

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL – CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Luis Edgardo Becerra Coba

Asesor:

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno

Cajamarca - Perú

2021



DEDICATORIA

Dedicado a todas aquellas personas importantes en mi vida, como mi padre, mi madre y mi hermano, quienes felices soportaron todo este sacrificio realizado.

A mi querido amigo del colegio, quien siempre me trató de guiar y encaminar por el sendero correcto de la vida y hasta el día de hoy lo sigue haciendo.

A todos los estudiantes interesados en este tema de investigación desarrollado, para que les sirva de antecedente y se inspiren.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a nuestro Padre Celestial Dios, quien siempre me permite gozar de buena salud
y amor familiar.

A mis padres, familiares y amigos, que contribuyeron con su granito de arena en la
realización de este trabajo.

A mi asesor, quien siempre, con sus consejos, me llevó a los caminos acertados de mi
investigación y también por brindarme todos sus conocimientos en cada una de sus
asesorías.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN.....	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema.....	43
1.3. Objetivos	43
1.3.1. Objetivo general	43
1.3.2. Objetivos específicos.....	43
1.4. Hipótesis	43
1.4.1. Hipótesis general	43
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	44
2.1. Tipo de investigación	44
2.2. Población y muestra	44
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	44

2.4 Procedimiento	45
2.5 Aspectos éticos.....	58
CAPÍTULO III. RESULTADOS	59
3.1. Estudio de Tráfico	59
3.1.1. Puente Venecia - Cajamarca	59
3.1.2. Puente Shudal - Cajamarca	60
3.1.3. Puente Los Shilcos - Cajamarca	60
3.2. Resultados ensayo de esclerometría	61
3.3. Presentación de Resultados.....	62
3.3.1. Puente Venecia.....	62
3.3.2. Puente Shudal.....	65
3.3.3. Puente Los Shilcos.....	68
3.4. Índice de Confiabilidad de Puentes.....	72
3.4.1. Puente Venecia.....	73
3.4.2. Puente Shudal.....	79
3.4.3. Puente Los Shilcos.....	86
3.5. Clasificación puentes según índice de confiabilidad.....	93
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	96
4.1 Discusión.....	96

4.2	Conclusiones	100
4.3	Recomendaciones	101
	REFERENCIAS	102
	ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de Puentes Tipo Viga. (Manual de Puentes, 2018)	26
Figura 2 Clasificación de Puentes Tipo Arco y Pórtico. (Manual de Puentes, 2018)	27
Figura 3 Clasificación de Puentes Colgantes. (Manual de Puentes, 2018)	28
Figura 4 Clasificación de Puentes Colgantes. (Manual de Puentes, 2018)	28
Figura 5 Pesos específicos. (Manual de Puentes, 2018).....	30
Figura 6 Cargas y distribución del Vehículo. (Manual de Puentes, 2018).....	31
Figura 7 Valores característicos de la resistencia y la sollicitación. (Sanchez Silva, 2005) .	33
Figura 8 Descripción de la función de estado límite. (Sanchez Silva, 2005)	34
<i>Figura 9</i> Función de densidad marginal $f_s(s)$ y $f_n(r)$ y conjunta $f_{sr}(r,s)$. (Sanchez Silva, 2005)	35
<i>Figura 10</i> Vehículos autorizados en carreteras peruanas. (Reglamento Nacional de Vehículos (RNV), 2021).....	39
<i>Figura 11</i> Vehículos autorizados en carreteras peruanas. (<i>Reglamento Nacional de Vehículos</i> (RNV), 2021).....	40
<i>Figura 12</i> Vehículo Americano idealizado pesado para modelamiento. (<i>Adecuado de Manual</i> <i>Puentes 2018</i>).	41
<i>Figura 13</i> Sección transversal del puente Venecia de Cajamarca.....	48
<i>Figura 14</i> Sección transversal del puente Shudal de Cajamarca.....	48
<i>Figura 15</i> Sección transversal del puente Los Shilcos de Cajamarca	49
<i>Figura 16</i> Datos en escala Logarítmica, para obtener factores estadísticos de carga viva de vehículo. (Nowak, 1993), (Silva Campos, 2018).....	52

