de las industrias siderúrgicas y de fertilizantes. (Municipios Michoacán, s.f.)

Como ya vimos anteriormente, tanto San Miguel de Allende como Lázaro Cárdenas representan un punto focal muy importante dentro de la ruta propuesta, ya que representaban una vasta riqueza argentífera en la antigüedad, y hasta la fecha.

Se puede hacer una inspección exhaustiva dentro de esta ruta propuesta para localizar más vestigios de puentes virreinales y así; conocer con mayor exactitud cuál fue la ruta principal que representaba a Michoacán de Ocampo en la época virreinal.

(Al final del documento, en el anexo no.4 se encuentran unos de los puentes que se encontraron después de trazar la ruta no.3).



7. CONCLUSIONES

Dar a conocer las condiciones actuales en las cuales se encuentran los puentes a ser evaluados para sugerir medidas de mantenimiento y/o conservación y así; garantizar la preservación futura tanto de los puentes como del patrimonio cultural asociado a estos.

Como ya vimos, los complejos mecanismos de deterioro y meteorización que se producen en los elementos que conforman a los puentes (ladrillo, sillares, mortero, etc.) producidos a lo largo de un gran número de años, complica, la detección y comprensión de los fenómenos ocurridos. Esto nos indica que los problemas por más mínimos que parezcan pueden ser el punto de inicio que desencadene problemas más gravosos, con soluciones de mayor dificultad y por lo tanto costosos. Se está a tiempo de hacer un cambio para poder corregir estos problemas y mantener la servicialidad que hasta hoy en día nos han brindado estos inmuebles.

No se debe de olvidar que el importante patrimonio de puentes arco de mampostería constituye un valioso muestrario de defectos y daños del que puede y debe sacarse partido en forma de enseñanzas que, mediante inspección, seguimiento y estudio, ayuden a mejorar el conocimiento y el tratamiento de estos problemas.

Según el Dr. Jacinto Robles (Delegado del centro INAH Michoacán) indica que; un programa de atención dirigida a esos monumentos no existe como tal. Generalmente a solicitud de la comunidad o ayuntamiento que los custodia, es que la Federación puede proveer recursos para su conservación.

La normatividad para conservar y/o restaurar los puentes históricos es la misma que se aplica para los bienes inmuebles considerados patrimonio de la Nación, la podemos encontrar como la "Ley Federal sobre monumentos y zonas arqueológicas artísticas e históricos".

Sobre el registro y levantamiento, existe un Catálogo Nacional de Monumentos, el cual es administrado por el INAH; aún en proceso de certificación, donde se podrán encontrar entre las variables, a los puentes de época colonial.

Actualizar y consolidar los datos para profundizar el estudio y conservación de los puentes virreinales a ser evaluados en este estudio que pertenezcan al estado de Michoacán.

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios llegan a un solo punto que es: conservar y mantener. Conservar en el sentido de que, estos monumentos no sólo representan parte de la historia de una cultura que nos dió las bases para la formación de la entidad regional que conformamos ahora, si no también que, nos dieron a conocer la importancia que tienen en cuanto a validez patrimonial.



Se lanzó una iniciativa de un Manual o procedimientos por medio de un inventario en los que incluye de manera básica todos los principales elementos necesarios para una intervención a cualquier puente de esta índole, con la finalidad de saber a ciencia exacta los problemas o causas futuras que pueden presentarse para del mismo modo tener cierto margen de tiempo y poder corregirlas y así, mantener en pie las estructuras que no solo dan sostén a los usuarios vehiculares o peatonales, si no también dar sostenimiento a un inmueble que forma parte del patrimonio cultural del sitio en el que se encuentra.

Los procedimientos de levantamientos, inspección, modelajes, así como la interacción y comparación de documentos que ubican a nuestros puentes dentro de la historia no solo servirán para dar a conocer el estado actual en el que se encuentran dichos inmuebles y el contorno que los rodean, sino que, todas esas acciones pueden ser el punto de inicio para diseñar estrategias y revalorar tanto el patrimonio material como el patrimonio inmaterial en sentido de unidad a nivel nacional y que sea un sentido cultural que pueda detonar un desarrollo económico que a final de cuentas sea un testigo que hoy estamos cimentando y que se pueda transmitir a las futuras generaciones para que tengan una condición realmente de oportunidades para su desarrollo y por tanto no vayan a buscar oportunidades al extranjero, sino que las puedan encontrar aquí en México, así como una nueva oportunidad de desarrollo económico y desarrollo de identidad y que a final de cuenta este sea el motivo para seguir protegiendo este tipo de bienes culturales.

Establecer criterios con bases razonables que dicten si realmente Michoacán de Ocampo tiene relación con la caminería colonial como es el caso del Camino Real de Tierra adentro. Para que estos puentes virreinales, así como los caminos antiguos sean considerados para formar parte del patrimonio mundial de la humanidad.

Con las propuestas de las tres vías secundarias que se diseñaron durante el estudio así como la lectura de las reseñas históricas y, basándonos en las carreteras federales, estatales y municipales de los municipios donde se trazaron dichas rutas, podemos dar testimonio de que efectivamente existe la conexión entre el camino real de tierra adentro con la vías secundarias que pasan por el estado de Michoacán de Ocampo.

Hay que recordar que para el caso de la infraestructura de caminos creada durante la época colonial, es complicado el generar un inventario de estos vestigios o tramos de caminos virreinales donde incluya campos como su localización, estado en que se encuentran e importancia regional, si el inmueble a inventariar es una línea con extensiones de varios cientos o miles de kilómetros. En el caso de caminos prehispánicos o coloniales de Michoacán su catalogación sería un tanto complicada por el hecho de que no es una estructura con localización única y posee elementos que forman parte del patrimonio, como el caso de puentes, haciendas, conventos,



ventas, mesones y presidios que, vistos de manera individual pareciera un rompecabezas de información.

Pero aquí es donde entra la capacidad de razonamiento. Si vemos que la única forma de relacionar el camino antiguo con la vía secundaria es por medio de vestigios o elementos que forman parte del patrimonio, esto nos indica que las rutas propuestas o vías secundarias trazadas sobre los puentes virreinales realmente o mejor dicho claramente nos indican que existieron estos caminos. Tal vez estos caminos, algunos ya se encuentren bajo carpetas asfálticas, o de concreto hidráulico, otras se hayan perdido debido al desuso o hayan sido invadidas por zonas urbanas. Pero lo que tenemos que tener siempre en cuenta es que existen y sólo tenemos que guiarnos para dar fe de ellas por medio de los elementos que forman parte del patrimonio.

Como conclusión final podemos definir que se plantea que este proyecto de investigación tenga un impacto social muy importante ya que ayudará a la decisión de cómo actuar en los vestigios que quedan de estos caminos coloniales y los inmuebles históricos que convergen en ellos. Se pretende dar a conocer a las entidades encargadas de los inmuebles históricos en México (INAH, Conaculta, Gobierno del Estado, etc.), que éste es un itinerario cultural que puede ser reconocido desde la perspectiva turística y sobre todo ya que se encuentra una gran diversidad y riqueza de oferta turística lo vean como una gran oportunidad para poder introducir nuevos inversionistas no solo en el turismo de sol y playa sino también un turismo al interior de la república y que más de 35 municipios del estado de Michoacán, es decir; una 3ra parte de las entidades federativas del estado están precisamente involucradas en el proyecto y que a final de cuentas puedan fortalecer el desarrollo económico, cultural, turístico de más de 35 municipios y además los aledaños a estos. Así como también de esta manera, recibir asesorías de expertos en inmuebles de esta categoría para la implementación de herramientas de última tecnología que ayuden a ubicar, conservar, dar mantenimiento y administrar otros patrimonios camineros construidos o inmuebles que aún se encuentren en el olvido.



8. ABREVIATURAS

Av. Avenida

Blvd. Boulevard

Cd. Ciudad

cm. centímetros

Dgo. Durango

Dpto. Departamento

Estal. Estatal

Fed. Federal

Hgo. Hidalgo

Km. Kilómetros

m. metros

Méx. México.

Mich. Michoacán

mm. milímetros

Mpal. Municipal

Mpio. Municipio

No. Número

Nte. Norte

Nvo(a). Nuevo(a)

pág. página

págs. páginas

Párr. Párrafo o Párrafos

s. siglo

s.f. sin fecha

Sig. Siguiete

Sn. San



Sr. Señor

Sta. Santa

σ . Tensión Normal o Axial

τ . Tensión tangencial



Bibliografía

- 50 Maravillas de Guanajuato. (2009). *50 Maravillas de Guanajuato*. Obtenido de <http://vidayestilo.terra.com.mx/turismo/mexico/san-miguel-de-allende-deja-de-ser-pueblo-magico,f4186f4adad3f310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>
- Alibaba.com. (2016). *spanish.alibaba.com*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/kilkenny-blue-limestone-building-stone-101694737.html>
- Apple Inc. . (2016). *itunes.apple.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <https://itunes.apple.com/us/app/igis/id338967404?mt=8>
- Apple Inc. (2016). *itunes.apple.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de [itunes.apple.com: https://itunes.apple.com/es/app/igis/id338967404?mt=8](https://itunes.apple.com/es/app/igis/id338967404?mt=8)
- ArcGis9. Versión ArcMap 9.3. (s.f.). Sistema de Información Geográfica. México.
- Archivo General de la Nación. (s.f.). *www.agn.gob.mx*. Recuperado el julio de 2016, de www.agn.gob.mx: <http://www.agn.gob.mx/mapilu/index1.htm>
- arcos25.blogspot. (2011). *arcos25.blogspot.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de arcos25.blogspot.mx: <http://arcos25.blogspot.mx/>
- areatecnologia. (s.f.). *www.areatecnologia.com*. Recuperado el 2016, de www.areatecnologia.com: <http://www.areatecnologia.com/materiales/madera.html>
- arqhys. (2015). *arqhys.com*. Recuperado el mayo de 2016, de [arqhys.com](http://www.arqhys.com): www.arqhys.com/articulos/gran-puente-tatara.html
- ARQHYS. (2016). *arqhys.com*. Recuperado el JULIO de 2016, de [arqhys.com](http://www.arqhys.com): <http://www.arqhys.com/construccion/vigas-puentes.html>
- ARQHYS Arquitectura. (2012). *www.arqhys.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.arqhys.com>: <http://www.arqhys.com/construccion/quees-dintel.html>
- ARQHYS Arquitectura. (2016). *arqhys.com*. Recuperado el febrero de 2016, de [arqhys.com](http://www.arqhys.com): <http://www.arqhys.com/articulos/muros-carga.html>
- ARQHYS Arquitectura. (noviembre de 2016). *arqhys.com*. Obtenido de <http://www.arqhys.com>: <http://www.arqhys.com/articulos/construcciones-ciclopeas.html>
- ARQHYS.com. (Noviembre de 2016). *arqhys.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.arqhys.com>: <http://www.arqhys.com/articulos/pilastras-arquitectura.html>
- Arquitectura Arkinetia. (septiembre de 2015). La historia de la Historia de AutoCAD. En M. Ferrer. Recuperado el septiembre de 2016, de es.wikipedia.org.
- Arquitectura Mexicana de los Siglos XVII y XVIII. (agosto de 1992). *Arquitectura Mexicana de los Siglos XVII y XVIII*. En *Colección Arte Novohispano* (pág. 201). Italia: Grupo Azabache. Recuperado el septiembre de 2016, de es.wikipedia.org.
- Arreola Cortés, R. (septiembre de 1991). Morelia. Morevallado Editores. Recuperado el septiembre de 2016, de es.wikipedia.org: <https://es.wikipedia.org/wiki/Morelia>
- AutoCAD2014. (2016). Software de diseño para dibujo 2D y modelado 3D. Morelia, Michoacán, México.



- Autodesk Revit LT. (2013). Recuperado el septiembre de 2016
- AUTODESK.com. (s.f.). *gratisprogramas.biz*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.gratisprogramas.biz/descargar/autodesk-autocad-2014-full-espanol-32-y-64-bits-mega/>
- Ayuntamiento de A Coruña, España. (2009). *ciav.torredeherculesacoruna.com*. Recuperado el julio de 2016, de ciav.torredeherculesacoruna.com: <http://ciav.torredeherculesacoruna.com/epoca-romana/http://ciav.torredeherculesacoruna.com/epoca-romana/>
- Bails, B. (Bails, Benito (1802). Imprenta de la Viuda de Ibarra, ed. Diccionario de arquitectura civil (Primera edición). Madrid. p. 72. de 2013). Diccionario de arquitectura civil (Primera edición). En B. Bails. Madrid, España: Imprenta de la Viuda de Ibarra. Recuperado el Enero de 2016, de wikipedia.org.
- Beaumont, F. P. (abril de 1932). Relación de Michoacán. En F. P. Beaumont. Talleres Gráficos de la Nación. Recuperado el agosto de 2016, de es.wikipedia.org.
- Biografias y Vidas. (2014-2016). *www.biografiasyvidas.com*. Recuperado el octubre de 2016, de www.biografiasyvidas.com: <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/c/cortes.htm>
- blogspot.mx. (2011). *elrincondelospirata.blogspot.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://elrincondelospirata.blogspot.mx/2011/09/arctgis-9version-93-full.html>
- blogspot.mx. (2013). *pelandintecno.blogspot.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://pelandintecno.blogspot.mx/2013/02/salvando-obstaculos-tipos-de-puente.html>
- blogspot.mx. (2014). *estimulosmusicales.blogspot.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://estimulosmusicales.blogspot.mx/2014/12/construye-un-puente-con-una-hoja-de.html>
- bluebagages. (s.f.). *www.bluebagages.com/construccion*. Recuperado el marzo de 2016, de www.bluebagages.com/construccion: <http://www.bluebagages.com/construccion/ladrillo.php>
- bowerbird Ingeniería. Ing. (s.f.). *bowerbirding.com*. Recuperado el octubre de 2016, de bowerbirding.com: <http://bowerbirding.com/puente-baluarte/>
- Bustamante Altamirano, J. (s.f.). Camino Real de Tierra Adentro. *Caminos Principales y Transversales*. Santiago de Querétaro, Querétaro, Querétaro, México.
- cadizenbici. (s.f.). *cadizenbici.org*. Obtenido de [cadizenbici.org](http://www.cadizenbici.org): <http://www.cadizenbici.org/2014/12/mucho-puente-mucho-dinero-gastado-y.html>
- CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. (ENERO de 2015). *LEY FEDERAL SOBRE MONUMENTOS Y ZONAS ARQUEOLÓGICAS, ARTÍSTICAS E HISTÓRICAS*. Obtenido de LEY FEDERAL SOBRE MONUMENTOS Y ZONAS ARQUEOLÓGICAS, ARTÍSTICAS E HISTÓRICAS: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131_280115.pdf
- Cambio de Michoacán. (julio de 2013). *www.cambiodemichoacan.com.mx*. Recuperado el octubre de 2016, de www.cambiodemichoacan.com.mx: <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/nota-201567>
- Caminos.udc. (s.f.). *caminos.udc.es*. Recuperado el mayo de 2016, de caminos.udc.es: http://caminos.udc.es/info/asignaturas/622/contenido_publico/recursos/P2_13_Proceso.pdf



