

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

SUPERESTRUCTURA PUENTE SAN
TELMO CON PILA DESPLOMADA POR
SOCAVACIÓN, DETERMINACIÓN CARGA
DE FALLO POR FLEXIÓN LONGITUDINAL
MEDIANTE MÉTODO DE MONTECARLO

Saint Elmo Bridge Superstructure with Dislocated Pile Due to Scour, Longitudinal
Bending Failure Load Determination By Montecarlo Method

Fecha de recepción: 03-06-2022 | Fecha de aceptación: 16-09-2022

Autor:

¹Cox Hoyos Walter Ricardo

¹Ingeniero Civil, M. Sc., Docente Pasivo de Grado y Postgrado Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología Departamento de Estructuras y Ciencias de los Materiales, Ingeniería Civil.

Correspondencia del autor(es): ricox4444@yahoo.com¹, Tarija - Bolivia.

RESUMEN

En febrero de 2020, debido a la crecida del río San Telmo, el puente San Telmo se socavó en una de sus pilas intermedias dejando descolgado el correspondiente apoyo de la superestructura, pero sin que ésta haya llegado a colapsar.

Se abrió entonces la posibilidad de que en ese estado la parte que quedaba en pie del puente fuera capaz de permitir el tránsito de vehículos livianos, con carga controlada de manera ordenada, uno a la vez.

Esta inquietud resulta inteligible habida cuenta de la demora que habrían de consumir los trabajos de reparación de la pila colapsada, más aún si se tiene presente que la época de riadas estaba en su pico –lo que inviabilizaba la posibilidad de desplegar trabajos en el seno del cauce– simultáneamente haciendo que, por esta misma razón, un desvío por el lecho del río adoleciera de serias limitaciones.

Planteada así la cuestión una respuesta a ella se hacía menester.

El trabajo expone los argumentos técnicos que condujeron a aceptar la factibilidad de esta posibilidad y versa sobre el procedimiento y los cálculos que se efectuaron para abordar la cuestión. Las características del problema lo hacen ideal para la aplicación de simulación mediante el método de Montecarlo, lo que conduce a una respuesta final probabilista (y no determinista) y a la introducción de diagramas tornado que desnudan claramente la interacción entre las distintas variables, así como la magnitud de su influencia sobre la variable resultado final –la carga de fallo de la superestructura

ABSTRACT

In February 2020, due to the flooding of the Saint Elmo river, the Saint Elmo bridge undermined one of its intermediate piers, leaving the corresponding support of the superstructure loose, but without it collapsing.

The possibility then arose that in that state the remaining part of the bridge would be capable of allowing the transit of light vehicles, with loads controlled in an orderly manner, one at a time.

This concern is understandable given the delay that the repair work on the collapsed pile would have to consume, even more so if it is bear in mind that the flood season was at its peak –which made it impossible to carry out work within the channel– simultaneously making, for this very reason, a detour through the riverbed suffer from serious limitations.

The work exposes the technical arguments that led to accept the feasibility of this possibility and deals with the procedure and the calculations that were carried out to address the issue. The characteristics of the problem make it ideal for the application of simulation using the Monte Carlo method, which leads to a probabilistic (and not deterministic) final answer and the introduction of tornado diagrams that clearly reveal the interaction between the different variables, as well as the magnitude of its influence on the final result variable –the failure load of the superstructur

Palabras Claves: Puente San Telmo, puente con apoyo dislocado, socavación de pila, fiabilidad estructural, probabilidad de falla, carga de fallo, flexión longitudinal, simulación, método de Montecarlo.

Keywords: Saint Elmo Bridge, bridge with dislocated support, pile scour, structural reliability, failure probability, failure load, longitudinal bending, simulation, Montecarlo method..

1. RELEVANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Abordar y resolver los problemas técnicos locales es una de las facetas prácticas de aplicación de los conocimientos de la ingeniería estructural. El devenir de la realidad produce situaciones particulares y la sociedad demanda respuestas efectivas. La ingeniería queda así convocada para resolver las interrogantes de su esfera.

Hurgar los detalles particulares de la situación del puente San Telmo con la pila colapsada y estudiar sus peculiaridades producirá, en primera instancia, una respuesta a una necesidad social inmediata y, en segunda instancia, contribuirá a profundizar la comprensión del alcance técnico de la norma empleada para el diseño de puentes, así como sus implicancias reales sobre la eficiencia de las estructuras resultantes y sobre el costo de su ejecución.

2. OBJETIVO

Determinar la carga de fallo por flexión longitudinal de la superestructura del puente San Telmo ante el

nuevo esquema estructural generado como consecuencia del desplome por socavación de una de sus pilas intermedias.

Es decir, en otras palabras, determinar si en este nuevo estado el puente es capaz de permitir, por encima de él, el tránsito de vehículos livianos, de peso controlado y de magnitud apreciablemente inferior a la carga original de diseño provista por la correspondiente norma para el diseño de puentes carreteros.

3. INTRODUCCIÓN

El puente San Telmo se ubica en las coordenadas geográficas: S 22° 32' 15,40" y O 64° 24' 30,85", a 543 m.s.n.m., sobre la Ruta Nacional 1 (RN1). Fue construido el año 2002 por la constructora Queiroz Galvao como parte de las obras de arte mayor en el proyecto "Construcción Asfaltado Camino Emborozú – km 19" (figura 1).

Por la fecha de ejecución de las obras se estima que la ingeniería estructural del puente fue llevada a cabo bajo norma AASHTO Estándar, versión 1996 [1].



Figura 1. Imagen del sitio del puente San Telmo.

Fuente: GoogleEarth [23], mayo de 2022



Figura 2. Imagen del puente San Telmo, con la pila izquierda colapsada.