<i>Figura 17</i> Datos en escala Logarítmica, para obtener coeficientes estadísticos de carga viva de vehículo. (Nowak, 1993), (Silva Campos, 2018)	52
<i>Figura 18</i> Construcción de Funciones de probabilidad, en el Software Crystal Ball	54
<i>Figura 19</i> Vehículos pesados de la investigación - adaptado de (Reglamento Nacional de Vehículos (RNV), 2021), (Silva Campos, 2018).....	57
<i>Figura 20</i> Modelado del puente Venecia de Cajamarca en CSI Bridge, versión estudiantil.	63
<i>Figura 21</i> Deformación en el puente Venecia de Cajamarca, por sometimiento de cargas estáticas y móviles, en CSI Bridge, versión estudiantil.....	63
<i>Figura 22</i> Modelado del puente Shudal de Cajamarca en CSI Bridge, versión estudiantil.	66
<i>Figura 23</i> Modelado del puente Los Shilcos de Cajamarca en CSI Bridge, versión estudiantil.	69
<i>Figura 24</i> Deformación en el puente Los Shilcos de Cajamarca, por sometimiento de cargas estáticas y móviles, en CSI Bridge, versión estudiantil.....	70
<i>Figura 25</i> Índices de Confiabilidad β de los puentes investigados (Momentos). (Silva Campos, 2018).....	93
<i>Figura 26</i> Índices de Confiabilidad β de los puentes investigados (Cortantes) (Silva Campos, 2018).....	94
<i>Figura 27</i> Realizando el conteo de Tráfico en el Puente Los Shilcos.....	106
<i>Figura 28</i> Unión de los dos tableros del Puente Los Shilcos.	106
<i>Figura 29</i> Conteo de tráfico en el Puente Shudal.....	107
<i>Figura 30</i> Realizando el ensayo de esclerometría en el Puente Shudal.	107

<i>Figura 31</i> Realizando el conteo de tráfico en el Puente Venecia.....	108
<i>Figura 32</i> Realizando el ensayo de esclerometría en el Puente Venecia.	108
<i>Figura 33</i> Peso Bruto de Vehículo, emitido por Balanza Electrónica (55 T).	109
<i>Figura 34</i> Peso Bruto de Vehículo, emitido por Balanza Electrónica (61 T).	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estadísticos para elementos resistentes.	35
Tabla 2 Estadísticos de varios países para Valores de compresión de concreto elaborado en campo.....	36
Tabla 3 Estadísticos del refuerzo de acero corrugado.	36
Tabla 4 Estadísticos del refuerzo de acero activo, grado 270.....	37
Tabla 5 Estadísticos del refuerzo estructural (acero).....	37
Tabla 6 Estadísticos de diferenciación de medida en los elementos.	37
Tabla 7 Estadísticos para diferentes cargas permanentes.	38
Tabla 8 Estadísticos de carga viva vehicular e impacto.	38
Tabla 9 Correlación de Confiabilidad con Probabilidad de Falla, para puentes.	41
Tabla 10 Límites de índices β para diversas ubicaciones.	42
Tabla 11 Clasificación de los índices β , de conformidad al desempeño actual.....	42
Tabla 12 Peso del vehículo T3S3 según RNV y peso sobrecargado según Balanza Electrónica “ESTEBAN”.	47
Tabla 13 Estadísticos elegidos en fuerzas sometidas estáticamente.....	51
Tabla 14 Estadísticos para pesos de vehículos que transitan por los puentes.	53
Tabla 15 Estadísticos de elementos y tipo de concreto en Resistencia Nominal.	54
Tabla 16 Datos de diseño de cada puente, extraído de sus memorias de cálculo.....	55
Tabla 17 Cargas mínimas y máximas de Vehículos de la ciudad de Cajamarca.....	56
Tabla 18 Registro del IMDA del Puente Venecia.	59
Tabla 19 Registro del IMDA del Puente Shudal.	60
Tabla 20 Registro del IMDA del puente Los Shilcos.....	61

Tabla 21 Resultados de resistencia del concreto con esclerómetro de los elementos estructurales de cada puente en estudio.....	61
Tabla 22 Resultados de respuestas nominales de los elementos del puente Venecia.....	62
Tabla 23 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Venecia, Caso N° 01.....	64
Tabla 24 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Venecia, Caso N° 02.....	64
Tabla 25 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Venecia, Caso N° 03.....	65
Tabla 26 Resultados de respuestas nominales de los elementos del puente Shudal.....	65
Tabla 27 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Shudal, Caso N° 01.....	67
Tabla 28 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Shudal, Caso N° 02.....	67
Tabla 29 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Shudal, Caso N° 03.....	68
Tabla 30 Resultados de respuestas nominales de los elementos del puente Los Shilcos. ...	68
Tabla 31 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Los Shilcos, Caso N° 01.....	70
Tabla 32 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Los Shilcos, Caso N° 02.....	71