- Cartego.net. (2014). *cartegomart.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de cartegomart.com: <http://cartegomart.com/index.php/flexometro-de-10-metros-gripper-contra-impacto-cinta-1-1-4-truper-fh-10m.html>
- Cartografía Digital. (marzo de 2014). *digimapas.blogspot.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de <https://digimapas.blogspot.mx/2014/03/sasplanet-y-los-birdseye-jnx.html>
- catedu.es. (2009). *catedu.es/aragonromano/puentes.htm*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://catedu.es/aragonromano/puentes.htm>
- Choisy, A. (2003). El arte de construir en Roma. En A. Choisy. Madrid, España: Reverté. Recuperado el Enero de 2016, de wikipedia.org.
- civilgeeks.com. (2016). *civilgeeks.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://civilgeeks.com/2012/03/25/puentes-en-arco-evolucion-y-tendencias-iii/>
- Constructora CM Proyectos. (2016). *constructoracmproyectos.com*. Recuperado el febrero de 2016, de constructoracmproyectos.com: <http://constructoracmproyectos.com/que-es-mamposteria-en-construccion/>
- CONSTRUMATICA. (marzo de 2013). *construmatica.com*. Recuperado el abril de 2016, de construmatica.com: <http://www.construmatica.com/construpedia/Entramado>
- CONSTRUMATICA SERVICIOS DE INFORMACIÓN PROFESIONAL, S.L. (2016). *construmatica.com*. Recuperado el mayo de 2016, de construmatica.com: <http://www.construmatica.com/construpedia/Riostra>
- Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (INAH). (2005). Ficha Nacional de Catálogo de Monumento Histórico Inmueble. Cuauhtémoc , México D.F., México: Subdirección de Catálogo y Zonas y procesado en la Unidad de Informática de la C.N.M.H. Obtenido de catalogo.cnmh@inah.gob.mx, informatica.cnmh@inah.gob.mx
- Costa, M. F. (2009). *Ciències de la Terra i del Medi Ambient*. Castellnou, Barcelona. Recuperado el marzo de 2016, de es.wikipedia.org.
- Cuentame. (s.f.). *cuentame.inegi.org.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de cuentame.inegi.org.mx: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/territorio/default.aspx?tema=me&e=16>
- Cuentame. (s.f.). *cuentame.inegi.org.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de cuentame.inegi.org.mx: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/default.aspx?tema=me&e=16>
- CuevadelCivil. (2013). *cuevadelcivil.com*. Recuperado el junio de 2016, de cuevadelcivil.com: <http://www.cuevadelcivil.com/2011/03/partes-constitutivas-de-un-arco.html>
- culturayrs.org.mx. (s.f.). *culturayrs.org.mx*. Recuperado el octubre de 2016, de <http://www.culturayrs.org.mx/revista/num5/Argueta/Argueta1.htm>
- DefiniciónABC. (2007-2016). *www.definicionabc.com*. Recuperado el marzo de 2016, de www.definicionabc.com: <http://www.definicionabc.com/general/madera.php>
- digimapas.blogspot. (marzo de 2014). *digimapas.blogspot.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de [digimapas.blogspot.mx: https://digimapas.blogspot.mx/2014/03/sasplanet-la-joya-rusa.html](https://digimapas.blogspot.mx/2014/03/sasplanet-la-joya-rusa.html)



- EcuRed. (2016). *ecured.cu*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Argamasa>
- EcuRed.cu. (2016). *www.ecured.cu*. Recuperado el octubre de 2016, de www.ecured.cu:
<https://www.ecured.cu/Encepado>
- Eisenbahnbrueckenquerschnitt.png. (2006). *Eisenbahnbrueckenquerschnitt.png*. Recuperado el septiembre de 2016, de [Eisenbahnbrueckenquerschnitt.png](http://www.ecured.cu/Encepado)
- El País S.A. (14 de septiembre de 2015). *googleusercontent.com*. Recuperado el marzo de 2016, de [googleusercontent.com](http://www.googleusercontent.com):
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.elpais.com.co/elpais/valle/noticias/puente-libertad-buga-declarado-bien-interes-nacional&gws_rd=cr&ei=mOVyV4LJFaWXjwTQu5jwAg
- El Piedadense. (mayo de 2011). *webcache.googleusercontent.com*. Recuperado el agosto de 2016, de [webcache.googleusercontent.com](http://www.webcache.googleusercontent.com):
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://elpiedadense.com/historia/&gws_rd=cr&ei=jm6_V5moOcTXmwG5ubyoBg
- en.mexico.pueblosamerica.com. (s.f.). *en.mexico.pueblosamerica.com*. Obtenido de <http://en.mexico.pueblosamerica.com/foto/las-quiringucas>
- Enciclopedia de la Literatura en México. (2016). *www.elem.mx*. Recuperado el agosto de 2016, de www.elem.mx: <http://www.elem.mx/autor/datos/4053>
- Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. (agosto de 2015). Recuperado el agosto de 2016, de es.wikipedia.org.
- entuobra. (2011). *entuobra.com*. Recuperado el abril de 2016, de [entuobra.com](http://www.entuobra.com):
www.entuobra.com/site/index.php/nota/242-puente-quiroya-una-gran-obra-de-ingenieria-lograda-con-la-tecnologia-de-la-prefabricacion
- Environmental Systems Research Institute, Inc. (2016). *desktop.arcgis.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de desktop.arcgis.com:
<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>
- es.thefreedictionary. (2016). *es.thefreedictionary.com*. Recuperado el abril de 2016, de es.thefreedictionary.com: <http://es.thefreedictionary.com/g%C3%A1libo>
- España Ilustrada. Plantilla Awesome Inc. (s.f.). *spainillustrated.blogspot.mx*. Recuperado el junio de 2016, de spainillustrated.blogspot.mx: spainillustrated.blogspot.mx/2011/09/expedicion-cientifica-al-nuevo-mundo.html
- ESPEJEL.COM. (2010). *www.espejel.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de www.espejel.com: <http://www.espejel.com/nueva/catedral.html>
- Facultad de Ingeniería, UNAM. (s.f.). Obtenido de http://www.ingenieria.unam.mx/herescas/pce_1427/Apuntes_Cimbra.PDF
- Farlex, Inc. (2016). *es.thefreedictionary.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de es.thefreedictionary.com: <http://es.thefreedictionary.com/fuste>
- Farlex, Inc. (2016). *es.thefreedictionary.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de es.thefreedictionary.com: <http://es.thefreedictionary.com/escollera>



- Farlex, Inc. (2016). *es.thefreedictionary.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de [es.thefreedictionary.com: http://es.thefreedictionary.com/percolaci%C3%B3n](http://es.thefreedictionary.com/percolaci%C3%B3n)
- Farlex, Inc. (2016). *es.thefreedictionary.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de [es.thefreedictionary.com: http://es.thefreedictionary.com/percolaci%C3%B3n](http://es.thefreedictionary.com/percolaci%C3%B3n)
- Farlex, Inc. (agosto de 2016). *es.thefreedictionary.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de [es.thefreedictionary.com: http://es.thefreedictionary.com/estribo](http://es.thefreedictionary.com/estribo)
- Fatás, G., & Borrás, G. (1993). Diccionario de términos de Arte. del Prado. Recuperado el septiembre de 2016, de es.wikipedia.org.
- flickr.com. (2008). *flickr.com*. Obtenido de <https://www.flickr.com/photos/finalboss/2879554120>
- flickriver.com. (s.f.). *flickriver.com*. Obtenido de <http://www.flickriver.com/places/Mexico/Michoacan+de+Ocampo/Car%C3%A1cuaro+de+Morelos/search/>
- fundacionarmella.org. (junio de 2013). *fundacionarmella.org*. Recuperado el octubre de 2016, de <http://www.fundacionarmella.org/blogazine/sabias-que/los-tamemes/>
- galeon. (s.f.). *galeon.com/hispavista*. Recuperado el Diciembre de 2015, de <http://puentes.galeon.com/materiales/materiales.htm>
- Galeon. com. (s.f.). *puentes.galeon.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de [puentes.galeon.com: http://puentes.galeon.com/tipos/pontsvigas.htm](http://puentes.galeon.com/tipos/pontsvigas.htm)
- Galeon.com. (2016). *flexometro.galeon.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de [flexometro.galeon.com: http://flexometro.galeon.com/](http://flexometro.galeon.com/)
- Galeon.com. (s.f.). *lapiemich.galeon.com*. Recuperado el agosto de 2016, de [lapiemich.galeon.com: http://lapiemich.galeon.com/](http://lapiemich.galeon.com/)
- GARCÍA CHÁVEZ, J. D. (Marzo de 2016). UMSNH. *Elaboración propia*. Morelia, Michoacán, México.
- Garza, E. Z. (Productor), & B, G. G. (Dirección). (2009). *Huellas sobre huellas* [Película]. México. Recuperado el abril de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=Ib-NbxBjzss>
- Geografía Física. (2012). *glosarios.servidor-alicante.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://glosarios.servidor-alicante.com/geografia-fisica/termoclastia>
- Glifo Michhuahcān.png. (agosto de 2009). Recuperado el septiembre de 2016
- Gobierno del Estado de Durango. (2010). *www.visitadurango.mx*. Recuperado el octubre de 2016, de [www.visitadurango.mx: http://www.visitadurango.mx/terra_adentro](http://www.visitadurango.mx/terra_adentro)
- GOOGLE MAPS. (junio de 2016). SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS). Morelia, Michoacán, México.
- Grupo ACRE, S.L. (s.f.). *grupoacre.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.grupoacre.com/leica-disto/productos/ver/leica-disto-d510>
- Grupo Aviare Editorial. (2016). *revistabuenviaje.com*. Recuperado el octubre de 2016, de <http://www.revistabuenviaje.com/conocemexico/destinos/durango/ojuela/ojuela.php>
- Grupo Tradeco. (2013). *PUENTE ESPECIAL BALUARTE*. G. M. Editores, S.A de C.V. Recuperado el diciembre-abril de 2016



- guadalajaradebuga-valle. (s.f.). *guadalajaradebuga-valle.gov.co*. Recuperado el marzo de 2016, de guadalajaradebuga-valle.gov.co: http://guadalajaradebuga-valle.gov.co/apc-aa-files/65333662393839336238333137313065/img_9787.jpg
- hermandadrociosevilla. (s.f.). *hermandadrociosevilla.com*. Recuperado el marzo de 2016, de [hermandadrociosevilla.com](http://www.hermandadrociosevilla.com): <http://www.hermandadrociosevilla.com/EL%20ROCIO/PAGINAS%20OK/Ajoli.htm>
- Hildebrandt Gruppe. (s.f.). *www.hildebrandt.cl*. Recuperado el septiembre de 2016, de www.hildebrandt.cl: <http://www.hildebrandt.cl/que-es-revit-y-para-que-sirve-en-el-modelado-bim/>
- Historia Universal. (2015). *www.historiacultural.com*. Recuperado el junio de 2016, de www.historiacultural.com: <http://www.historiacultural.com/2015/02/caminos-mayas-sacbe-sacbeob.html>
- lasa Comunicación. (2016). *www.mexicodesconocido.com.mx*. Recuperado el 2016 , de www.mexicodesconocido.com.mx: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/tzintzuntzan-michoacan-pueblos-magicos-mexico.html>
- lasa Comunicación. (2016). *www.mexicodesconocido.com.mx*. Recuperado el agosto de 2016, de www.mexicodesconocido.com.mx: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/tzintzuntzan-austeridad-sobria-y-misteriosa-michoacan.html>
- identi.li. (2014). *identi.li*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.identi.li/index.php?topic=338563>
- iedA. (s.f.). *agrega.juntadeandalucia.es*. Recuperado el julio de 2016, de agrega.juntadeandalucia.es: http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/01042012/08/es-an_2012040113_9105433/ODE-1ab01d3f-1bc3-3d53-b06c-aa4141e4cd23/21__las_fuentes_itinerarias_y_la_sealizacin.html
- INAFED. (s.f.). *inafed.gob.mx*. Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16013a.html>
- INAFED. (s.f.). *www.inafed.gob.mx*. Recuperado el agosto de 2016, de www.inafed.gob.mx: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16102a.html>
- Inafed.gob. (s.f.). *webcache.googleusercontent.com*. Recuperado el agosto de 2016, de webcache.googleusercontent.com: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16069a.html&gws_rd=cr&ei=iG6_V9D5H8PnmAGErZbwBQ
- INEGI. (2010).
- INEGI. (2010). *cuentame.inegi.org.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de cuentame.inegi.org.mx: http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div_municipal/michmpios.pdf
- INEGI. (2010). *cuentame.inegi.org.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de cuentame.inegi.org.mx: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/poblacion/diversidad.aspx?tema=me&e=16>
- INEGI. (2015). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.



- ingenierocivilinfo.com. (2015). *ingenierocivilinfo.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/01/puentes-de-vigas-armadas-y-puentes.html>
- ingenierocivilinfo.com. (2015). *ingenierocivilinfo.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/01/puentes-de-vigas-armadas-y-puentes.html>
- ingenierocivilinfo.com. (2015). *ingenierocivilinfo.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2012/01/secciones-transversales-empleadas-en.html>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2011). *www.imcyc.com*. Recuperado el marzo de 2016, de www.imcyc.com: <http://www.imcyc.com/revistacyt/ago11/arthistorico.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f. de 2008). Recuperado el septiembre de 2016
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (agosto de 2010). Recuperado el septiembre de 2016
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Recuperado el agosto de 2016
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (septiembre de 2010). *Michoacán de Ocampo*. Recuperado el septiembre de 2016, de es.wikipedia.org.
- Lajo Pérez, R. (1990). *Léxico de arte*. En R. Lajo Pérez. Madrid, España: Akal. Recuperado el septiembre de 2016, de es.wikipedia.org.
- LAJO, R. (1990). *Léxico de arte*. En R. LAJO, *Léxico de arte*. Madrid, España: Akal. Obtenido de www.google.com.mx.
- leonardoqta03.blogspot. (abril de 2013). *leonardoqta03.blogspot.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de leonardoqta03.blogspot.mx: <http://leonardoqta03.blogspot.mx/2013/04/que-es-autocad-y-para-que-nos-sirve.html>
- LinkedIn Corporation. (2016). *es.slideshare.net*. Recuperado el mayo de 2016, de es.slideshare.net: <http://es.slideshare.net/dianamarcelacard/trabajo-de-informatica-estructuras-y-puentes2-18809296>
- LinkedIn Corporation. (2013). *slideshare.net*. Recuperado el 2016, de slideshare.net: <http://es.slideshare.net/jefriv/mamposteria>
- LOS CAMINOS DE LA HISTORIA: ÉPOCA VIRREINAL. (s.f.). En A. A. Torres Acosta, C. Cramaussel Vallet, & J. Bustamante Altamirano. Santiago de Querétaro, México.
- Los Viajeros. (2013). *losviajeros.com*. Recuperado el mayo de 2016, de losviajeros.com: <http://www.losviajeros.com/Tips.php?p=997>
- Málaga. (2016). *principia-malaga.com*. Recuperado el Diciembre de 2015, de <http://www.v/p/images/pdf/dovelas.pdf>
- Martínez, J. L., Martín-Caro, J. A., & León, J. (2003). *Evaluación estructural de puentes arco de fábrica*.
- MegaConstrucciones. (s.f.). *megaconstrucciones.net*. Recuperado el abril de 2016, de megaconstrucciones.net: <http://megaconstrucciones.net/?construccion=puede-forth#ixzz40Yk0sdWk>
- Mexplora.com. (2016). *turismo.mexplora.com*. Obtenido de <http://turismo.mexplora.com/camino-real-de-tierra-adentro/>



- MI MÉXICO DE AYER. (julio de 2013). *mimejicodeayer.blogspot.mx*. Recuperado el octubre de 2016, de : <http://mimejicodeayer.blogspot.mx/2013/07/la-ruta-de-la-plata.html>
- MILIARIUM. (2008). *miliarium.com*. Recuperado el mayo de 2016, de miliarium.com: <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/Elementos.asp>
- Miliarium.com. (2008). *www.miliarium.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp: <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp>
- Mobypicture.com. (2015). *www.mobypicture.com*. Recuperado el octubre de 2016, de www.mobypicture.com: <http://www.mobypicture.com/user/Mack922/view/8036955/sizes/full>
- Morelia localidades.svg. (julio de 2010). Recuperado el septiembre de 2016
- MOS INGENIEROS. (2014). *mosingenieros.com*. Recuperado el MAYO de 2016, de mosingenieros.com: http://www.mosingenieros.com/2012_09_01_archive.html
- mudejares.blogspot. (13 de marzo de 2012). *documentosmudejares.blogspot.mx*. Recuperado el septiembre de 2016, de Documentos Mudéjares: <http://documentosmudejares.blogspot.mx/2012/03/alfiz.html>
- Municipios Michoacán. (s.f.). *municipiosmich.gob.mx*. Obtenido de <http://www.municipiosmich.gob.mx/>
- Nawy, E. G. (febrero de 2016). Prestressed Concrete. En E. G. Nawy. Prentice Hall. Recuperado el septiembre de 2016, de es.wikipedia.org.
- ocw. (s.f.). *ocw.usal.es*. Obtenido de [ocw.usal.es: ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/ingenieria-civil/contenido/TEMA%207-%20PUENTES.pdf](http://ocw.usal.es/ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/ingenieria-civil/contenido/TEMA%207-%20PUENTES.pdf)
- Parro.com.ar. (2016). *www.parro.com.ar*. Recuperado el septiembre de 2016, de [www.parro.com.ar: http://www.parro.com.ar/definicion-de-plinto](http://www.parro.com.ar/definicion-de-plinto)
- patrimonio-mexico.inah.gob.mx. (s.f.). *designacionesunesco.conanp.gob.mx*. Recuperado el octubre de 2016, de www.google.com.mx: <http://designacionesunesco.conanp.gob.mx/>
- Pawlowski, A. (Noviembre de 2011). The joys of slowly savoring Paris. En A. Pawlowski, *The joys of slowly savoring Paris*. París, Francia. Recuperado el marzo de 2016, de wikipedia.org.
- Pereyra. (s.f.). Capitulo X. En Pereyra. Recuperado el octubre de 2016, de www.google.com.mx.
- Periódico Cambio de Michoacán. (marzo de 2015). *www.cambiodemichoacan.com.mx*. Recuperado el agosto de 2016, de www.cambiodemichoacan.com.mx: <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/nota-249340>
- practicaingenieria. (s.f.). *practicaingenieria.wordpress.com*. Recuperado el mayo de 2016, de practicaingenieria.wordpress.com: <https://practicaingenieria.wordpress.com/2014/03/24/el-puente-colgante-mas-alto-del-mundo-baluartebicentenario-en-mexico/>
- previews.123rf. (s.f.). *previews.123rf.com*. Recuperado el marzo de 2016, de previews.123rf.com: <http://previews.123rf.com/images/nikonaft/nikonaft1211/nikonaft121100041/16615641-Puente-Pont-des-Arts-o-Pasarela-de-las-Artes-a-trav-s-del-r-o-Sena-en-Par-s-Francia--Foto-de-archivo.jpg>
- Prezi Inc. (2016). *prezi.com*. Recuperado el junio de 2016, de prezi.com: <https://prezi.com/cwxmzsabm4va/armaduras-y-cerchas/>