Fuente: periódico Ahora el Pueblo [20], febrero de 2020

En la época de riadas diciembre/2019 – abril/2020, específicamente en febrero de 2020, la pila izquierda fue socavada por el cauce y se desplomó, modificando el esquema estático original de la superestructura. Ésta no llegó a fallar por motivo de su hiperestaticidad y su significativo grado de redundancia (figura 2).

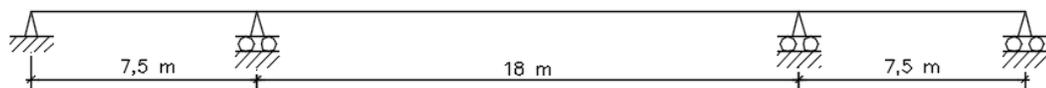
Consecuencia lógica luego de verificar que la superestructura no había fallado –y, es más, se mantenía intacta– era inquirir si ésta además era capaz de soportar la carga de tránsito generada por la circulación de un vehículo liviano, situación que era imprescindible de dilucidar por la premura y la presión de los pasajeros varados.

En las figuras a continuación se muestran los siguientes detalles:

Figura 3, esquema estructural de la superestructura del puente antes y después del colapso de la pila.

Figura 4, puente con la pila colapsada expedito para la circulación de un vehículo liviano.

Figuras 5 y 6, nota de prensa de 26-febrero-2020 en que autoridad de Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) informa que el paso sobre el puente con la pila colapsada se encuentra habilitado para el tránsito de vehículos livianos.



(a) Esquema Estructural Original



(b) Esquema Estructural con Pila Intermedia Colapsada

Figura 3. Esquema estructural de la superestructura del puente antes y después del colapso de la pila.

Fuente: elaboración propia, 2020



Figura 4. Puente con pila colapsada expedito para la circulación de un vehículo liviano.
Fuente: periódico Los Tiempos, edición digital [24], 14-febrero-2020

Paso en San Telmo, tramo Tarija-Bermejo, está condicionado a factores climatológicos

El responsable del tramo carretero Tarija – Bermejo, de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), Gabriel Daza, informó que el paso en San Telmo se encuentra habilitado, tanto por el puente como por el desvío. Sin embargo, estos se encuentran sujetos a las condiciones climatológicas...

ECOS DE TARIJA

Redacción Digital / El País | 26/02/2020 09:41 | ❤



Figura 5. Nota de prensa que da cuenta de la habilitación del puente para la circulación de vehículos livianos.
Fuente: periódico El País, edición digital [22], 26-febrero-2020



Figura 6. Habilitación del puente con la pila colapsada para la circulación de vehículos livianos.

Fuente: periódico El País, edición digital [22], 26-febrero-2020

4. HIPÓTESIS DE TRABAJO

El trabajo se fundamenta en la aplicación de las cuatro siguientes hipótesis:

1. Las antiguas normas para diseño estructural de puentes carreteros –como la de la versión AASHTO Estándar de 1996 [1] empleada en el diseño del puente San Telmo– en la mayoría de los casos son excesivamente conservadoras (aunque, en ciertas circunstancias, por el contrario, se tiene la situación inversa), por lo que las estructuras resultantes consignan significativos márgenes de seguridad.
2. En virtud de la hipótesis (1) anterior, y por la rigidez propia del tablero de la superestructura, se puede establecer que éste trabaja como un diafragma que convierte en solidario el desempeño estructural del conjunto de componentes de la superestructura, logrando un reparto uniforme de cargas entre las cuatro vigas. Esta situación queda aún más sustentada si se toma en cuenta la escasa sollicitación generada por los vehículos livianos que por su magnitud no producen sustanciales concentraciones de sollicitaciones sobre ellas.
3. Para determinar el efecto de la carga vehicular sobre el tramo hiperestático, resulta muy simple y ventajoso deducir ecuaciones para el tren de cargas, pero actuando sobre un tramo isostático de igual luz. Seguidamente, para determinar la magnitud del efecto hiperestático real, es necesario aplicar a este valor un factor de continuidad –menor que la unidad– que es necesario calibrar (el principio en que se basa este razonamiento es la similitud de curvatura del diagrama de momentos en ambos casos. También, se debe notar que los puntos de máximo valor no necesariamente coinciden sobre la misma abscisa). Como se aprecia, este método provee un valor aproximado que es función de la magnitud de la carga y de otras condiciones de la estructura. Esta variabilidad lo hace ideal para ser simulado mediante el método de Montecarlo.

4. La posibilidad de fallo por momento longitudinal negativo sobre los apoyos no se analiza porque, por la hiperestaticidad del sistema, en caso de producirse un efecto significativo sobre ellos, entrarían en juego los criterios de ductilidad seccional, se generaría una rótula plástica que conduciría a una redistribución de tensiones con el consiguiente descolgamiento del diagrama de momentos y el sucesivo incremento del momento positivo en el vano. Es decir, esta situación torna crítico el momento del vano –no el de los apoyos– (apartados 15.6.2 y 22.6 de [9] y 9.6 de [5]).

Según [15], la hipótesis (1) es evidente, porque aceptada, en el prólogo, que los factores de carga de la norma AASHTO Estándar [1] no han sido revisados desde 1930 y que son muy conservadores. Igual concepto se maneja en la página 119.

Asimismo, refrendando este argumento, en los comentarios de 9.7.2 en [2], se declara que los tableros diseñados con el método de [1] tienen un factor de seguridad de al menos 10. Este mismo comentario se mantiene en la versión actualizada de 2020, en el

acápito C.9.7.2. de [8] así como también en C.9.7.2.1. de [3].

Por otra parte, la consideración de la hipótesis (2) es una consecuencia inmediata de lo detallado en el párrafo precedente.