Tabla 33 Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Los Shilcos, Caso N° 03.....	72
Tabla 34 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, caso N° 01	73
Tabla 35 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, caso N° 02	73
Tabla 36 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, caso N° 03	74
Tabla 37 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, Caso N° 01	75
Tabla 38 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, Caso N° 02	76
Tabla 39 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, Caso N° 03	77
Tabla 40 Confiabilidad estructural, relación de Solicitud y Resistencia, del puente Venecia.	78
Tabla 41 Resumen de Índices β y Pf. Para momento y cortante, del Puente Venecia.	79
Tabla 42 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, caso N° 01	80
Tabla 43 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, caso N° 02	80
Tabla 44 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, caso N° 03	80
Tabla 45 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, Caso N° 01	81
Tabla 46 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, Caso N° 02	82
Tabla 47 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, Caso N° 03	83
Tabla 48 Confiabilidad estructural, relación de Solicitud y Resistencia, del puente Shudal.	84
Tabla 49 Resumen de Índices β y Pf. Para momento y cortante, del Puente Shudal.	86
Tabla 50 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, caso N° 01.....	86
Tabla 51 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, caso N° 02.....	86

Tabla 52 Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, caso N° 03.....	87
Tabla 53 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, Caso N° 01	88
Tabla 54 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, Caso N° 02.....	89
Tabla 55 Solicitación aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, Caso N° 03	90
Tabla 56 Confiabilidad estructural, relación de Solicitación y Resistencia, del puente Los Shilcos.	91
Tabla 57 Resumen de Índices β y Pf. Para momento y cortante, del Puente Los Shilcos...	93
Tabla 58 Índices de Confiabilidad de los puentes investigados con la metodología de Confiabilidad Estructural, Caso N° 02	94
Tabla 59 Índices de Confiabilidad de los puentes investigados con la metodología de Confiabilidad Estructural, Caso N° 03	95

RESUMEN

Se estudió la superestructura (vigas) de los puentes Venecia, Los Shilcos y Shudal – Cajamarca, para determinar en cuanto se estima el nivel de confiabilidad β , mediante el estudio de tráfico y simulación Monte Carlo. Para ello, se aplicó la metodología de confiabilidad estructural, y así, evaluar su diseño estructural. Además, se determinaron las solicitaciones (S) de las vigas de los puentes, mediante una modelamiento y análisis estructural en el software CSI Bridge, versión estudiantil, con la información proporcionadas por el expediente técnico de cada puente; posteriormente se determinó la Resistencia (R) de los elementos estructurales, teniendo como premisa las normas de ingeniería estructural; para luego, hallar los índices de confiabilidad (G), con la metodología anteriormente mencionada, y contrastar los valores con otras investigaciones. En conclusión, se encontró que los índices de confiabilidad son mayores a los sugeridos en el diseño $\beta=3.5$ y sobrepasan el $\beta=2.5$ indicado por la norma AASTHO; del mismo modo, se calificó a cada estructura con el grado del nivel de confiabilidad de acuerdo al Army Corps of Engineers, obteniendo que el puente Venecia tiene un nivel de confiabilidad Alto, mientras que los puentes Shudal y Los Shilcos tienen un nivel de confiabilidad entre Bueno y Arriba del promedio.

Palabras clave: Nivel de confiabilidad, Diseño de Puentes, Resistencia, Solicitación, Simulación Monte Carlo.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Con el pasar del tiempo se van modificando y actualizando las normas de diseño estructural, ya sea por actualización de datos en los registros de los sismos, modificaciones de los factores de seguridad, cambios en las solicitaciones de carga, etc. En tal sentido, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), entidad competente, actualizó la normativa correspondiente al diseño de puentes: “Manual de Puentes 2018”. Cabe mencionar, que hasta la fecha existieron 03 (TRES) manuales de puentes, el de 2003, 2016 y 2018.

Por lo anteriormente expuesto, la ciudad de Cajamarca cuenta con puentes carreteros diseñados y construidos con el Manual de Puentes 2003, lo que evidencia una antigüedad en la norma de 17 años, con respecto al Manual de Puentes 2018.

Ante esta problemática, se requiere evaluar la confiabilidad estructural y la seguridad de estos puentes, a partir de las solicitaciones de cargas de los vehículos que transitan por los puentes a estudiar, según el volumen de tráfico y el Reglamento Nacional de Vehículos. No obstante, la norma aplicada en los diseños de puentes es una adopción de la norma AASHTO, teniendo como vehículo de diseño el HL-93. (Manual de Puentes, 2018)

Sánchez Silva (2005), refiere que, para medir la seguridad estructural de una estructura, se requiere determinar el índice de confiabilidad, el cual es consecuencia de la probabilidad de falla de la estructura. Siendo un parámetro muy usado en evaluaciones de confiabilidad.