- Puente Chilina. (2013). *puentechilina.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.puentechilina.com/carros-de-avance/>
- Puente Historia. (2016). *proyectoclavijo.wikispaces.com*. Obtenido de <https://proyectoclavijo.wikispaces.com/PuenteHistoria>
- puentemania. (2011). *puentemania.com*. Recuperado el marzo de 2016, de [puentemania.com: http://www.puentemania.com/wp-content/uploads/2011/10/puente-de-ironbridge-gorge-13.jpg](http://www.puentemania.com/wp-content/uploads/2011/10/puente-de-ironbridge-gorge-13.jpg)
- puentemania. (2011). *puentemania.com*. Recuperado el abril de 2016, de [puentemania.com: http://www.puentemania.com/623](http://www.puentemania.com/623)
- puentemania. (2011). *puentemania.com*. Recuperado el mayo de 2016, de [puentemania.com: www.puentemania.com/3501](http://www.puentemania.com/3501)
- puentemania. (2011). *www.puentemania.com*. Recuperado el marzo de 2016, de [www.puentemania.com: http://www.puentemania.com/171](http://www.puentemania.com/171)
- PUENTEMANIA. (2011). *www.puentemania.com*. Recuperado el marzo de 2016, de [www.puentemania.com: http://www.puentemania.com/1605](http://www.puentemania.com/1605)
- puentemania. (2013). *puentemania.com*. Recuperado el abril de 2016, de [puentemania.com: www.puentemania.com/4741](http://www.puentemania.com/4741)
- puentes.galeon. (Diciembre de 2015). *puentes.galeon.com*. Obtenido de [puentes.galeon.com: http://puentes.galeon.com/materiales/materiales.htm](http://puentes.galeon.com/materiales/materiales.htm)
- puentes.galeon.com. (2015). *puentes.galeon.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://puentes.galeon.com/tipos/pontsvigas.htm>
- puentes.galeon.com. (s.f.). *puentes.galeon.com*. Obtenido de <http://puentes.galeon.com/tipos/pontsmadera.htm>
- puentesgaleon. (2015). *puentes.galeon.com*. Recuperado el abril de 2016, de [puentes.galeon.com: http://puentes.galeon.com/tipos/pontscolgantes.htm](http://puentes.galeon.com/tipos/pontscolgantes.htm)
- puentesnacho. (2015). *puentes1nacho.blogspot.mx*. Recuperado el abril de 2016, de [puentes1nacho.blogspot.mx: http://puentes1nacho.blogspot.mx/p/puentes-en-mensula.html](http://puentes1nacho.blogspot.mx/p/puentes-en-mensula.html)
- Real Academia de Ingeniería. (julio de 2016). *diccionario.raing.es*. Recuperado el septiembre de 2016, de [diccionario.raing.es: http://diccionario.raing.es/es/lema/estribo-esviado](http://diccionario.raing.es/es/lema/estribo-esviado)
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2016). Diccionario de la Lengua Española. Madrid, España. Obtenido de es.wikipedia.org.
- Real Academia Española. (2016). *dle.rae.es*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=Rslblz8>
- Real Academia Española. (2016). *dle.rae.es*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=Rqze9FG>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2016). *dle.rae.es*. Recuperado el septiembre de 2016, de [dle.rae.es: http://dle.rae.es/?id=L5po7LQ](http://dle.rae.es/?id=L5po7LQ)
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2016). *dle.rae.es*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://dle.rae.es/?id=4r0yFkM>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2016). *dle.rae.es*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=35PGOyU>



- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2016). *dle.rae.es*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=FSTQcWO>
- Real Academia Española. (2016). *dle.rae.es/?id=QHiso1I*. Recuperado el agosto de 2016, de <http://dle.rae.es/?id=QHiso1I>
- Real Academia Española. (2016). *http://dle.rae.es/?id=Sx1NDzh*. Recuperado el febrero de 2016, de <http://dle.rae.es/?id=Sx1NDzh>
- roble.pntic.mec.es. (s.f.). *roble.pntic.mec.es*. Obtenido de <http://roble.pntic.mec.es/~mbedmar/iesao/historia/construc.htm>
- saberyhacer. (s.f.). *saberyhacer.com*. Recuperado el marzo de 2016, de *saberyhacer.com*: <http://saberyhacer.com/tipos-de-ladrillos-para-construccion>
- Sacbe Dzibilchaltun.jpg. (2002). Recuperado el abril de 2016
- SAS.Planet.bin. (2016). Programa de Posicionamiento Global Atlassian. Rusia.
- Scribd Inc. (2016). *es.scribd.com*. Recuperado el octubre de 2016, de *es.scribd.com*: <https://es.scribd.com/doc/51966739/Arriostramiento>
- Scribd Inc. (2016). *es.scribd.com*. Recuperado el octubre de 2016, de *es.scribd.com*: <https://es.scribd.com/doc/49406180/ZAMPEADOS>
- Scribd Inc. (2016). *Universidad Técnica de Machala*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/141021447/Evolucion-Historica-de-Los-Puentes-II>
- SCT e Imcyc. (s.f.). *www.imcyc.com/50/simposi09/empresa_organismo/mesa1y2/3M1_SCTHernandez.pdf*. Recuperado el septiembre de 2016, de *www.imcyc.com/50/simposi09/empresa_organismo/mesa1y2/3M1_SCTHernandez.pdf*: http://www.imcyc.com/50/simposi09/empresa_organismo/mesa1y2/3M1_SCTHernandez.pdf
- SCT.gob. (2012). *www.sct.gob.mx*. Recuperado el octubre de 2016, de *www.sct.gob.mx*: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/estadistica/Anuarios/ANUARIO-2012.pdf>
- Sistemas de Información Geográfica SIG. (junio de 2016). *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado el septiembre de 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>
- Sogestone. (2011). *sogestone.com*. Recuperado el octubre de 2016, de *sogestone.com*: <http://sogestone.com/tecnicas/mamposteria.html>
- Stanford University, Stanford, California 94305. (s.f.). *searchworks.stanford.edu*. Recuperado el agosto de 2016, de *searchworks.stanford.edu*: <https://searchworks.stanford.edu/view/2200025>
- Stanford University, Stanford, California 94305. (s.f.). *searchworks.stanford.edu*. Recuperado el agosto de 2016, de *searchworks.stanford.edu*: <https://searchworks.stanford.edu/view/2200025>
- Suministros Industriales Hermanos Billete S.L. (2013). *suministrosherbi.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://suministrosherbi.com/productos/medicion/cinta-metrica>
- Suministros industriales Pasai S.A. (2015). *pasaisa.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <https://www.pasaisa.com/es/leica-disto-d510.html>



- TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf. (s.f.). *oa.upm.es*. Recuperado el septiembre de 2016, de oa.upm.es: http://oa.upm.es/9467/1/Tesis_master_Yulia_Demchenko.pdf
- TheBestTravelled.com. (2016). *thebesttravelled.com*. Recuperado el octubre de 2016, de <http://thebesttravelled.com/es/story/view/98#.WCaWAWrhDIU>
- Tiposde.org. (2016). *tiposde.org*. Recuperado el marzo de 2016, de <http://www.tiposde.org/construccion/396-tipos-de-ladrillos/>
- TodoIngenieria. (2015). *tododeingenieria.blogspot.mx*. Recuperado el abril de 2016, de [tododeingenieria.blogspot.mx](http://tododeingenieria.blogspot.mx/p/los-puentes.html): <http://tododeingenieria.blogspot.mx/p/los-puentes.html>
- TRABIS. (2016). *trabis.com.mx*. Recuperado el julio de 2016, de [trabis.com.mx](http://trabis.com.mx/trabis1/Empresa): <http://trabis.com.mx/trabis1/Empresa>
- Treviño, M. F., Ramos Medina, M., González Pera, J. L., & López, F. J. (29 de Junio de 2016). REUNIÓN BINACIONAL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO, EUA Y MÉXICO. *REUNIÓN BINACIONAL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO, EUA Y MÉXICO*. Cd. de México, DF., México, México.
- uclm.es. (2016). *www.uclm.es*. Recuperado el septiembre de 2016, de [www.uclm.es](http://www.uclm.es/users/higueras/Tema/Campos/balasto.htm): <http://www.uclm.es/users/higueras/Tema/Campos/balasto.htm>
- ULMA C y E, S. Coop. (2015). *ulmaconstruction.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.ulmaconstruction.com/es/encofrados/encofrado-puentes/carro-avance-cvs>
- ULMA C y E, S. Coop. (2015). *ulmaconstruction.es*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.ulmaconstruction.es/es-es/encofrados/encofrado-puentes/auto-cimbra-ca-55>
- ULMA C y E, S. Coop. (2015). *ulmaconstruction.es*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.ulmaconstruction.es/es-es/encofrados/encofrado-puentes/auto-cimbra-ca-55>
- ulmaconstruction.es. (2015). *www.ulmaconstruction.es*. Recuperado el septiembre de 2016, de [www.ulmaconstruction.es](http://www.ulmaconstruction.es/es-es/encofrados/encofrado-puentes/auto-cimbra-ca-55): <http://www.ulmaconstruction.es/es-es/encofrados/encofrado-puentes/auto-cimbra-ca-55>
- UNESCO World Heritage Centre. (2015). En *Camino Real de Tierra Adentro*. Recuperado el septiembre de 2016, de www.google.com.mx.
- Universidad Marista de Querétaro AC. (s.f.). USO DE LAS GEOTECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA LA UBICACIÓN DEL CAMINO REAL DE TIERRA ADENTRO EN QUERÉTARO, MÉXICO. En A. ... Torres Acosta, J. Bustamante Altamirano, & I. N. Mendoza Pérez. Santiago de Querétaro, México.
- Univo.edu. (Enero de 2016). *Univo.edu.sv*. Obtenido de [Univo.edu.sv](http://www.univo.edu.sv): http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/019116/019116_Cap2.pdf
- upcommons. (s.f.). *upcommons.upc.edu*. Recuperado el abril de 2016, de [upcommons.upc.edu](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3284/53977-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y): <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3284/53977-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Urbán Martínez, E., & Rincón, L. (2011). Itinerario Cultural Inscrito en la lista de Patrimonio Cultural del Camino Real de Tierra Adentro. México. Recuperado el enero de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=rShYMZJziy8>



- Urbanismo. com. (s.f.). *www.urbanismo.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de [www.urbanismo.com](http://www.urbanismo.com/puente-de-vigas/): <http://www.urbanismo.com/puente-de-vigas/>
- vallderoures. (abril de 2016). *vallderoures.com*. Obtenido de [vallderoures.com](http://vallderoures.com/natura.html): <http://vallderoures.com/natura.html>
- vamonosalbable.blogspot.mx. (julio de 2015). *vamonosalbable.blogspot.mx*. Obtenido de <http://vamonosalbable.blogspot.mx/2015/07/caracuaro-michoacan-un-pueblo-que-bien.html>
- Vasco de quiroga.jpg. (2007). Recuperado el septiembre de 2016
- vBulletin Solutions, Inc. (2016). *www.purepecha.mx*. Recuperado el agosto de 2016, de [www.purepecha.mx](http://www.purepecha.mx/threads/3967-Planeaci%C3%B3n-Territorial-y-Urbanismo-durante-el-Reinado-P-urh%C3%A9pecha): <http://www.purepecha.mx/threads/3967-Planeaci%C3%B3n-Territorial-y-Urbanismo-durante-el-Reinado-P-urh%C3%A9pecha>
- Villarino Otero, Alberto; Escuela Politécnica Superior de Ávila. (s.f.). *ocw.usal.es*. Recuperado el abril de 2016, de [ocw.usal.es](http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/ingenieria-civil/contenido/TEMA%207-%20PUENTES.pdf): ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/ingenieria-civil/contenido/TEMA%207-%20PUENTES.pdf
- WordPress. (diciembre de 2015). *www.sostecnic.com*. Recuperado el octubre de 2016, de [www.sostecnic.com](http://www.sostecnic.com/redsocal/adobe/): <http://www.sostecnic.com/redsocal/adobe/>
- WordPress.com. (2009). *lapiedadymiregion.wordpress.com*. Recuperado el agosto de 2016, de [lapiedadymiregion.wordpress.com](https://lapiedadymiregion.wordpress.com/municipios-monografias/monografia-de-la-piedad/): <https://lapiedadymiregion.wordpress.com/municipios-monografias/monografia-de-la-piedad/>
- Wordpress.com. (DICIEMBRE de 2010). *lapiedadymiregion.wordpress.com*. Recuperado el AGOSTO de 2016, de [lapiedadymiregion.wordpress.com](https://lapiedadymiregion.wordpress.com/municipios-monografias/monografia-de-penjamillo/): <https://lapiedadymiregion.wordpress.com/municipios-monografias/monografia-de-penjamillo/>
- Wordpress.com. (junio de 2010). *lapiedadymiregion.wordpress.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de [lapiedadymiregion.wordpress.com](https://lapiedadymiregion.wordpress.com/municipios-monografias/monografia-de-angamacutiro/): <https://lapiedadymiregion.wordpress.com/municipios-monografias/monografia-de-angamacutiro/>
- wordpress.com. (2016). *estudiandoloartistico.wordpress.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <https://estudiandoloartistico.wordpress.com/2014/06/29/la-ciudad-palatina-de-medinat-al-zahra/2-3/>
- wordreference. (2016). *wordreference.com*. Recuperado el mayo de 2016, de [wordreference.com](http://www.wordreference.com/definicion/p%C3%A9ndola): <http://www.wordreference.com/definicion/p%C3%A9ndola>
- wordreference.com. (2016). *wordreference.com*. Recuperado el septiembre de 2016, de <http://www.wordreference.com/definicion/arcada>



ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE PUENTES CONSTRUIDOS ENTRE LOS SIGLOS XVI Y XIX Y SUS CARACTERÍSTICAS GENERALES.

A lo largo de la historia se han empleado cuatro materiales básicos para construir puentes: la madera, la piedra, el hierro y el hormigón. A estos cuatro hay que añadir otros dos que se han empleado con menor frecuencia: el ladrillo, hecho de arcilla recocida; y el aluminio, que se ha utilizado excepcionalmente para construir puentes o partes de ellos. Actualmente se están utilizando también materiales compuestos, formados por fibras de materiales muy resistentes incluidos en una matriz de resina, aunque todavía estamos lejos de que estos materiales puedan competir en los puentes con los materiales actuales. (galeon, s.f.)

Los dos primeros, la madera y la piedra, se pueden considerar naturales porque se obtienen directamente de la naturaleza y se utilizan sin ninguna transformación, únicamente es necesario darles forma. Los otros dos, el hierro y el hormigón, son artificiales, porque las materias primas extraídas de la naturaleza requieren transformaciones más o menos complejas que cambian sus propiedades físicas.

Los cuatro materiales básicos han dado lugar a variantes y elementos compuestos que, extrapolando el significado de la palabra material, podemos considerarlos nuevos materiales.

Los materiales han tenido y tienen una importancia decisiva en la configuración de las estructuras y por tanto de los puentes. Por ello, la historia de éstos se puede dividir en dos grandes períodos: *el período de los puentes de piedra y madera y el período de los puentes de hierro y hormigón*. (galeon, s.f.)

Para un mejor entendimiento de los dos grandes periodos en que se dividieron los materiales de la construcción de puentes, revisar el anexo colocado al final de este documento.

En el primer período se utilizaron los dos materiales que hemos considerado naturales, la piedra y la madera. Se utilizó también el ladrillo, pero los puentes de este material se pueden incluir como subgrupo de los de la piedra; el ladrillo, para el constructor de puentes, es un pequeño sillar con el que se pueden hacer arcos de dovelas yuxtapuestas³²; por tanto la morfología de los puentes de ladrillo es la misma que la de los puentes de piedra. (galeon, s.f.)