Finalmente, el artificio propuesto en la hipótesis (3) es un conocido método aceptado para el cálculo simplificado de estructuras hiperestáticas tanto por la escuela europea como por la norteamericana (capítulo 29 de [9], 9.6.2 de [5] y 8.3.3 de [4]).

5. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Con base en las hipótesis de trabajo planteadas, la metodología consigna los siguientes pasos para lograr el objetivo:

1. Para la superestructura, se definen los esquemas estructurales de la figura 3.
2. Para la sección transversal tipo, se define el esquema de la figura 7.
3. Para el análisis de la sección solidaria, se define el esquema de la figura 8.

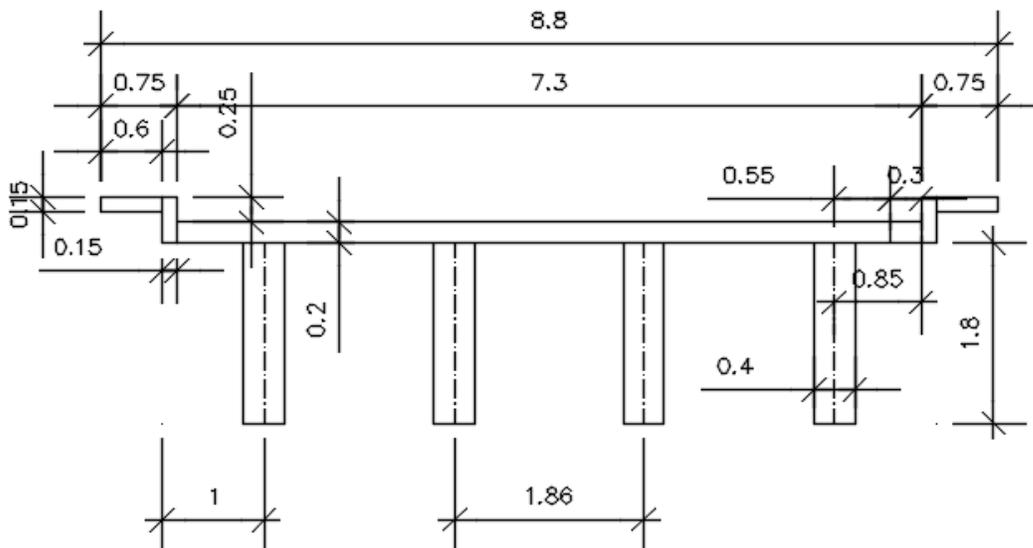


Figura 7. Esquema de la sección transversal tipo.

Fuente: elaboración propia, 2020

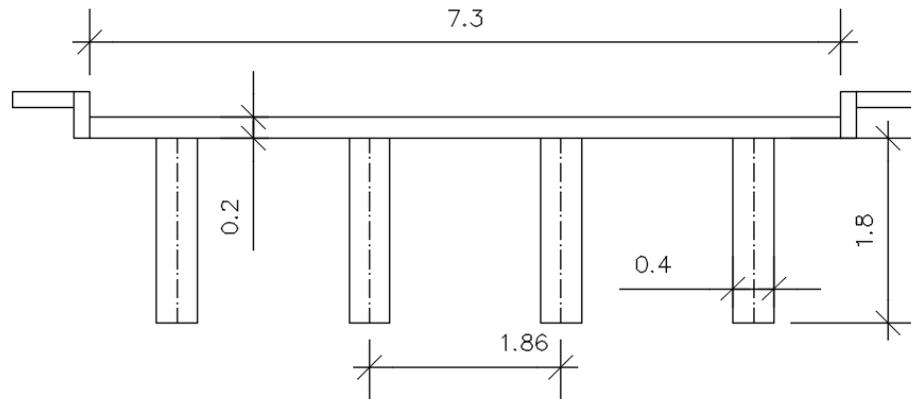


Figura 8. Esquema de la sección transversal solidaria.

Fuente: elaboración propia, 2020

4. Determinación de la fracción de carga para momento (f_{cm}) para la sección transversal de la figura 7 y para una viga isostática de 18 m de longitud correspondiente al tramo central del esquema de la figura 3(a) calculado según [2]. Se obtiene:

$$f_{cm} = 1,568$$

5. El momento máximo por carga móvil, para el camión de diseño, para este esquema estructural, se puede calcular con [10]:

$$M_{cv} = P [9/4L (L+1.423)^2 - 17,20] \quad (1)$$

De esta manera, se obtienen los siguientes momentos (en lo que sigue del documento, en todos los casos, se considera un factor de impacto de 1,33 –artículo 3.6.2 de [2]–):

Elemento	Momento [kN.m]
PP viga	702,7
PP (losa + diafragma)	360,4
S/C rodadura	32,5
S/C baranda	132,4
Mcv	1 127,1
q carril	376,7
Md	4 174,7

6. Si se aplica la hipótesis de trabajo (3), se obtiene el momento hiperestático positivo de diseño en el tramo central de la estructura original –figura 3(a)–:

Descripción	Momento [kN.m]
Md+	2 391,9

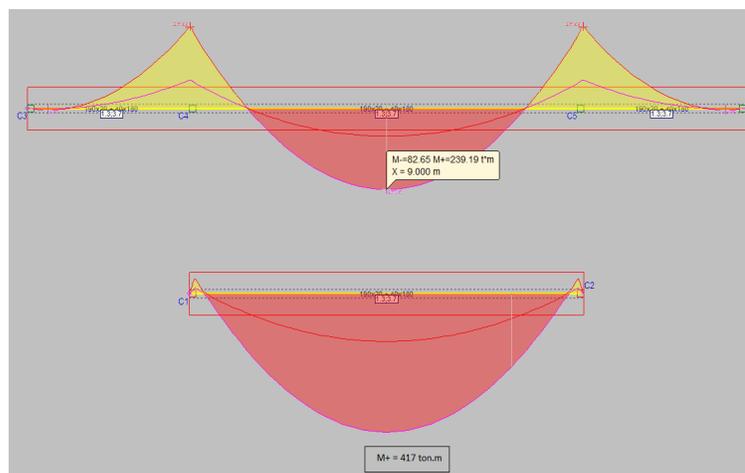


Figura 9. Momento longitudinal hiperestático en el esquema original de figura 3(a) según hipótesis de trabajo (3).