³² Dodelas yuxtapuestas.- La dovela es una piedra tallada en forma de cuña que sirve para formar arcos y bóvedas, es un elemento constructivo que conforma un arco y que puede ser de diferentes materiales, como ladrillo o piedra. Actualmente se elaboran en hormigón (concreto) armado o pretensado. (Málaga, 2016)



Los puentes de piedra se conservan en demasía porque es un material durable, pero en cambio de madera se conservan muy pocos ya que es un material que se degrada con facilidad si no se le da el mantenimiento adecuado, dado a que es un material bastante vulnerable al fuego y a las avenidas de los ríos. En este primer período, la tecnología de los puentes estaba poco desarrollada, y por ello los materiales tenían una influencia decisiva en su configuración.

En el segundo período, el de los puentes metálicos y de hormigón, los materiales también tuvieron gran importancia en la configuración de los puentes, pero más que ello las han tenido las distintas estructuras que tuvieron un espectacular desarrollo en el siglo XIX, y ello dió lugar a procesos cuasi-independientes de cada equipo.

El hierro fundido se empezó a utilizar como material de construcción a finales del s. XVIII y ello supuso una auténtica revolución en los puentes; puede establecerse que este hecho dió lugar a un nuevo período de su historia. Se utilizó inicialmente en forma de piezas fundidas que se ensamblaban en obra mediante pernos. Del hierro fundido se pasó al hierro forjado a mediados de s. XIX, de mayor resistencia y de regularidad y, a finales del mismo siglo al acero, que superó a los dos anteriores en resistencia y calidad. El nuevo material, el hierro, fue la primera causa, del espectacular desarrollo que se produjo en los puentes durante el s. XIX.

A finales del s. XIX apareció el hormigón, piedra artificial, más concretamente un conglomerado, que permitió hacer arcos mayores que los de piedra natural. Este nuevo material dió lugar muy pronto a un nuevo sistema de hacer estructuras: el *hormigón armado*, una colaboración entre el hierro y el hormigón, que permite construir vigas de luces considerables y afinar las dimensiones de los arcos, lo que no es posible con el hormigón en masa ni con la piedra. Posteriormente, al terminar la primera mitad del siglo XX, apareció el *hormigón pretensado*, una forma de colaboración más perfecta entre el acero y el hormigón, que amplió extraordinariamente las posibilidades del hormigón armado. (puentes.galeon, 2015, pág. 1)

Los nuevos materiales que han ido apareciendo a lo largo de la Historia, han dado lugar a innovaciones en los puentes, y a evoluciones de su tipología para adaptarse a sus características. Al aparecer un nuevo material, los primeros puentes que se construyen con él se proyectan con los tipos y formas de los anteriores, que se habían hecho con otros materiales. Toda innovación tecnológica produce desorientación inicial, pero al irse desarrollando la tecnología del nuevo material, los puentes van evolucionado hasta llegar a su madurez y, en ella se consigue una adecuación de materiales, estructuras y formas. Los primeros puentes de hierro imitaron a los de piedra y madera, y los primeros de hormigón a los metálicos.

El material es fundamental en la concepción de un puente, porque sus características resistentes son la que determinan las dimensiones de cada uno de los elementos que lo componen, e influye decisivamente en la organización de su



estructura. Además de ello, el material tiene unas posibilidades tecnológicas determinadas en lo que se refiere a fabricación, uniones, formas de los elementos básicos, etc., que son fundamentales a la hora de proyectar un puente. Pero lo expuesto anteriormente no nos debe llevar a la idea de que los materiales determinan unívocamente los tipos de puentes; dentro de las posibilidades de cada uno de ellos cabe distintos tipos y distintas formas, como fácilmente se puede comprobar si observamos un conjunto de puentes de un mismo material, hechos en diferentes épocas, con diferentes condiciones del medio, o proyectados por distintas personas. Excepcionalmente, *en los puentes de piedra sólo cabe un tipo de estructura: el arco de dovelas yuxtapuestas*; pero entre ellos hay diferencias sustanciales de forma, y esto se puede comprobar también si observamos unos cuantos de ellos de distintos períodos, tamaños, morfologías del cauce, etc.

La resistencia específica del material es la que determina en mayor medida las posibilidades de las estructuras. De ella dependen los claros máximos que se pueden alcanzar en los puentes de cada tipo de estructura; en primer lugar por el claro límite, es decir; el máximo que puede soportar su propio peso, es función de esta resistencia; y en segundo lugar porque influye decisivamente en los procedimientos de construcción. Cuanto mayor sea la resistencia específica del material, más ligera será la estructura, y por tanto menos pesarán las partes en que se divida. Esto facilita la construcción, porque los pesos de las piezas a montar o a fabricar serán menores, y por tanto se puede llegar a estructuras más grandes.

Hay otros factores que intervienen en la construcción de un puente, pero básicamente las posibilidades de construcción dependen de la resistencia específica del material, y por ello los puentes de mayor claro han sido y serán siempre metálicos, hasta que se desarrollen nuevos materiales. (puentes.galeon, 2015, pág. 1)

	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	TRACCIÓN
PREHISTORIA	ARCILLA (tapial, adobe, ladrillo)	MADERA	CUERDAS
HISTORIA CLÁSICA	PIEDRA	MADERA	MADERA, GRAPAS METÁLICAS
S. XIX	FUNDICIÓN	MADERA	CADENAS DE HIERRO
S.XX (1a. 1/2)	HORMIGÓN EN MASA, ACERO LAMINADO	HORMIGÓN ARMADO, ACERO LAMINADO	CABLES DE ACERO
S.XX (2a. 1/2)	HORMIGONES ESPECIALES, ACERO LAMINADO	MADERAS LAMINADAS, HORMIGÓN PRETENSADO, ACERO LAMINADO, ALEACIONES LIGERAS	CABLES DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA, ALTO LÍMITE ELÁSTICO Y BAJA RELAJACIÓN

Tabla 37. Distinta utilización de los materiales en las sucesivas épocas históricas. (puentes.galeon, 2015)



"La distinta utilización de los materiales es una de las más evidentes manifestaciones de las capacidades tecnológicas de las sucesivas épocas históricas. El cambio de los materiales orgánicos por inorgánicos, la posterior incorporación de la piedra y su lucha con la metalurgia y la más reciente sustitución de los materiales mono resistentes (tracción o compresión) por bi-resistentes (tracción y compresión)" (puentes.galeon, 2015)

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS PUENTES

Los puentes se clasifican de acuerdo a su característica predominante, es decir atendiendo a su tamaño, materiales con que se construyen, uso, duración y operación.

A continuación se resume la clasificación convencional de los puentes, esta clasificación es universalmente utilizada básicamente por el Ingeniero diseñador de puentes.

POR SU TAMAÑO.

- Pasos elevados
- Alcantarillas
- Puentes propiamente dichos
- Viaductos: De madera, mampostería, concreto armado, hierro estructural.
- Acueductos

SEGÚN EL MATERIAL EMPLEADO.

- Mampostería
- Madera
- Concreto Armado
- Acero Compuestos
- Hierro forjado

SEGÚN SU USO.

- Peatonal
- Carretero
- Ferrocarrilero

POR SU DURACIÓN.

Puentes provisionales:

- De madera
- Metálicos
- Puentes definitivos

POR SU CONDICIÓN DE OPERACIÓN.

Puentes fijos:

- Provisionales
- Definitivos (Univo.edu, 2016, pág. 38 y 39)



Generalmente la estructura de un puente no está constituida por un solo tipo de Material. Los puentes de arcos hechos con mampostería de ladrillos, preferiblemente tendrán las bases construidas con mampostería de piedra, con el objeto de darles mayor consistencia y hacerlas más resistentes al embate de las aguas del río.

Así mismo, un puente cuyo tablero sea de madera podría tener las fundaciones de mampostería de piedra o de concreto. Los puentes con tableros metálicos, cuando son de cierta envergadura o cuando el suelo es agresivo al metal, tendrán sus bases construidas con otro material.

En puentes cuyo tablero es de concreto reforzado o preesforzado (pretensado y postensado); las columnas de las pilas y sus fundaciones, los estribos y los muros, serán de concreto reforzado. Las anteriores descripciones solo son un ejemplo de las combinaciones que pueden lograrse. A continuación sólo se mencionarán los posibles tipos de puentes que encontraremos durante el estudio que se realizará in situ.

- Puentes de Losas o Placas (Caja y Losa). La estructura de éste tipo de puente, consiste en una plancha de concreto reforzado o preesforzado. Si sus apoyos son de mampostería se denomina Puente Tipo Losa, si en el caso que estos apoyos son revestidos de concreto se conoce como Puente Tipo Caja.
- Puentes de Vigas. El elemento principal de éste tipo de puente es la viga, las cuales soportan el tablero generalmente de concreto reforzado. Este tipo de puente consiste en varias vigas, las cuales van separadas paralelamente de 1, 1.50 a 2 metros de distancia; estas vigas aparte de soportar el tablero, salvan la distancia entre estribos y pilas.
- Los puentes de vigas de madera o puentes de madera, generalmente son de carácter provisional; debido a que siempre presentan problemas de durabilidad, ya que son muy vulnerables a los incendios, a la degradación por los agentes externos y a las crecidas de los ríos. La ventaja de éste tipo de puente es que son muy fáciles y rápido de construir.
- Puentes de Mampostería (Bóvedas). Su elemento principal es la piedra, ladrillo y concreto en masa. Generalmente con éstos materiales se construyen puentes en arco, ya que sólo resisten esfuerzos de compresión y su duración es ilimitada. Los puentes de piedra están formados por bóvedas cilíndricas, sirven para salvar luces³³ de cierta importancia (debido a que no

³³ Luces o Luz. En arquitectura, ingeniería y construcción suele utilizarse la palabra luz para designar la distancia, en proyección horizontal, existente entre los apoyos de una viga, un puente. A veces suele emplearse como sinónimo de "vano". De esta forma se emplea para cuantificar la distancia del vano que hay entre los dos estribos, o apoyos, de un arco. Al ser considerada una distancia, la luz se mide necesariamente en las unidades de longitud correspondiente. (Bails, 2013)

pueden alcanzar grandes luces). Generalmente se utiliza la bóveda como estructura resistente para salvar los ríos, su construcción es bastante simple.

El sistema estructural de la bóveda o de cúpula se deriva del arco formado por dovelas yuxtapuestas, ya sea de piedra o de ladrillos, generalmente apoyados en estribos de mampostería. (Univo.edu, 2016, págs. 44-47)

CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES POR EL TIPO DE MATERIAL QUE SE CONSTRUYEN

PUENTES DE MAMPOSTERÍA
SE DIVIDEN EN 2 TIPOS:

- PIEDRA
- LADRILLO

Definición: Es aquella construcción en la cual sus unidades se han puesto a mano (mampuesto). Se llama mampostería al sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos³⁴, para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos) que pueden ser, por ejemplo: ladrillos, bloques de cemento prefabricados, piedras talladas en formas regulares o no.



Ilustración 249. Paramento vertical de una construcción. (Choisy, 2003)

Ventajas: Este sistema permite una reducción en los desperdicios de los materiales empleados y genera fachadas portantes; es apta para construcciones en alturas grandes. La mayor parte de la construcción es estructural. Apta para todo rango de

³⁴ Paramento.- "Un paramento es cada una de las caras de todo elemento constructivo vertical, como paredes o lienzos de muros. En muchas ocasiones se hace referencia al paramento como la superficie de un muro (...) En particular, se llama así a las que están haciendo frente y espalda en el arco llamadas respectivamente paramento anterior y paramento posterior". (Choisy, 2003)



riesgo sísmico. Por su rigidez, genera daños secundarios menores. Como muros portantes³⁵, (...) Combina la función estética y estructural.

La colocación de la estructura de refuerzo permite la edificación de estructuras y muros seguros, incorpora las características térmicas y acústicas del material a los muros y, no necesita cimbra. (LinkedIn Corporation, 2013)

Fue uno de los primeros sistemas constructivos en utilizarse por el hombre, ya que utilizaba los materiales fáciles de encontrar en las zonas donde se habitaba, tales como el barro para las construcciones de adobe o la piedra para edificaciones más grandes. A estas construcciones sin refuerzo alguno se les denomina Mampostería simple. Hoy en día en este sistema se utilizan ladrillos de barro recocido o bloques de concreto, ya que tienen una gran capacidad de soporte.

La mampostería al adoptar soluciones de refuerzo y confinamiento, mejora notablemente su capacidad sismo-resistente. (Constructora CM Proyectos, 2016)

Al igual que la madera, la piedra es un material natural que se obtiene directamente de la naturaleza y se utiliza sin ninguna transformación, únicamente es necesario darles forma. Aparte de la piedra, se ha utilizado también materiales como el ladrillo o el concreto en masa. El ladrillo, para el constructor de puentes, es un pequeño sillar con el que se pueden hacer arcos de dovelas yuxtapuestas; por tanto la morfología de los puentes de ladrillo es la misma que la de los puentes de piedra.

El puente de piedra es el puente histórico por excelencia. Actualmente el arco de piedra como técnica para hacer puentes es solamente historia; ya no se construyen puentes de este tipo porque resultan excesivamente costosos, salvo casos excepcionales en parques o lugares naturales protegidos, con una intención puramente paisajística, y muchos de ellos son de concreto enchapados de piedra.

La construcción de los puentes de piedra es bastante simple, y en términos generales no plantea problemas distintos a los de cualquier obra contemporánea; solamente la cimentación plantea problemas singulares, pero su dificultad es debida al río, y no a su estructura.

Todas estas cualidades hacen del arco el sistema estructural más perfecto y, casi podríamos decir que único, para construir puentes con los materiales de construcción durables que se conocían hasta la aparición del hierro: la piedra y el ladrillo. Por ello, mientras sólo existieron estos materiales, no hubo ningún cambio sustancial en los puentes de arco. (Univo.edu, 2016, pág. 25)

³⁵ Muro Portante.- Los muros de carga se dan a conocer como muros portantes y son las paredes que en determinada construcción tienen función estructural. En otras palabras son las paredes que soportan otros elementos de la construcción. Los muros más antiguos conservados son los confeccionados en piedra. (ARQHYS Arquitectura, 2016)



Ilustración 250. Puente de la Libertad, Guadalajara de Buga, Colombia. (*guadalajaradebuga-valle, s.f.*)

La construcción del Puente de la Libertad de Buga inició en el año de 1897. El viaducto, de 200 metros de longitud, fue construido sobre el río Guadalajara por el ingeniero alemán Joseph Binder. (El País S.A., 2015)

PIEDRA O ROCA

Definición: Sustancia mineral, más o menos dura y compacta, se usa principalmente en la construcción. (Real Academia Española, 2016)

Utilidad de las rocas: Las rocas pueden ser útiles por sus propiedades fisicoquímicas (dureza, impermeabilidad, etc.), por su potencial energético o por los elementos químicos que contienen (...) las rocas industriales. Son rocas que se aprovechan por sus propiedades fisicoquímicas, independientemente de las sustancias y la energía que se pueda extraer. Se usan mayoritariamente en la construcción de viviendas y en obras públicas. Destacan las gravas y arenas, que se utilizan como áridos, la caliza, el yeso, el basalto, la pizarra y el granito. El cuarzo es la base de la fabricación del vidrio, y la arcilla de los productos cerámicos (ladrillos, tejas y loza). (Costa, 2009)

LADRILLO

"El ladrillo es un componente cerámico artificial de construcción, compuesto básicamente por arcilla cocida. El ladrillo se emplea para la construcción en diversos elementos constructivos, como muros, tabiques, hornos, etc. (...) Un ladrillo es un elemento constructivo cerámico. Se obtiene por el moldeo, secado y cocción de una pasta arcillosa y, generalmente tiene forma prismática. Es empleado para la construcción de muros, (antiguamente puentes), etc. El ladrillo tiene forma prismática rectangular, y sus caras reciben distintos nombres, de mayor a menor: tabla, canto y testa (...). Las dimensiones usuales del ladrillo son: 24 x 11,5 x 5,25 cm.

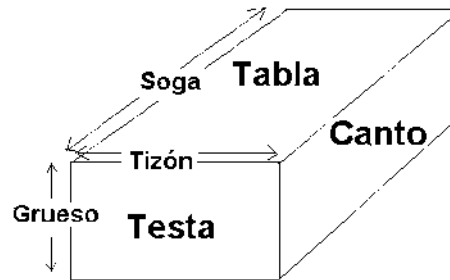


Ilustración 251. Nomenclatura de las caras y aristas de un ladrillo. (Tiposde.org, 2016)

El ladrillo está compuesto por arcilla, con caolín, silicatos de alúmina, y otros minerales. El adobe es considerado el antecedente del ladrillo, aunque no es cocido. (bluebagages, s.f.)