Fuente: elaboración propia, 2020

SUPERESTRUCTURA PUENTE SAN TELMO CON PILA DESPLOMADA POR SOCAVACIÓN, DETERMINACIÓN CARGA DE FALLO POR FLEXIÓN LONGITUDINAL MEDIANTE MÉTODO DE MONTECARLO

7. Se define el vehículo liviano de diseño con las siguientes características (página 378 de [16], y [19] y [21]):

Parámetro	Magnitud
L entre ejes	3,0 m
Peso total, con carga	20 kN

Similar a la expresión conseguida en el punto 5, anterior, para estas características geométricas, se tiene:

$$m_{cv} = P/2L (L-1,50)^2 \quad (2)$$

8. Se trabaja con el esquema estructural de la figura 3(b), con el vehículo liviano de diseño y se calibra el factor de continuidad –cuyo valor luego, durante la simulación, se hará variar–.

Para esto, se obtiene:

Elemento	Momento [kN.m]
PP viga	1 407,4
PP (losa + diafragma)	702,6
S/C rodadura	65,3
S/C baranda	265,8
Mcv	149,6
q carril	755,9
Md	4 652,3

Con lo que se determina el factor de continuidad:

$$k=0,76 \quad (3)$$

A partir de los siguientes diagramas de momento:

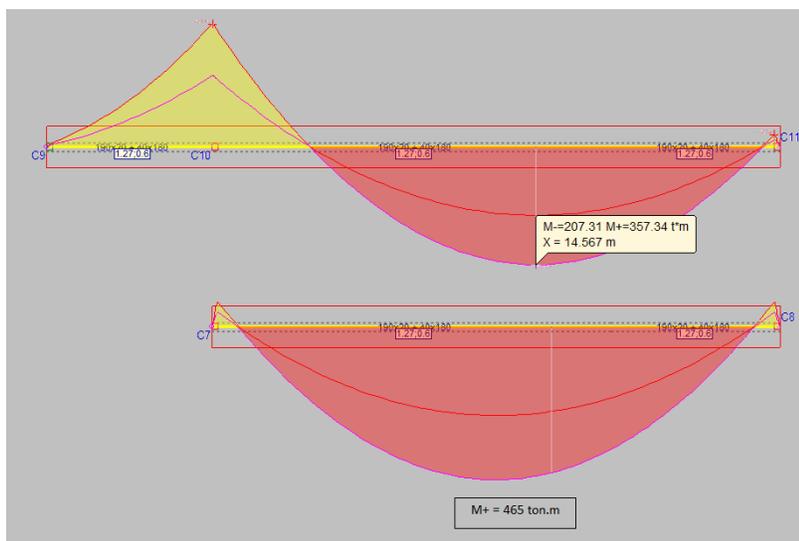


Figura 10. Momento longitudinal hiperestático en el esquema estructural de figura 3(b) según hipótesis de trabajo (3)

Fuente: elaboración propia, 2020

9. A falta de disponibilidad de planos constructivos del puente original, se emplea el valor obtenido en el punto 6, anterior, para inferir la armadura necesaria por flexión de la sección en T–capítulo 18 de [9]–. Para ello, se emplea la geometría de la sección transversal de la figura 7 y se asume la siguiente información propia de la época de construcción del puente (año 2002):

Parámetro	Magnitud
L	18 m
Md	2 390 kN.m
fck	21 MPa
fyk	420 MPa

Los parámetros obtenidos son:

Parámetro	Magnitud
b efectivo	1,86 m
As'	10,81 cm ²
As	36,04 cm ²

Asimismo, se determina la siguiente armadura de reparto de la losa del tablero –capítulo 3 de [10]–:

Parámetro	Magnitud
As reparto	12,57 cm ² / m

Tomando en consideración las cuatro vigas de la sección transversal más la losa del tablero, aplicando la hipótesis (2) a la sección solidaria de la figura 8, se obtiene:

Parámetro	Magnitud
L	25,5 m
b efectivo	6,78 m
As'	135 cm ²
As	157 cm ²

Se determina la capacidad estructural en flexión longitudinal para la sección transversal solidaria. Se obtiene:

$$M_u = 12\,670 \text{ kN.m} \quad (4)$$

(El hecho de que la sección se analice trabajando de manera solidaria viene también refrendado por el detalle de que la fibra neutra se ubica sobre la placa –y no sobre el nervio–).

10. Se determina también la capacidad estructural para una sola viga de la sección transversal de la figura 7(a), pero con el esquema estructural de la figura 3(b) –no se considera el comportamiento solidario del conjunto– a partir de los parámetros:

Parámetro	Magnitud
L	25,5 m
b efectivo	1,86 m
f _{ck}	21 MPa
f _{yk}	420 MPa
As'	34 cm ²
As	39 cm ²

Se determina la capacidad estructural en flexión longitudinal para la sección transversal:

$$M_u = 3\,150 \text{ kN.m} \quad (5)$$

(Nuevamente, la fibra neutra se ubica sobre la placa).

Teniendo toda esta información disponible, antes de proceder a la simulación, ahora se está en condiciones de calcular preliminarmente, de manera determinística, la carga de fallo para los dos escenarios posibles:

- Viga sola, sin trabajo solidario
- Sección transversal solidaria

A continuación, se desarrollan estas cuentas.