Tipos de ladrillo para la construcción:

Cada uno de los tipos de ladrillos que veremos a continuación, tienen características especiales que los hacen apropiados para determinados casos:

Adobe de Tierra.- Está hecho de barro crudo y, se ha usado desde la antigüedad. Habitualmente se utiliza en construcciones, precarias, rústicas o en bio-construcción principalmente por su capacidad de aislación térmica.

Ladrillo cocido de tierra.- Es un ladrillo cocido de tierra o arcilla, fabricado de forma artesanal. Las dimensiones varían de acuerdo al país y a las normas. No tiene perforaciones y sus caras lucen rústicas. También se lo conoce como ladrillo de tejar. (saberyhacer, s.f.)

Los siguientes ladrillos solo serán mencionados, ya que los posibles tipos que encontremos en campo sean los nombrados anteriormente:

Ladrillo macizo, Ladrillo macizo con cazoleta, ladrillo perforado, ladrillo aplantillado, ladrillo refractario, ladrillo clínker o gresificado, ladrillo cara vista, ladrillo hueco, etc.

PUENTES DE MADERA

Definición: Se denomina madera a aquella parte más sólida y fibrosa de los árboles y que se ubica debajo de su corteza. Cabe destacar que la madera se caracteriza por la diversa elasticidad que dispone, la cual estará en estrecha relación a la dirección de deformación que presente, y asimismo sus condiciones variarán en función del tipo de árbol que proviene y las características climáticas del lugar en el cual el árbol del que se extraerá crece. (DefiniciónABC, 2007-2016)

La disposición de las fibras de la madera, su tamaño, orientación, el contenido de humedad, el tamaño de los poros, etc., determinarán sus propiedades. Dependiendo de las propiedades serán mejor para un uso o para otro. Existe mucha



diferencia entre las propiedades de una madera u otra, por eso hablaremos de las generales. (areatecnologia, s.f.)

Propiedades de la Madera:

La Madera es un aislante térmico y eléctrico, es un material renovable, biodegradable y reciclable. Es dúctil, maleable y tenaz, el color es debido a las sales, colorantes y resinas. Las más oscuras son más resistentes y duraderas.

La densidad depende del peso y la resistencia. Cuanto más densa sea la madera es más resistente. Casi todas las maderas tienen una densidad menor que la del agua, lo que les permite flotar.

Flexibilidad, es la facilidad para ser curvadas en el sentido de su longitud, sin romperse ni deformarse. La tienen especialmente las maderas jóvenes y blandas.

La hendidura, consiste en la facilidad que contiene la madera en partirse o rajarse en el sentido de la fibra. La resistencia será menor si es de fibra larga y carece de nudos, así como si está verde la madera.

Dureza o resistencia al corte, que dependerá de la mayor o menor cohesión entre sus fibras. Está en relación directa entre la mayor cantidad de fibras y la menor cantidad de agua. Por ejemplo, una zona de nudos tendrá mayor cohesión de sus fibras que una zona limpia, por tanto será más dura y resistente al corte. (areatecnologia, s.f.)

La madera es el material que utilizó el hombre para hacer sus primeras construcciones; el tronco de árbol sobre un río fue seguramente el primer puente artificial. Los puentes de madera son más fáciles y más rápidos de construir que los de piedra, y han resultado siempre más económicos; por ello, los primeros que construyó el hombre fueron de madera, y a lo largo de la Historia se han construido innumerables puentes de este material, muchos más que de piedra. Los puentes de madera han planteado siempre problemas de durabilidad, por ésta razón se han considerado siempre de una categoría inferior que los de piedra; generalmente se les ha dado carácter de obra provisional; la cual se aspiraba a sustituirlos por uno de piedra en cuanto hubiera dinero. Pero a pesar de esto, hasta muy entrado el siglo XIX cuando se impusieron los puentes metálicos, había más puentes de madera que de piedra. A pesar de la poca durabilidad que presentaban los puentes de madera se construyeron grandes obras con éste material desde el tronco simple sobre el río hasta bellos puentes de arco, que daban un atractivo especial a los lugares donde estaban contruidos. (Univo.edu, 2016, pág. 25)



Ilustración 252. Puente Ajolí o Puente del Rey, Sevilla, España. (Univo.edu, 2016) Y
(hermandadrociosevilla, s.f.)

El puente de Ajolí o Puente del Rey es y fue un puente de madera que en la actualidad se desconoce la fecha de su realización. Aparece en primicia con el nombre de "El Ajonjolí" en las cartografías a finales del siglo XIX. Este puente se destruyó por la subida y correntía de aguas pluviales en el 2003, considerablemente se reconstruyó y se inauguró en el 2006. El nuevo puente del Ajolí es un puente de 20m de largo por 6m de ancho y armazón de hierro, el cual está recubierto de madera, estando en el mismo emplazamiento que el anterior y sin apoyos intermedios en el tramo del arroyo, pero medio metro más alto respecto a la cota anterior para evitar riesgos en caso de posibles crecidas del arroyo. (hermandadrociosevilla, s.f.)

A la izquierda. Puente Ajolí de madera de finales del siglo XIX

A la derecha. Última foto conocida del puente Ajolí en Diciembre del año 2003

Abajo. Nuevo puente del Ajolí inaugurado en el 2006

PUENTES METÁLICOS

Se dividen en 3 tipos:

- Puentes de Fundición
- Puentes de Hierro
- Puentes de Acero

PUENTES DE FUNDICIÓN

Los puentes de fundición aparecen por primera vez a fines de siglo XVIII en Inglaterra y luego en Francia. Las disposiciones de estos puentes de fundición se inspiran directamente en los puentes de madera. Lastimosamente la mayoría de estos puentes tuvieron una vida relativamente corta. En efecto, la fundición es un

material frágil con una débil resistencia a tracción, el cual bajo el efecto de esfuerzos complejos ofrecía una resistencia mínima al colapso. La mayoría de estos puentes tuvieron que ser demolidos y reemplazados, debido a que ninguna de las tentativas de reparación de este tipo de puente había dado resultados satisfactorios, entonces el único remedio era la reconstrucción del puente. Pero a pesar de todo todavía quedan muestras de estos puentes, tal es el caso del puente de La Pasarela de Las Artes en Paris, la cual fue terminada en 1803 y ofrece tráfico solamente a peatones. (Univo.edu, 2016, pág. 27)



Ilustración 253. Puente de la Pasarela de las Artes en París. (*previews.123rf, s.f.*)

El puente de las Artes o pasarela de las Artes, es un puente parisino sobre el río Sena de uso peatonal situado en el VI Distrito. Une el Instituto de Francia con el Museo del Louvre.

Construido de 1801 a 1804, fue el primer puente metálico de la capital francesa. Es un puente en arco de hierro fundido que cuenta con 155m de longitud y 11m de ancho. (Pawlowski, 2011)

PUENTES DE HIERRO

Los puentes de hierro fueron iniciados a principios del siglo XIX paralelamente a la fundición, el empleo del hierro se desarrolló rápidamente. El hierro era más caro que la fundición, al exigir más trabajo de elaboración, pero poseía una resistencia a la tracción muy superior al de fundición. De este modo, los constructores disponían por primera vez de un material que permitía realizar los tres grandes tipos de puentes: puentes suspendidos, puentes de vigas y los puentes de arco. Los primeros puentes construidos gracias al hierro fueron los puentes colgantes, fue la invención de las cadenas articuladas formadas por barras de hierro articuladas, patentadas en 1817 por Brown en Inglaterra, la que permitió pasar de un golpe a luces mucho mayores. Mediante transcurrió el tiempo y se fueron mejorando las técnicas se empezó a utilizar el cable formado por hilos de hierro, el cual dio las propiedades necesarias para la construcción de puentes con luces considerablemente largas. (...)

El hierro también se prestaba para la construcción de puentes de arco. A pesar de su mayor precio, fue sustituyendo progresivamente a la fundición a causa de sus mejores características. Los grandes arcos de hierro aportaron una solución económica y muy espectacular para salvar a gran altura valles profundos y ríos anchos en los que las cimbras resultaban muy difíciles y costosas. (Univo.edu, 2016, págs. 28,29)



Ilustración 254. Puente Ironbridge, (siglo XVIII), Shopshire, Gran Bretaña. (*puentemania, 2011*)

El Puente en arco de Coalbrookdale o Puente de Hierro (en inglés, Iron Bridge), es el primer puente de hierro forjado de la historia, con 60m de longitud y 18m de altura, tablero con una longitud total de 60 m, presenta un aspecto alomado. La construcción se hizo entre 1777 y 1781 (siglo XVIII). Para construir el puente fueron necesarias 384 toneladas de hierro.

Actualmente es un puente de uso peatonal y es patrimonio de la humanidad declarado por la UNESCO. (*puentemania, 2011*)

PUENTES DE ACERO

Fue hasta 1867 cuando empezó la fabricación comercial del acero, que permitió su empleo en los puentes. Gracias a sus características y, sobre todo su resistencia, iba a sustituir totalmente a la fundición y al hierro. Sin embargo, tal evolución no se produjo más que de un modo progresivo, a medida que las posibilidades del acero eran mejor apreciadas. El primer gran puente en el que el acero fue muy ampliamente usado es el de Saint-Louis sobre el Mississippi, al cual le siguió el puente de Brooklyn. El primero un puente de 3 arcos de 153, 159 y 153m., de luz, y el segundo un puente colgante de Acero con 487m., de luz central. No hay duda que la llegada del acero vino a reemplazar de manera satisfactoria los alcances ya logrados por el hierro, dándole un gran impulso al desarrollo de los puentes, haciéndolos más resistentes, económicos y seguros. (Univo.edu, 2016, pág. 29)



Ilustración 255. Puente EADS BRIDGE. Saint-Louis, EEUU, (siglo XIX), (PUENTEMANIA, 2011)

El puente de EADS BRIDGE se construyó en el siglo XIX (1867-1874). Es un puente ferroviario y de carretera que cruza el río Misisipi en la ciudad de San Luis (Misuri), conectándola con East St. Louis en Illinoi, Estados Unidos. El puente de Eads fue también el primero que se construyó empleando exclusivamente el sistema de vigas en voladizo (cantiléver) y uno de los primeros en hacer uso de pozos de cimentación.

El puente cuenta con una longitud de 1964m y con un ancho de 14m. (PUENTEMANIA, 2011)

PUENTES DE CONCRETO

Los hay de 2 tipos:

- Puentes de Concreto Reforzado
- Puentes de Concreto Preesforzado

PUENTES DE CONCRETO REFORZADO

Los primeros pasos del concreto se remontan al siglo III A. de C. Los romanos utilizaban ya conglomerantes hidráulicos: morteros de cal e incluso, para ciertas construcciones, cal hidráulica. Pero fue hasta que se dispuso de cemento y hierro, y varios inventores tuvieron la idea de sumergir elementos metálicos en mortero plástico, con esto, se inventó el concreto reforzado. A partir de 1906, la construcción de los puentes de concreto reforzado se desarrolló ampliamente, siguiendo básicamente los tres grandes tipos empleados desde las primeras realizaciones: la losa, la viga y el arco. Durante muchos años las barras de acero eran lisas, pero gracias a una serie de ensayos, se comprobó que la adherencia entre el acero y el concreto, uno de los mecanismos básicos para que el concreto reforzado funcione, mejoraba significativamente haciendo las barras corrugadas, es decir, con resaltes transversales, y así son las barras actuales. Mientras se desarrollaba la tecnología del concreto reforzado, empezaron a construirse estructuras complejas con este material. Al principio, únicamente losas planas de 10mts., de claro máximo y, posteriormente, losas sobre varias nervaduras hasta de 15m., de claro. Para claros mayores se seguía recurriendo al acero estructural. Sin embargo, pronto se observó que el concreto era un material mucho más económico que el acero, porque se

fabricaba al pie de la obra con elementos locales. Pero no sólo esta característica ha hecho del concreto un material sobresaliente en la construcción de puentes, sino también, se le añaden las estupendas propiedades mecánicas y la gran durabilidad que tiene, con un mantenimiento mucho menor al de un puente de acero. (Univo.edu, 2016, pág. 30)



Ilustración 256. Puente Salginatobel. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2011)

El Salginatobel es un puente de arco localizado en el boscoso Parque Golden Gate de San Francisco, California. Está considerado como el primer puente de concreto reforzado de Norteamérica. Fue terminado a fines del siglo XIX. Es un puente de arco que tiene 133 metros de longitud total por 3.5 metros de ancho. Está apoyado por pilares de concreto armado, localizados sobre los extremos. Fue inaugurado el 18 de agosto de 1930. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2011)

PUENTES DE CONCRETO PREESFORZADO

Aunque la idea del concreto preesforzado es muy antigua, no pudo materializarse en las obras de ingeniería civil mientras no se desarrollaron los concretos y aceros de alta resistencia que, por una parte, permitían la aplicación de grandes fuerzas externas y, por la otra, reducían las pérdidas que esas fuerzas experimentaban, como consecuencia de las deformaciones diferidas.

El concreto preesforzado se puede considerar un nuevo material; su diferencia con el concreto reforzado es que en éste la armadura es pasiva, es decir, entra en carga cuando las acciones exteriores actúan sobre la estructura; en el preesforzado, en cambio, la armadura es activa, es decir se tesa previamente a la actuación de las cargas que va a recibir la estructura (peso propio, carga muerta y cargas de tráfico), comprimiendo el concreto, de forma que nunca tenga tracciones o que éstas tengan un valor reducido.

La estructura se pone en tensión previamente a la actuación de las cargas que van a gravitar sobre ella, y de ahí su nombre de concreto preesforzado. La aplicación del concreto preesforzado a los puentes se da, por primera vez, en Europa, al término de la segunda guerra mundial y se ve impulsada en ese continente, por la necesidad de reconstruir numerosos puentes destruidos por la guerra. En los años 60, el concreto pretensado se desarrolló rápidamente en el campo de los puentes.

El incremento de la industria del pre esfuerzo y la prefabricación permitió el empleo cada vez más frecuente de vigas preesforzadas y prefabricadas en los puentes. Con estos elementos se evitaban las obras falsas y se reducían los tiempos de construcción.

Con el concreto preesforzado se evita la fisuración que se produce en el concreto reforzado y por ello, se pueden utilizar aceros de mayor resistencia, inadmisibles en el concreto reforzado porque se produciría una fisuración excesiva. El concreto preesforzado no ha hecho desaparecer el concreto reforzado; cada uno tiene su campo de aplicación. Al iniciarse el concreto preesforzado se trató de sustituir toda la armadura pasiva por activa; por ello los primeros puentes se pre esforzaban longitudinal y transversalmente. Pero pronto cada material encontró su sitio; la armadura activa se debe emplear para resistir los esfuerzos principales y la pasiva los secundarios. Incluso puentes de losa con luces de hasta 20 m se pueden hacer exclusivamente con armadura pasiva, aunque hay que tener en cuenta la fisuración, porque muchas veces, aun siendo admisible, es excesivamente visible. (Univo.edu, 2016, págs. 31,32)



Ilustración 257. Puente del Blvd. Quiroga en Hermosillo, (*entuobra*, 2011) y (*TRABIS*, 2016)

Puente del Blvd. Quiroga y Blvd. García Morales, es un puente de concreto preesforzado construido por la empresa CONSTRUPLAN con Trabes tipo "Ballena", prefabricadas. Cuenta con 6 trabes con un largo máximo de la trabe de 52m y con un ancho de calzada de 9m. (*entuobra*, 2011)

A la izquierda.- Puente del Blvd. Quiroga en Hermosillo, Sonora.

A la derecha.- Puente Quiroga con iluminación ecológica LED, Hermosillo, Sonora.



CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES: FIJOS Y MÓVILES

CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES FIJOS

Dentro de los puentes fijos. Existen seis tipos principales:

- Puentes viga
- Puentes en ménsula
- Puentes en arco
- Puentes colgantes
- Puentes atirantados
- Puentes apuntalados.

PUENTES VIGA

Es un puente cuyos vanos son soportados por vigas. Este tipo de puentes deriva directamente del puente tronco. Se construyen con madera, acero o concreto (armado, pretensado o potenziado). Se emplean vigas en forma de I, en forma de caja hueca, etcétera. Como su antecesor, este puente es estructuralmente el más simple de todos los puentes. Se emplean en vanos cortos e intermedios. Un uso muy típico es en las pasarelas peatonales sobre autovías (Univo.edu, 2016, pág. 21)

Un puente de viga es una estructura rígida horizontal que descansa sobre dos muelles, uno en cada extremo. Tanto el peso propio del puente como el de cualquier carga adicional (tráfico pesado), se apoyan directamente a los muelles. La fuerza de compresión se manifiesta sobre el lado superior de la cubierta del puente de viga. El resultado de la compresión sobre la parte superior de la cubierta causa la tensión en la parte inferior de la cubierta. Esta tensión ocasiona que la porción más baja de la viga se alargue. Muchos de los puentes de vigas que se encuentran particularmente en una carretera usan vigas de concreto y acero para manejar la carga.