11. Viga sola, sin trabajo solidario.

Se determina la fracción de carga para momento para la viga isostática de 25,5 m de luz:

$$f_{cm} = 1,420$$

Las solicitaciones son:

Elemento	Momento [kN.m]
PP viga	1 408,4
PP (losa + diafragma)	702,6
S/C rodadura	65,3
S/C baranda	265,8
M _{cv}	M _{cv}
q carril	755,9

Según página 5-29 de [2] y página 30, capítulo 5, de [7]:

$$\phi = 0,90$$

Con lo que la ecuación de estado límite de flexión longitudinal es:

$$2,49 M_{cv} + 3\,070 + 1\,320 = 2\,840$$

y, resolviendo para la única incógnita:

$$M_{cv} = -620 \text{ kN.m}$$

El valor negativo de esta respuesta indica que existe un déficit de capacidad estructural de 620 kN.m. Es decir, en otras palabras, según estos cálculos, la superestructura debería haber fallado al momento del desplome de la pila por socavación.

12. Sección transversal solidaria.

La evidencia de la realidad desnuda la falacia de la anterior respuesta. Existen diferentes mecanismos resistentes que son desplegados por la superestructura antes de intentar colapsar ante su nueva condición de apoyo, mecanismos que no son debidamente tomados en cuenta por las especificaciones para diseño y que constituyen una reserva adicional de capacidad estructural.

Para procurar una respuesta simple se aplican las hipótesis de trabajo (1) y (2) y se realizan las cuentas.

En la sección solidaria, la fracción de carga para momento para una viga isostática de 25,5 m de luz es:

$$f_{cm}=1,0$$

Las solicitaciones son:

Elemento	Momento [kN.m]
PP viga	5 618,2
PP (losa + diafragma)	2 761,4
S/C rodadura	261,1
S/C baranda	265,8
M _{cv}	M _{cv}

La ecuación de estado límite de flexión longitudinal es:

$$1,75 M_{cv} + 10 810 + 390 = 11 400$$

De donde:

$$M_{cv} = 110 \text{ kN.m}$$

Empleando la ecuación (2) e introduciendo el factor de continuidad del punto 8, anterior:

$$M_{cv} = \frac{1,33 k P (L - 1,50)^2}{2 L} \quad (6)$$

De donde:

$$P = 10 \text{ kN}$$

6. RESULTADOS

La simulación mediante el método de Montecarlo pretende determinar, mediante análisis probabilístico, la carga de fallo de la superestructura a partir del vehículo liviano de diseño parametrizado según se indica en el acápite 7 y las variables definidas en el acápite 12.

La teoría, las funciones de densidad de probabilidad y la generación aleatoria de las magnitudes de las variables según las distribuciones de probabilidad empleadas sigue a [11], [12], [13], [14], [17] y [18].

Para parametrizar las variables se emplea la distribución normal debido a su cualidad de ser la que menos información estadística requiere.

Se simularon un total de 100 000 escenarios aleatorios diferentes.

Los resultados obtenidos para P [ton] se ajustan de manera conveniente a una distribución log-normal de tres parámetros:

$$f(x; \mu, \sigma, \gamma) = \frac{1}{(x - \gamma)\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln(x-\gamma)-\mu]^2}{2\sigma^2}}$$

Los tres parámetros, de forma, de escala y de umbral, son:

$$\mu = -38,5513$$

$$\sigma = 3,9263$$

$$\gamma = 0,1519$$

La tabla de variables empleadas, el diagrama de tornado, la tabla resultante de carga de fallo (en función de la probabilidad de fallo), la gráfica carga de fallo versus probabilidad de fallo, y el histograma para P se incluyen a continuación.

Tabla 1								
Variables Empleadas en la Simulación (y unidades prácticas)								
1. Verificación Mu.			Media	Desv	Coef. Var.	L Inf	L Sup	Distribución
b ef	6.78	m	6,78	0.678	0.10	6.10	7.46	Normal
h	2.00	m	2,00	0.200	0.10	1.80	2.20	Normal
bw	0.80	m	-	-	-	-	-	Determinístico
hf	0.20	m	-	-	-	-	-	Determinístico
fck	21	MPa	21	4.20	0.20	16.8	25.2	Normal
fyk	420	MPa	420	21	0.05	399	441	Normal
r	0.10	m	0.10	0.01	0.10	0.09	0.11	Normal
As'	0.0135	m ²	0.0135	0.00135	0.10	0.0122	0.0149	Normal
As	0.0157	m ²	0.0157	0.00157	0.10	0.0141	0.0173	Normal
y	0.0463	m	-	-	-	-	-	Simulado
Mu	12 308	kN.m	-	-	-	-	-	Simulado
2. Mcv.								
Mpp(v+B)	5 620	kN.m	5 620	1 120	0.20	4 500	6 740	Normal
Mpp(l+d)	2 760	kN.m	2 760	550	0.20	2 210	3 310	Normal
Msc(rod)	260	kN.m	260	52	0.20	210	310	Normal
Msc(bar)	270	kN.m	270	54	0.20	220	320	Normal
Mq(carril)	0	kN.m	0	0	0	0	0	Normal
fi	0.90	-	-	-	-	-	-	Determinístico
ycv	-	-	1.2	0.55	0.45	0.65	1.75	Normal
Mcv	1 270	kN.m	-	-	-	-	-	Simulado
3. P.		Media	Desv	Coef. Var.	L Inf	L Sup	Distribución	
L	25.50	m	-	-	-	-	-	Determinístico
a	1.50	m	-	-	-	-	-	Determinístico
F contind	0.76	-	0.76	0.08	0.10	0.68	0.84	Normal
l	1.33	-	1.33	0.13	0.10	1.20	1.46	Normal
P	111.5	kN	-	-	-	-	-	Simulado
M total	1 018	kN.m	-	-	-	-	-	Simulado

Tabla 1. Variables empleadas en la simulación (y unidades prácticas).

Fuente: elaboración propia (2020).

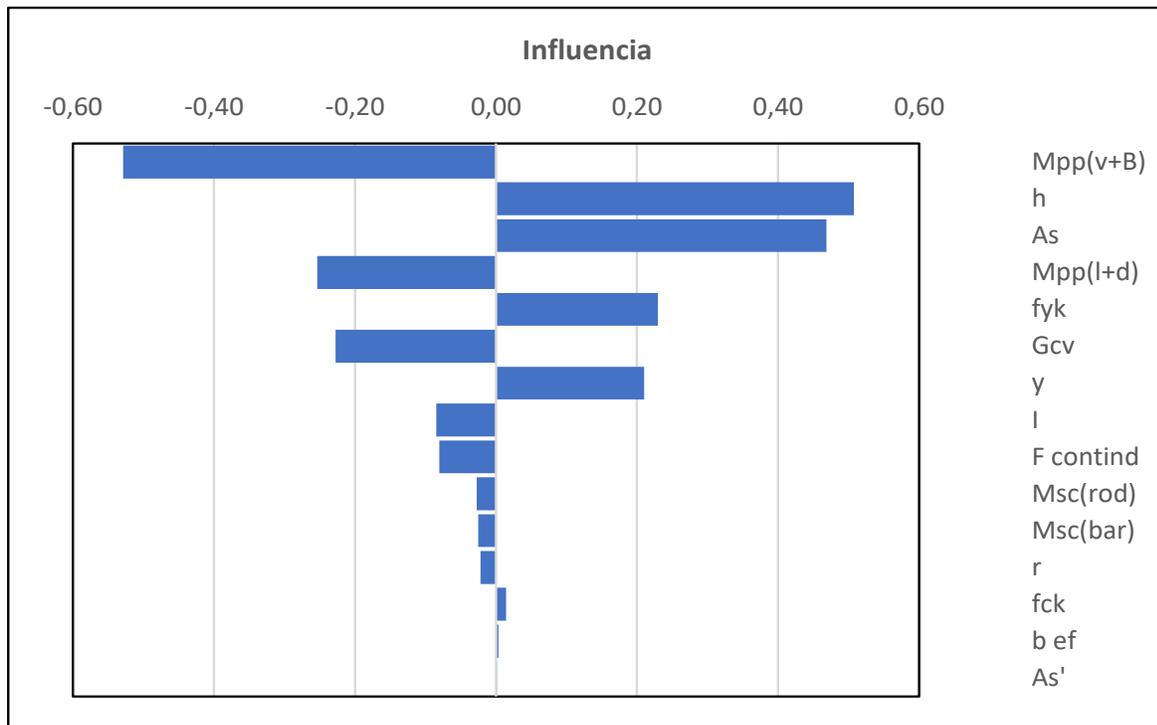


Diagrama 1. Diagrama de Tornado.
 Fuente: elaboración propia (2020).

Tabla 2 Probabilidad P - β			
Media:	127,73	Desv. Están:	78,57
N°	Prob [%]	P [kN]	β
1	95	8.8	3.674
2	94.70	10.5	3.652
3	90	32.4	3.405
4	85	48.7	3.222
5	80	62.1	3.073
6	75	73.7	2.945
7	70	84.1	2.831
8	65	94.2	2.722
9	60	103.8	2.618
10	55	113.4	2.516
11	50	122.9	2.415

Tabla 2. Probabilidad de fallo (Prob [%]), Carga de fallo P [kN] e Índice de Fiabilidad Estructural (β).
 Fuente: elaboración propia (2020).

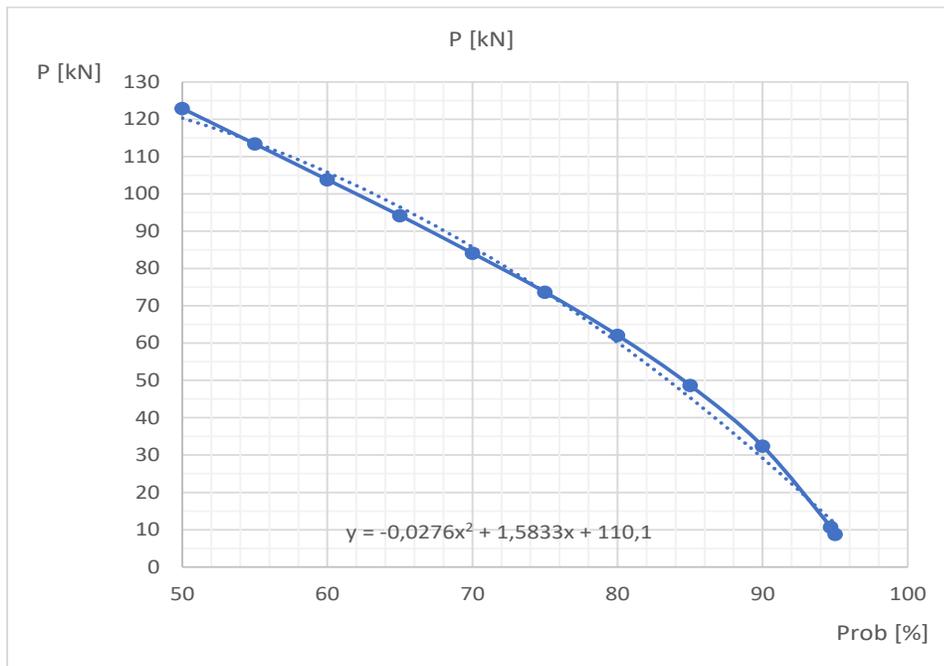


Gráfico 1. Curva Probabilidad de Fallo (Prob [%]) versus Carga de Fallo P [kN].
Fuente: elaboración propia (2020).