El tamaño de la viga y, particularmente la altura de la viga, controla la distancia que esta pueda atravesar. Aumentando la altura de la viga, ésta tiene más material para disipar la tensión.

Para crear vigas muy altas, los diseñadores del puente agregan soportes enrejados, o un entramado³⁶, a la viga del puente. Este entramado ayuda a agregar rigidez a la viga existente, aumentando grandemente su capacidad de disipar la compresión y la tensión. Una vez que la viga comience a comprimir, la fuerza se disipa a través del entramado. A pesar de la adición ingeniosa de un entramado, el puente de viga todavía es limitado en la distancia que este puede atravesar. (ARQHYS, 2016)

³⁶ Entramado.- "Conjunto de vigas de madera o hierro que se utiliza para construir una pared o un techo, rellenando los huecos entre vigas con obra de fábrica o entarimado" (CONSTRUMÁTICA, 2013)



Ilustración 258. Puente de osera de Ebro, siglo XX, (PUENTEMANIA, 2011)

El puente de Ebro, es un puente tipo viga localizado en río Ebro, osera, Zaragoza, España.

Construido a mediados del (siglo xx). (puentemania, 2011)

“El puente presenta un tramo principal está formado por cinco vanos de 42, 60, 120, 60, y 42 m, resuelto con una viga cajón donde penetra el tren. La gran viga de 9.1m de canto tiene sección trapecial más ancha por arriba, donde se abre y es arriostrada cada 6m, y sus almas están aligeradas por unos grandes orificios circulares. Dichos orificios nos remiten a las ventanillas de los modelos futuristas ferroviarios de los años 1960, y ahí radica la causa de su aire retro y moderno al mismo tiempo” (PUENTEMANIA, 2011)

PUENTE MÉNSULA

Un puente en ménsula es un puente en el cual una o más vigas principales trabajan como ménsula o voladizo. (...) Los pequeños puentes peatonales pueden construirse con vigas simples, pero los puentes de mayor importancia se construyen con grandes estructuras reticuladas de acero o vigas tipo cajón de hormigón postensado, o mediante estructuras colgadas (puentesnacho, 2015, pág. 1)

Estos puentes cuentan con una estructura, que sobresale de un plano vertical en la cual una o más vigas hacen de ménsula. Además para estos puentes depende el tamaño para calcular el número de ménsula (TodoIngeniería, 2015)



Ilustración 259. El Puente de Forth (en inglés, Forth Bridge). (MegaConstrucciones, s.f.)

Localizado en Edimburgo, Reino Unido, Europa. Es un puente en ménsula para ferrocarril que atraviesa el Fiordo de Forth, en el este de Escocia. (MegaConstrucciones, s.f.)



"El puente es considerado, incluso todavía hoy, como una obra maestra de la ingeniería. Tiene 2.5 km de longitud, y su doble vía de ferrocarril se eleva a 46 m sobre el nivel máximo del agua. Consta de dos tramos principales de 520 m, dos tramos laterales de 200 m, 15 tramos de aproximación de 51 m y cinco de 7.6 m. Cada tramo principal contiene dos ménsulas centrales de 104 m de altura, que descansan sobre pilares de 21 m de diámetro. Los cimientos del extremo sur del puente fueron construidos mediante caissons bajo aire comprimido, a una profundidad de 27 m." (MegaConstrucciones, s.f.)

PUENTE EN ARCO

Un puente de arco es una estructura semicircular con estribos en cada extremo. El diseño del arco, el semicírculo, desvía el peso de la cubierta del puente hacia los estribos. Esto quiere decir que los puentes de arco están siempre bajo compresión.

La curva natural del arco y su capacidad de disipar la fuerza hacia afuera, reduce grandemente los efectos de la tensión que puedan presentarse en la superficie inferior del arco. Cuanto mayor es el grado de curvatura (cuanto más grande es el semicírculo del arco), mayores son los efectos de la tensión en la superficie inferior.

Como acabamos de mencionar, la forma del arco mismo es todo lo necesario para disipar con eficacia el peso del centro de la cubierta hacia los estribos. (ARQHYS, 2016)

Los puentes en arco trabajan transfiriendo el peso propio del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforman en un empuje horizontal y una carga vertical. Normalmente la esbeltez del arco (relación entre la flecha máxima y la luz) es alta, haciendo que los esfuerzos horizontales sean mucho mayores que los verticales. Por este motivo son adecuados en sitios donde las cimentaciones de los apoyos son capaces de proporcionar una buena resistencia al empuje horizontal (puentesnacho, 2015)

Los tipos del arco son pocos. Las únicas subcategorías verdaderas vienen bajo la forma de diseño cosmético. Por ejemplo; los arcos romanos, del barroco y del renacimiento, que son estilos arquitectónicos diferentes pero estructuralmente iguales.

Un puente de arco no necesita soportes o cables adicionales. De hecho, un arco hecho de piedra incluso no necesita mortero. Los Antiguos Romanos construyeron puentes de arco y acueductos que se encuentran en pie hoy en día. Estos puentes y acueductos son verdaderos testamentos de la eficacia natural de un arco como estructura de puente. (ARQHYS, 2016)

Cuando la distancia a salvar es grande pueden estar hechos con una serie de arcos, aunque lo habitual en la actualidad es utilizar otras estructuras más económicas. (...) Los romanos usaron solamente puentes de arco de medio punto, pero se

pueden construir puentes más largos y esbeltos mediante figuras elípticas o de catenaria invertida (puentesnacho, 2015)



Ilustración 260. Puente de piedra de Valderrobres, (*puentemania*, 2011)

EL puente de piedra de Valderrobres, es un puente en arco construido en el siglo XIV. Se encuentra ubicado en el río matarraña, valderrobres, aragón, España.

Se trata de un puente medieval, de cuatro ojos, extremadamente sólido y provisto de tajamares en forma de cuña pensados para protegerlo de fuertes riadas y evitar la acumulación de troncos; hay un cuarto vano de menor tamaño, también en arco apuntado, situado fuera del cauce, probablemente con la función de aliviadero. El tablero se dispone a doble vertiente y actualmente presenta un solado de adoquines flanqueado por pretilos de mampostería. (vallderoures, 2016)

PUENTES COLGANTES

Un puente colgante es un puente sostenido por un arco invertido formado por numerosos cables de acero del que se suspende el tablero mediante tirantes verticales. El puente colgante es, al igual que el arco, una estructura que resiste gracias a su forma; en este caso salva una determinada luz mediante un mecanismo resistente que funciona exclusivamente a tracción, evitando gracias a su flexibilidad, que aparezcan flexiones en él. Las fuerzas principales en un puente colgante son de tracción en los cables principales y de compresión en los pilares. Todas las fuerzas en los pilares deben ser casi verticales y hacia abajo y, son estabilizados por los cables principales. El rango óptimo es de 350m. (Villarino Otero, Alberto; Escuela Politécnica Superior de Ávila, pág. 209)

Este tipo de puentes, así como los atirantados, presenta como característica principal que sus estructuras se basan en el cable. Por ello los puentes de grandes luces que se construyen en la actualidad son colgantes o atirantados. La utilización del cable en este tipo de puentes se debe a tres razones fundamentales: En primer lugar el cable es un elemento que trabaja exclusivamente a tracción, se aprovecha al máximo su capacidad resistente puesto que con los tratamientos actuales se logran elevadas resistencias y por su gran flexibilidad pueden deformarse transversalmente sin que aparezcan flexiones y permite utilizar en toda la sección toda su capacidad de resistencia y en tercer lugar el cable está formado por muchos hilos y cordones lo que permite hacer cables de gran diámetro en puentes de grandes luces. (upcommons, pág. 15)

El puente colgante más elemental es el puente catenaria, donde los propios cables principales sirven de plataforma de paso. Paradójicamente, la gran virtud y el gran defecto de los puentes colgantes se deben a una misma cualidad: su ligereza. La ligereza de los puentes colgantes, los hace más sensibles que ningún otro tipo al aumento de las cargas de tráfico que circulan por él, porque su relación peso propio/carga de tráfico es mínima; es el polo opuesto del puente de piedra. Actualmente los puentes colgantes se utilizan casi exclusivamente para grandes luces; por ello, salvo raras excepciones, todos tienen tablero metálico. (puentesgaleon, 2015)



Ilustración 261. Puente Clifton Bridge, (puentemania, 2013)

El puente Clifton Bridge es un puente colgante, construido en 1864 (siglo XIX). Se ubica en el río Avon, Bristol, Inglaterra, Reino Unido, puente de cadenas. "El vano principal del puente es de 214 m, con una longitud total de 414 m y una anchura de 9.5 m. El gálibo³⁷ sobre la garganta es de 76 m." (puentemania, 2013)

TIPOLOGÍA DE PUENTES COLGANTES

Por lo que se refiere a la tipología de puentes colgantes en cuestión podemos destacar: Puentes catenaria, puentes auto-anclados, puentes colgantes de tablero. (upcommons, pág. 15)

(No se hablará de las características de estos tipos ya que solo se está haciendo mención para reconocimiento de los tipos de puentes existentes).

PUENTES ATIRANTADOS

Los elementos fundamentales de la estructura resistente del puente atirantado son los tirantes, que son cables rectos que atirantan el tablero, proporcionándoles una serie de apoyos intermedios más o menos rígidos.

³⁷Gálibo. Marca que señala las dimensiones máximas permitidas a un vehículo para el paso por un túnel o un puente. En los ferrocarriles, arco de hierro, en forma de U invertida, para comprobar si los vagones con su carga máxima pueden circular por los túneles y bajo los pasos superiores. (es.thefreedictionary, 2016)

Pero no solo ellos forman la estructura resistente básica del puente atirantado; son necesarias las torres para elevar el anclaje fijo de los tirantes, de forma que introduzcan fuerzas verticales en el tablero para crear los pseudo-apoyos; también el tablero interviene en el esquema resistente, porque los tirantes, al ser inclinados, introducen fuerzas horizontales que generalmente se equilibran en el propio tablero ya que su resultante, igual que en la torre, debe ser nula. Por ello, los tres elementos, tirantes, tablero y torres, constituyen la estructura resistente básica del puente atirantado. (ocw, s.f., pág. 22)

En cuanto a la tipología, el puente atirantado admite variaciones significativas, tanto en su estructura como en su forma.

- Longitudinalmente pueden tener dos torres y ser simétricos, o una sola torre desde donde se atiranta todo el vano principal.
- Pueden tener dos planos de atirantamiento situados en los bordes del tablero, o un solo plano situado en su eje.
- Pueden tener muchos tirantes muy próximos, o pocos tirantes muy separados
- Los tirantes paralelos llamado disposición en arpa y en abanico.
- Las torres se pueden iniciar en los cimientos, o se pueden iniciar a partir del tablero, de forma que el conjunto tablero-torres-tirantes se apoya sobre pilas convencionales
- Las torres pueden tener diversas formas; pueden estar formadas por dos pilas, por una sola, pueden tener forma de A, forma de H, de Y invertida, de A invertida, de A cerrada por la parte inferior (diamante), una sola pila.

En los puentes atirantados, las cargas se transmiten a la torre o pilar central a través de los cables, pero al estar inclinados, también se transmiten por la propia sección, hasta el pilar, donde se compensa con la fuerza recibida por el otro lado, no con un contrapeso en el extremo, por ello, no requiere anclajes en los extremos. (ocw, s.f., págs. 22,25)



Ilustración 262. PUENTE POSADAS-ENCARNACIÓN, PUENTE INTERNACIONAL SAN ROQUE GONZÁLEZ DE SANTACRUZ, (*puentemania*, 2011, pág. 1)

El Puente Posadas-Encarnación, Puente Internacional San Roque González de Santacruz es un puente atirantado ubicado en el río Paraná, posadas-encarnación, Argentina, Paraguay. Se construyó en 1990 (siglo xx).

"Se trata de un puente mixto de ferrocarril y carretera construido en hormigón pretensado. Su longitud es de 2.500 m y su vano atirantado es de 570 m sobre el canal de navegación, con una luz central de 330 m y dos luces laterales de 120 m cada una. Los dos pilones que enmarcan el tramo central tienen forma de A con una altura total desde cimientos de 116m, dejando un gálibo de navegación de 18 m. Al puente principal se accede por dos viaductos, uno de 1.595 m en el lado argentino y otro de 385m en el lado uruguayo" (puentemania, 2011)



Ilustración 263. Puentes atirantados: Puente Especial Baluarte, Puente Normandía y Puente de Tatará. (bowerbird Ingeniería. Ing, s.f.), (cadizenbici, s.f.) Y (arqhys, 2015)

A la izquierda. Puente Especial Baluarte, es un puente atirantado localizado en los municipios de Pueblo Nuevo en Durango y Concordia en Sinaloa, a lo largo de la Autopista Durango-Mazatlán, en México. Tiene una longitud de 1,124 metros y un claro atirantado de 520 metros y una altura sobre el Río Baluarte de hasta 402.57 metros, es el puente atirantado más alto del mundo. (bowerbird Ingeniería. Ing, s.f.)

A la derecha arriba. Puente de Normandía. Inauguración: 1995. Longitud total: 2143 m. Anchura: 24 m. Altura: 215 m. Longitud del vano: 856 m. Gálibo de navegación: 59.12 m. El tablero, de una anchura de 23.60 m., tiene cuatro carriles destinados a los automóviles, dos pistas para bicicletas y dos aceras para peatones. (cadizenbici, s.f.)

A la derecha abajo. El Gran Puente de Tatará es una antigua estructura atirantada que cuenta con un vano que se considera como el más extenso del mundo. Como tal, se encuentra entre las ciudades de Imabari en la Prefectura de Ehime, y Onomichi en la Prefectura de Hiroshima, en Japón; atravesando el Mar Interior de Seto. Tiene un espacio central de 890 metros. El Puente Tatará mide 1,480 metros de largo y 30.6 metros de ancho. Las torres son de acero y miden 220 metros de alto. Tiene forma de Y invertida y de ellas parten los cables que se unen y sostienen a la plataforma. (arqhys, 2015)



ANEXO 2. TIPOS DE CONSTRUCCIONES PARA PUENTES TIPO ARCO Y VIGA Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

En el siguiente apartado sólo se darán a conocer los tipos de construcciones y procesos constructivos para puentes en arco y viga, ya que serán los que posiblemente encontremos en nuestro viaje de estudio.

En el caso de los puentes arco probablemente encontremos exclusivamente puentes de tablero superior, por lo tanto omitiremos entonces los puentes de tablero inferior.

Algunos de los siguientes procesos contienen estructuras de acero, los siguientes tipos de construcciones para puentes tipo arco que se verán a continuación son para simple conocimiento.

Los procedimientos constructivos más comunes para puentes de tablero superior son los siguientes:

CONSTRUCCIÓN POR VOLADIZOS SUCESIVOS

Éste es el método más frecuente donde se avanza desde las pilas o estribos. Presenta numerosas variantes.

CONSTRUCCIÓN POR VOLADIZOS SUCESIVOS ATIRANTADOS CON TORRE PROVISIONAL MEDIANTE CABLE COLGADO

El método se basa en el atirantamiento de las secciones hormigonadas desde una torre provisional, y su desarrollo ha sido el que ha permitido el renacimiento de esta tipología desde mediados de la época de los 50. En este procedimiento las estructuras parciales por las que atraviesa el arco en construcción nada tienen que ver con la estructura final, siendo preciso, por tanto, un sistema de atirantamiento auxiliar. Una característica habitual de este procesamiento es la construcción del arco exento, es decir, eliminando las pilas del proceso, puesto que no desarrollan ninguna función resistente y presentan una fracción importante del peso de la estructura, además de crear importantes interferencias al paso de los tirantes. Una vez cerrado el arco se procede a la ejecución de las pilas y el tablero por métodos convencionales. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 24)

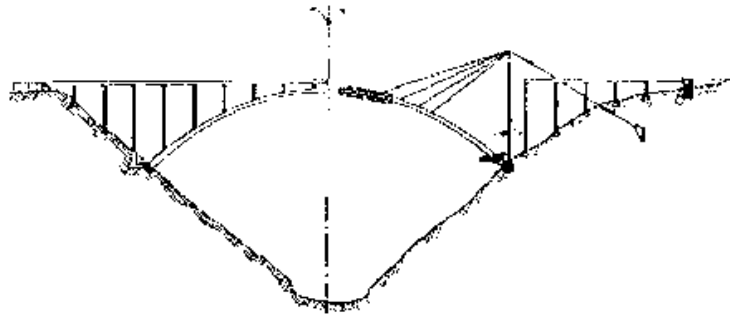


Ilustración 264. Puente en voladizo, mediante atirantamiento en abanico: a partir del primer soporte del tablero situado sobre el arranque del arco, actuando como parte de la torre de atirantamiento. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 24)



Ilustración 265. Proceso de construcción de puente por voladizos sucesivos atirantados con torre provisional mediante cable colgado. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., págs. 25, 26)

A la izquierda.- Ejecución de cimentaciones, cimentaciones de los plintos³⁸, trepamiento de pilas y hormigonamiento de las mismas. Así como el comienzo del semi-arco por medio de castilletes metálicos y creación de pilas provisionales para comenzar el atirantamiento.

A la derecha.- Colocación de las familias de cables atirantados anclados en las dovelas y a las pilas provisionales por medio de carro de avance.

CONSTRUCCIÓN POR VOLADIZOS SUCESIVOS CON DIAGONALES TEMPORALES (MÉNSULA TRIANGULADA)

Este método crea una estructura triangulada avanzando en ménsula desde los arranques del arco. Para resistir la tracción debida a la flexión en los arranques por el trabajo en voladizo, hasta que se produce el cierre en clave, es necesario anclar el cordón superior mediante un sistema de retenidas, transmitiendo así la tracción generada al terreno. Una vez cerrada la clave se liberan los anclajes de retenida y se suprime la triangulación provisional. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 26)

³⁸ Plinto.-Elemento plano y liso sobre el que se asienta la base de una columna o pilar. (Parro.com.ar, 2016)

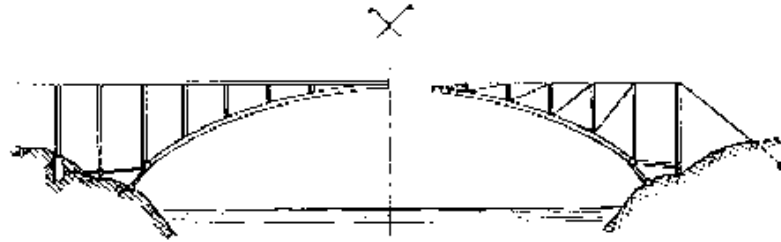


Ilustración 266. Puente en voladizo, triangulación del conjunto arco-tablero: se crea un sistema reticulado provisional utilizando como montantes los soportes del tablero, el tablero como cordón superior y disponiendo de tirantes según las diagonales. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 28)

A continuación veremos el proceso constructivo del puente sobre el río Almonte, Cáceres, Sevilla, terminado de construir en el año 2005.

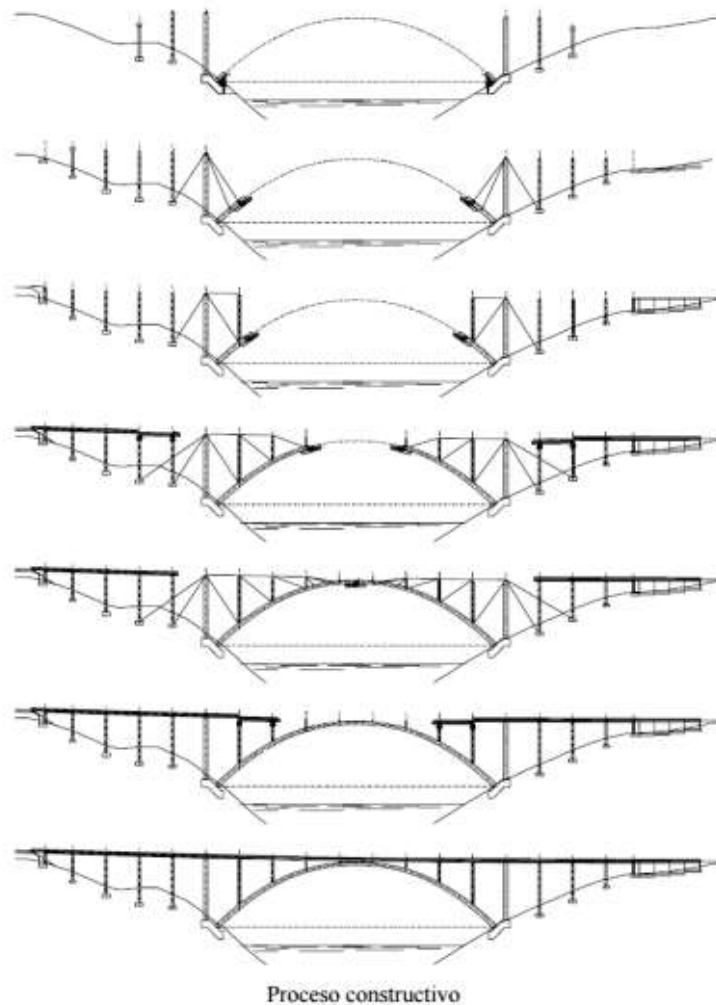


Ilustración 267. Proceso constructivo del Puente río Almonte, Cáceres, Sevilla. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 29)

Los arcos se construyeron combinando el avance por voladizos sucesivos con una potente triangulación de perfilería rígida de acero. El tablero se ejecutó con auto cimbra desde ambos extremos.

Avance en voladizo del arco, obteniendo su equilibrio mediante atirantamientos provisionales y retenidas, hasta superar la pila del arco correspondiente.

Se sustituye el atirantamiento provisional por una diagonal metálica anclada en la base de la pila. Una vez construida la pila, para cerrar un cuadrante, se monta un dintel³⁹ metálico que actúa como cordón de tracción. El esquema estructural de triangulación para el avance del arco en voladizo se consigue a través de dinteles y diagonales metálicas y el atirantamiento por medio de cables de retenida y cables provisionales. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., págs. 28,29)



Ilustración 268. Arco del Puente del río Almonte, Sevilla en construcción. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 31)

CONSTRUCCIÓN SOBRE CIMBRA

Se trata del sistema clásico donde las dovelas se apoyan en una estructura auxiliar hasta cerrar el arco.



³⁹ Dintel.- Viga u otro elemento horizontal que, apoyado sobre los pilares, cubre el vano de una un arco, y sirve de sostén del muro superior. (ARQHYS Arquitectura, 2012)

Ilustración 269. Detalle de la cimbra y encofrados del Puente Albrechtsgraben, Alemania. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., págs. 20, 21)

La construcción sobre cimbra fue el procedimiento habitual hasta finales del siglo XIX. Las luces cada vez mayores y los obstáculos naturales complicados, como barrancos profundos y ríos caudalosos, fueron dificultando cada vez más el diseño y el montaje de estos elementos.

Aunque la propia construcción del arco sobre cimbra es un método sencillo y cómodo una vez ejecutada ésta, sus elevados costes han hecho abandonarla en las grandes luces, aunque aún se conserva en otras tipologías. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 20)

CONSTRUCCIÓN POR AUTOCIMBRA

En éste método el arco metálico hace de auto cimbra y armadura para el definitivo.

A finales del siglo XIX, Joseph Melan desarrolló un procedimiento para la construcción de puentes en arco de hormigón evitando el uso de la cimbra clásica. Su método consiste en construir primero un arco metálico, más ligero que se emplea como cimbra auto portante y se utiliza, a la vez, como armadura del arco definitivo, hormigonando sus secciones sobre la estructura metálica.



Ilustración 270. Construcción de Puente por el método de la Autocimbra. (civilgeeks.com, 2016)

Este método logra que la estructura parcial y final coincidan en su comportamiento, aunque no resuelve los problemas económicos de construcción de los arcos de hormigón. Su inconveniente se encuentra en la cantidad de acero que requiere el arco metálico inicial, muy superior a la armadura precisa para resistir las tracciones debidas a la flexión. Por esta razón puede considerarse un método caro, y aunque en su momento fue utilizado en algunos puentes, hoy en día apenas se emplea, salvo en raras ocasiones.

ABATIMIENTO DE LOS SEMI-ARCOS

Consiste en construir los dos semi-arcos en la vertical de los estribos y una vez concluidos abatirlos mediante un giro hasta cerrarlos en clave.



Ilustración 271. Ejecución del puente Arcos de Alconétar, Cáceres, España. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 22)

Para la realización de este giro es necesario desplazar inicialmente el conjunto mediante cilindros hidráulicos dispuestos horizontalmente, hasta que el peso del semi-arco actúe a favor, creando un efecto de desequilibrio que facilite el proceso de cierre de claves.



Ilustración 272. El puente Arcos de Alconétar, Cáceres, España. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 23)

El puente Arcos de Alconétar inaugurado en julio del 2006, está constituido por dos estructuras gemelas de 400m de longitud, cuyo vano principal es un arco metálico de tablero superior, de 220m de luz. (TESIS-YULIA DEMNCHENK.pdf, s.f., pág. 23)

El sistema constructivo desarrollado, se ha caracterizado por su rapidez y singularidad, basado en la construcción de piezas de grandes dimensiones fuera de su emplazamiento definitivo, su manipulación y montaje mediante el empleo de elementos especiales auxiliares.

TIPOS DE VIGAS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE Puentes

PUENTE DE VIGAS

Es un puente cuyos elementos estructurales están compuestos de vigas. Estas vigas están colocadas paralelamente con separaciones entre 1.2 y 1.5 metros. La distancia entre las vigas se encuentra asegurada por medio de estribos o pilas que soportan el tablero del puente.

Cuando un puente de vigas ha sido diseñado para soportar una vía férrea, este está compuesto de vigas de madera o acero y los pisos pueden ser abiertos o estar cubiertos a base de balastos⁴⁰ o placas de hormigón armado. En caso de que el puente de vigas tenga la misión de ser utilizado por tráfico de vehículos habitualmente es de acero, hormigón armado pretensado o madera.

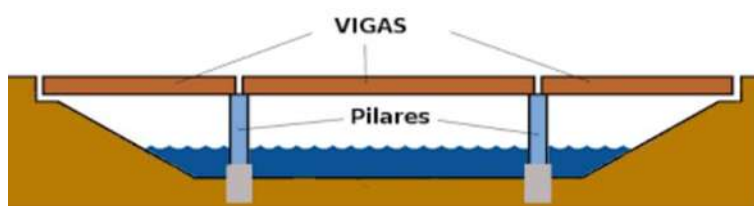


Ilustración 273. Puente tipo viga o viguetas. (*blogspot.mx*, 2013)

Se han llegado a construir puentes de vigas con hormigón pretensado con sección en I en los cuales los tramos entre viga y viga han llegado a ser de 48 metros lo que habla muy favorablemente de la versatilidad de este tipo de puentes. (*Urbanismo.com*)

PUENTES DE VIGAS ARMADAS

Si el tablero está apoyado cerca de las pestañas inferiores de las vigas y el tráfico pasa por entre ellas, el puente se llama vía inferior; si, por el contrario, el tablero está en la parte superior, se denomina de paso alto.

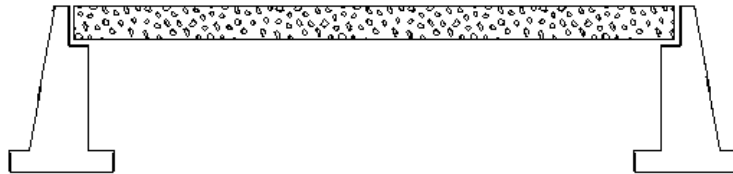


Ilustración 274. Puente de Vigas Armadas de Vía Inferior. (*ingenierocivilinfo.com*, 2015)

⁴⁰ **Balasto o Balastro.**- Se conoce como balasto la grava o piedra machacada que, formando una capa, se extiende sobre la explanación de una vía férrea para asentar sobre ella y sujetar las traviesas que soportan los rieles o carriles. Tiene granulometría variable entre 40 y 150 mm aproximadamente. (*uclm.es*, 2016) y (*REAL ACADEMIA ESPAÑOLA*, 2016)

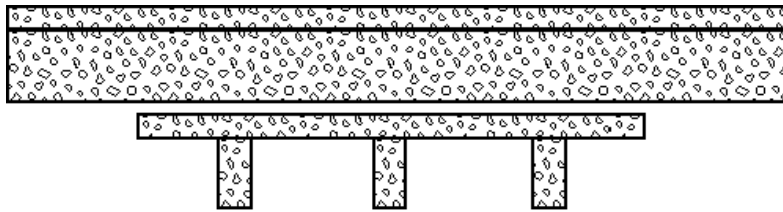


Ilustración 275. Puente de Vigas Armadas de Paso Alto. (*ingenierocivilinfo.com, 2015*)

Quando el puente sirve a una carretera, es preferible el segundo tipo, que puede ser ensanchado para acomodar a posibles aumentos de tráfico. Las vigas armadas metálicas son de sección "I" y van reforzadas por remaches. Los puentes de esta clase pueden ser de un solo tramo o continuos. Los primeros llegan a cubrir tramos de hasta 40 m. Algunas veces también reciben el nombre de puentes de vigas armadas los de gran longitud cuyas vigas tienen secciones compuestas. (Galeon. com)

Puentes CONTINUOS

Pueden ser de viga de celosía⁴¹, de vigas de acero de alma llena, de vigas o viguetas de hormigón armado o de vigas o viguetas de hormigón pretensado. Los puentes continuos de viga de celosía suelen ser de dos o tres tramos, pero los de viga armada pueden salvar ininterrumpidamente muchos tramos. Las vigas y viguetas de los puentes continuos de hormigón pretensado tienen sección en "I" o tubular.

El puente continuo de tres tramos, con arco anclado en el central, modelo relativamente reciente y de estructura siempre simétrica, es muy estimado para salvar grandes distancias. Aparte de su valor estético se le considera muy adecuado para las estructuras cantiléver. (Galeon. com)

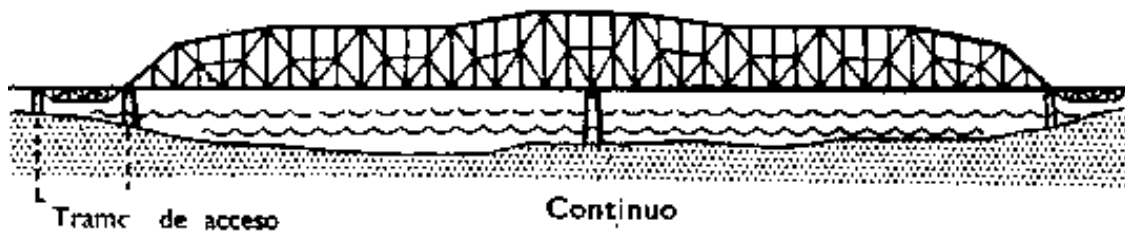


Ilustración 276. Puente continuo de tres tramos. (*puentes.galeon.com, 2015*)

⁴¹ Celosía.- Es una estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales). (Fatás & Borrás, 1993)

Como vimos, los puentes de viga se dividen en fijos y móviles y entre ellos existe una amplia gama de diferentes tipos, modelos y formas. Para este apartado solo tomaremos en consideración los puentes de vigas simples y de vigas armadas, ya que son los que probablemente lleguemos a encontrar in situ.

A continuación veremos las diversas secciones transversales de los elementos horizontales, como pueden ser vigas y losas:

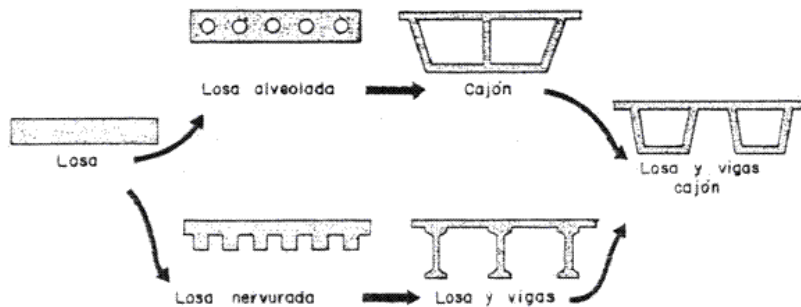


Ilustración 277. Tipos de elementos horizontales empleados para la construcción de puentes en viga. (*ingenierocivilinfo.com, 2015*)

Para secciones de hormigón:

- Viga doble T y Viga Artesa. Son prefabricadas y perfiladas para obtener la máxima inercia con el mínimo peso, se instalan en tramos bi-apoyados, se les da continuidad con una losa superior.