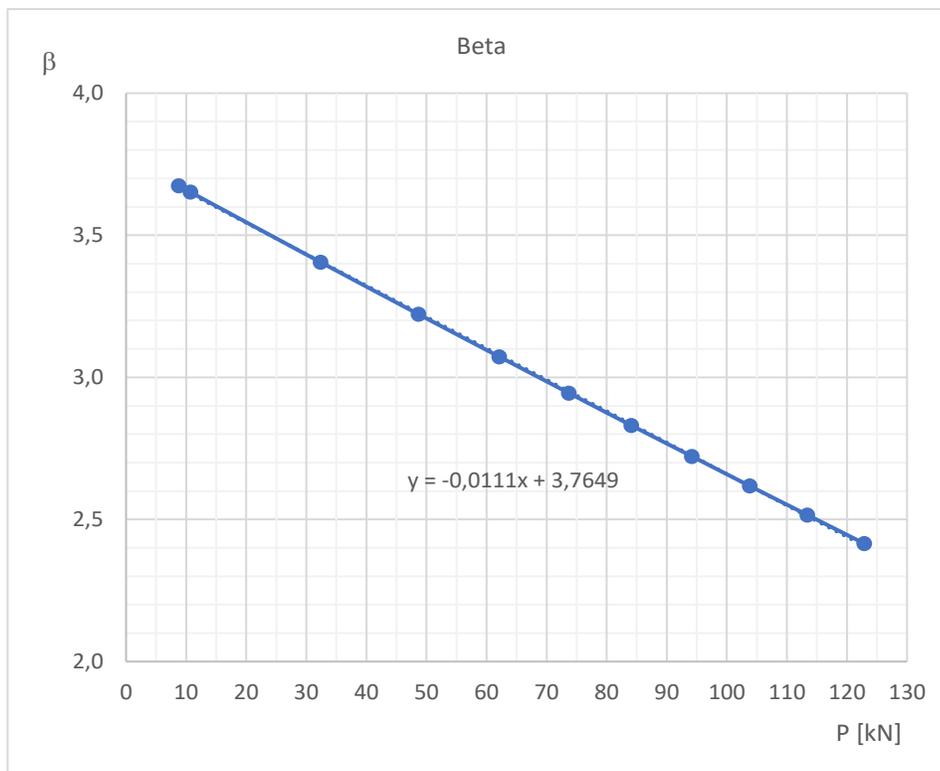


Gráfico 2. Curva Carga de Fallo P [kN] versus Índice de Fiabilidad Estructural β.
Fuente: elaboración propia (2020).

Pantalla de salida de la planilla de simulación.

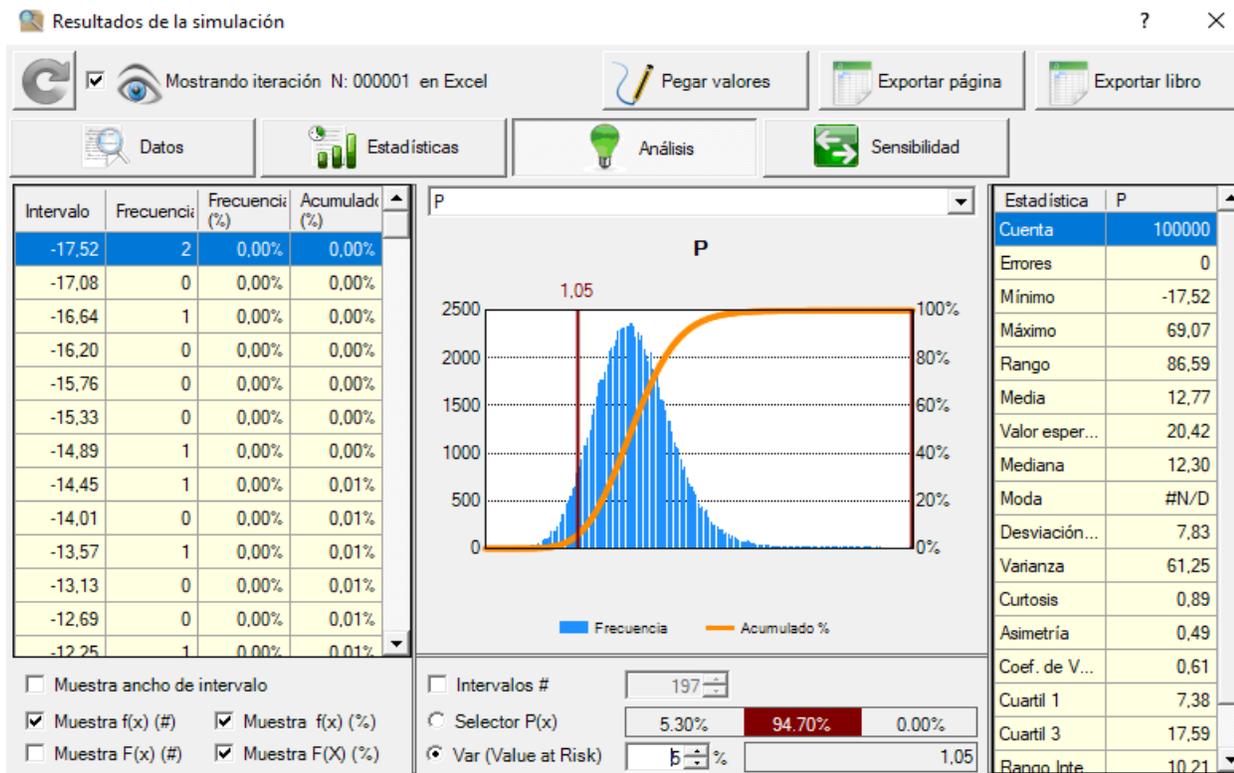


Figura 11. Pantalla de salida de la planilla de simulación.

Fuente: elaboración propia (2020).

7. DISCUSIÓN

Son las siguientes:

1. A la luz de la tabla carga de fallo P [ton] versus probabilidad de fallo se afirma que el vehículo liviano de diseño, definido en el acápite 7, tiene un 94,70 % de probabilidad de transitar sobre la superestructura sin causar su fallo.
2. En esta tabla se consignan también los valores de la carga de fallo para otras diferentes cotas de probabilidad de fallo.
3. Los parámetros que inciden favorable y significativamente sobre el valor de la carga de fallo son la altura de la viga (h) y la armadura traccionada (As) y, luego, en menor medida, las características mecánicas de la armadura y del hormigón (γ).

4. Por el contrario, los parámetros que merman significativamente el valor de la carga de fallo son los momentos por peso propio de vigas, de losa, de diafragma y de capa de rodadura {Mpp(v+B), Mpp(l+d), Msc(rod)}, el factor de impacto (I) y el factor de continuidad (k).
5. Las restantes variables no tienen influencia significativa sobre la carga de fallo

8. REFERENCIAS

- AASHTO (1996). Standard Specifications for Highway Bridges. Sixteenth Edition. U.S.A.
- AASHTO (2004). Especificaciones LRFD Para el Diseño de Puentes de Carretera. Traducción CIRSOC. Argentina.
- AASHTO (2010). LRFD Bridge Design Specifications. Fifth edition. U.S.A.

- ACI (2005). ACI 318 S - 05 Reglamento para Hormigón Estructural y Comentario. U.S.A.
- CBH-87 (1987). Norma Boliviana del Hormigón Armado. Bolivia.
- CIRSOC 801 (2019). Reglamento Argentino Para el Diseño de Puentes Carreteros. Proyecto General y Análisis Estructural. CIRSOC. Argentina.
- CIRSOC 802 (2019). Reglamento Argentino Para el Diseño de Puentes Carreteros. Puentes de Hormigón. CIRSOC. Argentina.
- CIRSOC 804-1 (2020). Reglamento Argentino Para el Diseño de Puentes Carreteros. Tableros y Sistemas de Tableros. CIRSOC. Argentina.
- García A., Morán F., Arroyo J. (2010). Jiménez Montoya - Hormigón Armado. Decimoquinta Edición. España.
- Herrera M., J. H. (1996). Puentes. Universidad Católica de Colombia. Colombia.
- Holický M. (2013). Introduction to Probability and Statistics for Engineers. Springer. Germany.
- Lemaire M. (2009). Structural Reliability. Iste, Wiley. Great Britain.
- Melchers R., Beck A. (2018). Structural Reliability Analysis and Prediction. Third edition. Wiley. United Kingdom.
- National Cooperative Highway Research Program (1999). Report 368 Calibration of Bridge Design Code. Transportation Research Board. U.S.A.
- National Cooperative Highway Research Program (2007). Report 592 Simplified Live Load Distribution Factor Equations. Transportation Research Board. U.S.A.
- Neufert, E. (1995). Arte de Proyectar en Arquitectura. Gustavo Gili. España.
- Nowak A., Collins K. (2000). Reliability of Structures. Mc Graw Hill. U.S.A.
- Tychý M. (1993). Applied Methods of Structural Reliability. Springer Science + Business Media. U.S.A.

SITIOS WEB

- Actualidad motor. Datos Camioneta Toyota Hilux. Fecha de consulta: febrero 2020. <https://www.actualidadmotor.com/coches/toyota/toyota-hilux/#:~:text=Con%20una%20distancia%20entre%20ejes,hasta%201.040%20kilogramos%20de%20carga.>
- Ahora el Pueblo. Periódico, edición digital. Fecha de consulta: febrero de 2020. https://www.google.com/search?q=puente+san+telmo+tarija&sxsrf=ALiCzsaM6L2g7Cb-Jp-OiViASU0bN1kwZBg:1653805402242&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjJx5yciYT4AhWSBtQKH9bAe4Q_AUoAXoECAIQAw&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgsrc=tEtYckIE7cVJuM
- Autodata 24, Catálogo Wiki Automóviles. Datos Vagoneta Toyota Ipsum. España. Fecha de consulta: febrero de 2020. <https://es.autodata24.com/toyota/ipsum/ipsum-xm1/20-i-135-hp/details>
- El País. Periódico, edición digital. Fecha de consulta: febrero de 2020. https://elpais.bo/tarija/20200226_paso-en-san-telmo-tramo-tarija-bermejo-esta-condicionado-a-factores-climatologicos.html#:~:text=Patria%20Grande-,Paso%20en%20San%20Telmo%2C%20tramo%20Tarija%2DBermejo%2C%20es-t%3%A1%20condicionado,puente%20como%20por%20el%20desv%3ADo.
- https://apps.elpais.bo/elpaisbo-web/tarija/20200226_paso-en-san-telmo-tramo-tarija-bermejo-esta-condicionado-a-factores-climatologicos.html

- 🔖 GoogleEarth. Fecha de consulta: febrero de 2020, mayo de 2022.
- 🔖 Los Tiempos. Periódico, edición digital. Fecha de consulta: febrero de 2020. <https://www.lostiempos.com/actualidad/pais/20200214/abc-reporta-tres-tramos-cerrados-paz-santa-cruz-tarija-lluvias>