Ilustración 278. Ejemplos de Vigas Artesa, Doble T y Prefabricadas. (*ocw, s.f.*)

A la izquierda arriba. Ejemplo de Vigas Artesa

A la derecha arriba. Ejemplo de Vigas doble T

Abajo. Ejemplo de Vigas Prefabricadas

- Losa aligerada. La construcción es in situ (cimbrado vano a vano o mediante autocimbra), tiene mayor facilidad para acomodarse a trazados en planta oblicuos. Nos permiten tener un único punto de apoyo las losas, y el tamaño de las pilas y su colocación es mucho menos exigente que en los de las vigas. Como inconveniente su construcción es menos industrializada que los de las vigas.

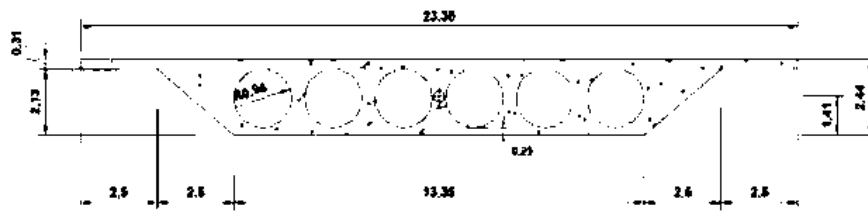


Ilustración 279. Diseño de losa aligerada. (ocw, s.f.)

- Cajón o Dovelas. Son puentes construidos vano a vano de unos 40 m. También se construyen por empuje (cajón de canto constante).



Ilustración 280. Elemento Horizontal tipo Cajón. (Eisenbahnbrueckenquerschnitt.png, 2006)

- Cajón Prefabricado. Se le da continuidad estructural y después se realiza la losa.



Ilustración 281. Ejemplo de cajón prefabricado. (ocw, s.f.)

TIPOS DE CONSTRUCCIONES PARA PUENTES TIPO VIGA Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Cada viga o losa se monta directamente, mediante el empleo de grúas, entre dos pilas y se colocan a cierta distancia, constituyendo el soporte de la losa de hormigón que forma el tablero del puente.



Ilustración 282. Empleo de Grúas en puentes tipo viga. (ocw, s.f., pág. 27)



Ilustración 283. Montaje de losa en puente tipo viga. (ocw, s.f., pág. 27)

CONSTRUCCIÓN CON CIMBRA ESTÁTICA

Para puente de pequeña altura (8-10m) hormigonados in situ. Ideal para pasos superiores. En caso de varios vanos la construcción se hace tramo a tramo. Una vez hormigonado un tramo se pretensa⁴², descimbra y desencofra y se pasa al tramo siguiente. (ocw, s.f., pág. 28)

⁴² Pretensado.- Se denomina hormigón pretensado (en algunos lugares de Hispanoamérica concreto preesforzado) a la tecnología de construcción de elementos estructurales de hormigón sometidos intencionadamente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio. Dichos esfuerzos se consiguen mediante barras, alambres o cables de alambres de acero que son tensados y anclados al hormigón. (Nawy, 2016)

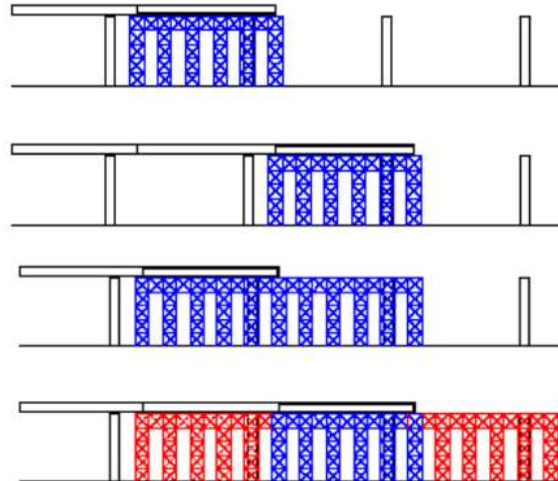


Ilustración 284. Ejemplos de cimbra estática. (ocw, s.f., pág. 28)

Arriba. Ejemplo de un equipo de cimbra y un encofrado.

Abajo. Ejemplo de dos equipos de cimbra y un encofrado.



Ilustración 285. Ejemplo de cimbra estática. (ocw, s.f., pág. 28)

CONSTRUCCIÓN CON CIMBRA DESPLAZABLE

Igual que el caso anterior, pero ahora la cimbra se puede desplazar sobre elementos de rodadura. (ocw, s.f., pág. 29)

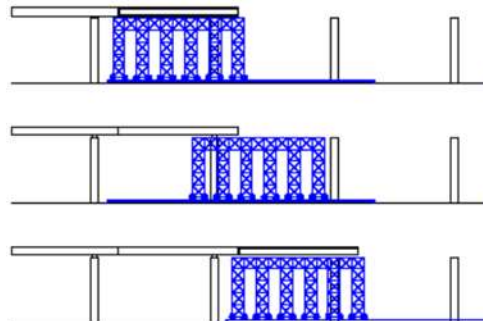


Ilustración 286. Ejemplo de cimbra desplazable. Movimiento de la cimbra y del encofrado sobre el carril de la rodadura inferior. (ocw, s.f., pág. 29)

CIMBRAS AUTOPORTANTES O AUTOCIMBRAS

Equipo de trabajo formado por una viga de lanzamiento que permite la ejecución de tableros de hormigón en puentes, viaductos de gran altura, con vanos de gran longitud, mediante un proceso constructivo autolanzable y sin necesidad de apoyarse en el terreno. (ocw, s.f., pág. 29)



Ilustración 287. Ejemplo de Autocimbra. (ULMA C y E, S. Coop., 2015)

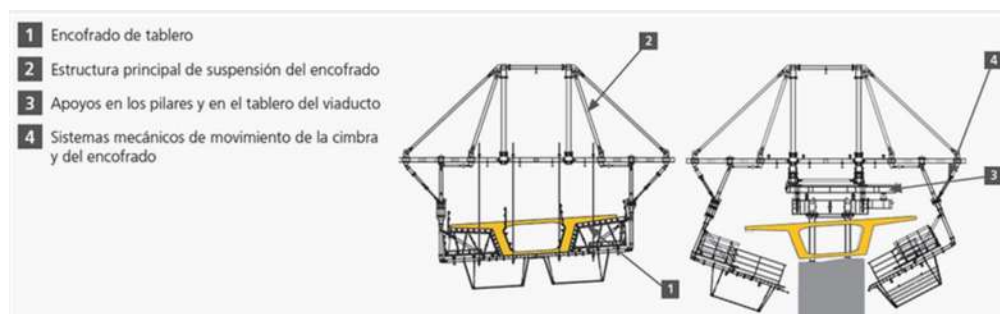


Ilustración 288. Mecanismos de uso de una Autocimbra. (ulmaconstruction.es, 2015)

AVANCE EN VOLADIZO

El tablero se apoya en unos puntos fijos, a partir de los cuales se establece una progresión de manera que se determine las estructuras parciales en voladizo autoportantes o ayudadas por elementos auxiliares, este procedimiento se puede llevar a cabo mediante carro de avance o mediante vigas autolanzables. (ocw, s.f., pág. 30)

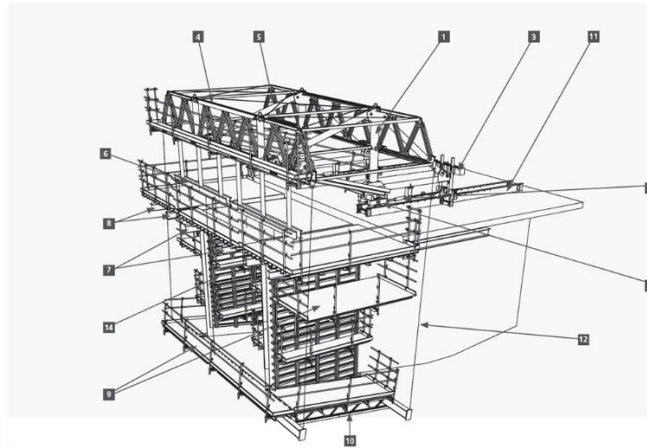


Ilustración 289. Partes que conforman a un carro de avance. (ULMA C y E, S. Coop., 2015)



Ilustración 290. Avance en Voladizo por medio de un carro de avance. (Puente Chilina, 2013)

VIGAS AUTOLANZABLES O PUENTES EMPUJADOS

Necesitan tener en planta un trazado recto o circular. Su fundamento económico reside en tableros que tengan optimizado el consumo del hormigón y en preparar un parque de fabricación fijo, en el eje del puente, donde se realizan las dovelas de 15 a 20 m. Una vez endurecido y pretensado el hormigón se empuja hacia adelante por medio de gatos hidráulicos, con lo que se libera el molde para realizar una nueva dovela., el puente va discurriendo sobre pilas, hasta su terminación, sin necesidad de cimbra que lo soporte. En el caso de tableros metálicos o mixtos el procedimiento es el mismo.



Ilustración 291. Ejemplo de vigas autolanzables. (ULMA C y E, S. Coop., 2015)



Ilustración 292. Ejemplo de avance de vigas autolanzables. (ocw, s.f., pág. 31)



ANEXO 3. PARTES GENERALES DE LOS PUENTES

Los puentes se dividen en dos partes fundamentales:

- Superestructura
- Tablero

SUPERESTRUCTURA

Conjunto de tramos que salvan los vanos situados entre los soportes. Cada tramo de la superestructura está formado por un tablero o piso, una o varias armaduras de apoyo y por las riostras⁴³ laterales. El tablero soporta directamente las cargas dinámicas y por medio de la armadura transmite las tensiones a pilas y estribos.

TABLERO

Un tablero o piso: soporta directamente las cargas dinámicas (tráfico) y por medio de las armaduras transmite sus tensiones a estribos y pilas, que, a su vez, las hacen llegar a los cimientos, donde se disipan en la roca o en el terreno circundante. Está compuesto por:

- Vigas longitudinales o largueros sobre los que se apoya el piso y Vigas Transversales que soportan a los largueros.- Son los elementos que permiten salvar el vano, pudiendo tener una gran variedad de formas como las vigas rectas, arcos, pórticos, reticulares, etc.
- Apoyos.- Son los elementos a través de los cuales el tablero transmite las acciones que le solicitan a las pilas y/o estribos.

ARMADURAS

Las armaduras de los puentes pueden trabajar a flexión (vigas), a tracción (cables), a flexión y compresión (arcos y armaduras), etc.

En la construcción de los puentes una de las partes más delicadas es la cimentación bajo agua debido a la dificultad de encontrar un terreno que resista las presiones, siendo normal el empleo de pilotes de cimentación.

Cada tramo de un puente consta de una o varias armaduras de apoyo; pueden ser:

- Placas o vigas, que transmiten las cargas mediante flexión o curvatura principalmente.
- Cables, que las soportan por tensión.
- Vigas de celosía, cuyos componentes las transmiten por tensión directa o por compresión.
- Arcos y armaduras rígidas que lo hacen por flexión y compresión a un tiempo.

⁴³ Riostra. Elemento constructivo que colocado oblicuamente permite asegurar la inmovilidad o evitar la deformación de otros elementos de una estructura. (CONSTRUMATICA SERVICIOS DE INFORMACIÓN PROFESIONAL, S.L., 2016)

ARRIOSTRADORES LATERALES

Los arriostrados laterales o vientos: van colocados entre las armaduras para unir las y proporcionar la necesaria rigidez lateral. También transmite a los estribos y pilas las tensiones producidas por las fuerzas laterales, como las debidas a los vientos, y las centrífugas, producidas por las cargas dinámicas que pasan por los puentes situados en curvas.

Los puentes de grandes dimensiones descansan generalmente sobre cimientos de roca. Si los estratos sobre los que se va a apoyar están muy lejos de la superficie, entonces se hace necesario utilizar pilares cuya profundidad sea suficiente para asegurar que la carga admisible sea la adecuada. (MILIARIUM, 2008, pág. 1)

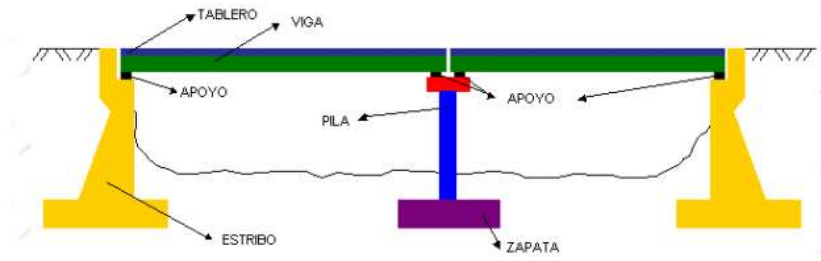


Ilustración 293. Partes Generales de los Puentes. (ocw, s.f., pág. 191)

INFRAESTRUCTURA O SUB ESTRUCTURA

La infraestructura es la parte del puente que se encarga de transmitir las solicitaciones al suelo de cimentación, y está constituida por:

PILAS

Las pilas son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. Deben soportar la carga permanentemente y sobrecargas sin asentamientos, ser insensibles a la acción de los agentes naturales (viento, riadas, etc.).

ESTRIBOS

Los estribos situados en los extremos del puente sostienen los terraplenes que conducen al puente. A veces son reemplazados por pilares hincados que permiten el desplazamiento del suelo en su alrededor. Deben resistir todo tipo de esfuerzos por lo que se suelen construir en hormigón armado y tener formas diversas.

CIMENTOS O ZAPATAS

Los cimientos o apoyos de estribos y pilas encargados de transmitir al terreno todos los esfuerzos. Están formados por las rocas, terreno o pilotes que soportan el peso de estribos y pilas. (MILIARIUM, 2008, pág. 1)



VANO

Cada uno de los espacios de un puente u estructura, comprendida entre dos apoyos consecutivos. La distancia entre dos apoyos consecutivos de los elementos portantes principales es la luz del vano; no hay que confundirla con la luz libre que es la distancia entre los paramentos de los apoyos, ni con la longitud del puente.

TAJAMAR

Elemento extremo de la pila de un puente que adopta una forma de sección redondeada, almendrada o triangular para conducir suavemente la corriente de agua hacia los vanos para que disminuya el empuje sobre la obra y facilite el desagüe.



ANEXO 4. INMUEBLES LOCALIZADOS

Se localizó la existencia de un inmueble aparte de los ya estudiados. Se encuentra en el Municipio de Carácuaro, Mich.

Si observamos la tabla no.36 de la vía secundaria propuesta no.3, podemos observar que de los 56 municipios que se encuentran en la lista en el número 24 se encuentra la carretera Tiripetío-Carácuaro-Eréndira, Fed. Morelia, Pátzcuaro, de la cual podríamos tomar partido y dirigirnos hacia la entrada de este inmueble histórico.

Carácuaro está localizado al sureste de Michoacán a 135 km de la capital (Morelia). Limita al norte con el municipio de Madero, al este con el de Tiquicheo, al sur con el de Huetamo, al oeste con el de Turicato y al noreste con el de Nocupétaro.

Los orígenes de Carácuaro se remontan a la época precolombina como una pequeña aldea chichimeca de la cual no existe mucha información. Tampoco existe registro que la población purhépecha haya dominado este poblado. Sin embargo, se sabe que en tiempos del rey Taricuauri, se designó a Tangaxoán como Señor de la Región Sur o Región de la Negrura y existe la posibilidad que él hubiera fundado Carácuaro. (INAFED, s.f.)

El puente Morelos es uno de los hitos más representativos del Municipio de Carácuaro, Mich.

Puente Morelos, en Carácuaro de Morelos, Michoacán, comunica la carretera Huetamo-Morelia, con el centro de la población, inicio su construcción el 31 de enero del 1901 y termino su construcción el 5 de mayo de 1905. (en.mexico.pueblosamerica.com, s.f.)

Al parecer es un puente de ladrillo de principios del siglo XIX. Es un puente abovedado. Cuenta con 5 arcos de medio punto o medio cañón.



Ilustración 294. Puente Morelos, ubicado en el Mpio. De Carácuaro, Mich. (*flickr.com*, 2008)



Ilustración 295. Partes representativas de la calzada del puente Morelos, Carácuaro, Mich.,
(*en.mexico.pueblosamerica.com*, s.f.), (*vamonosalbable.blogspot.mx*, 2015) Y (GARCÍA CHÁVEZ, 2016)

A la izquierda arriba. Vista de los arcos y la calzada del puente Morelos.

A la derecha arriba. Caballetes colocados en el pretil del puente.

Abajo. Entrada a Carácuaro.



Ilustración 296. Crecida del río Carácuaro en el Puente Morelos, Mpio de Carácuaro, Mich.
(en.mexico.pueblosamerica.com, s.f.)

Al parecer el puente Morelos sufre de crecidas del río Carácuaro, el cual provoca empujes laterales en la estructura, estos esfuerzos pueden resultar muy perjudiciales para el inmueble pudiendo provocar el colapso del mismo.