Vanegas y Chio (2014) también indicaron que una estructura debe ser segura por lógica, buscando un diseño estructural óptimo y económico, pero siempre existirá una deficiencia, la cual indica que las estructuras no son eternas; sin embargo, para que se logre una alta confiabilidad de la estructura, las fallas deben ser mínimas.

Leimare, Chateauneuf, y Jean-Claude (2009), refirieron que la funcionalidad y tiempo de vida útil de un puente está ligado a su nivel de confiabilidad, por ende, el nivel de confiabilidad es inversamente proporcional a la probabilidad de falla.

En nuestro planeta existen muchos puentes con novedosos sistemas estructurales y de diferentes luces, pero al momento de diseñar un puente para luces de mediana dimensión se construyen puentes muy costosos, ya que son considerados como obras de arte. Sin embargo, la función y propósito de un puente es conectar dos puntos y permitir el libre traslado de personas, vehículos y animales, entonces se tendría que diseñar un puente con un buen sistema estructural y con el nivel de confiabilidad alto.

“En la práctica, se han propuesto diversos índices para evaluar el estado estructural que guardan las estructuras de puentes ante diversas condiciones de carga. El cálculo de estos índices generalmente se realiza con propiedades deterministas de los parámetros involucrados en el proceso de diseño de las estructuras, pero considerando diversos factores de carga que contemplan la incertidumbre existente. En este trabajo se recurrió al denominado Factor de Evaluación de Carga del AASHTO, el cual proporciona un parámetro de referencia para determinar si el comportamiento del puente es satisfactorio o no, o hasta que el nivel de carga es capaz de resistir la estructura sin sufrir daños o llegar al colapso.” (Téllez García, 2005, pág. 2)

Además, las faltas de información sobre los niveles de confiabilidad en los puentes de la ciudad de Cajamarca no nos aseguran su duración y la serviciabilidad.

En esta oportunidad, se estudiará (03) puentes de la ciudad de Cajamarca: el puente Venecia de 43.60 m, el puente los Shilcos de 10.00 m y el puente Shudal de 9.30 m, todos de configuración estructural viga-losa, los cuales han sido diseñados y construidos entre los años 2014 – 2015, con el Manual de Puentes 2003. Asimismo, se cuenta con los expedientes técnicos de referidos puentes, diseñados estructuralmente en una hoja de cálculo de Excel.

Por lo anteriormente expuesto, se ha revisado diferentes investigaciones sobre puentes a nivel internacional, nacional y local; sin embargo, existe un déficit de investigaciones sobre puentes. Por ello, se extrajo algunos antecedentes de referidas investigaciones en orden cronológico.

Muñoz, Daza y Salazar (2002), en su investigación examinaron la respuesta de un puente de más de 70 m de luz, en el cual se analizó el puente por la metodología de confiabilidad estructural, modelando la estructura en un software de FEM y dándole importancia a la carga vehicular y el tráfico en situaciones de embotellamiento, evidenciado un tráfico saturado asumiendo que las cargas son puntuales, donde la velocidad es de 20 km/h. Del mismo modo, en un intervalo de tiempo de 50 años, simuló un modelo para analizar el índice β , encontrando que este decrece desde 4.5 a 2.5. Por consiguiente, al comparar resultados encontró una relación lineal entre los índices de confiabilidad (β) y factores de carga (RF). Recomendando que las prácticas de esta técnica de confiabilidad en puentes muestran el desempeño real y actual de cada estructura, permitiendo predecir futuras fallas o colapsos. Entonces, podemos proyectar puentes más seguros.

Téllez (2005), en su tesis “*Evaluación de la Confiabilidad de Superestructuras de Puentes Carreteros*”, por la Universidad Autónoma de México, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería (Estructuras), presenta métodos y herramientas estadísticas para efectos de estudios de confiabilidad, además de la descripción y justificación del

Factor de Evaluación de Cargas (RF), el cual se determina como un parámetro para evaluar la capacidad de carga de los puentes en estudio y su grado de seguridad. Del mismo modo, indica qué efectos se producen en las superestructuras de los puentes frente a las cargas verticales, flexión y cortante. Por ello, una de las conclusiones a la que llegó, indica que el cálculo del factor de evaluación de carga viva en puentes brinda una buena base para determinar la carga libre que puede transitar sin implicar un riesgo en el puente. Además, halló que para los puentes en estudio de luces de 15m y 28 m, las probabilidades de falla son $p(f)=5.2 \times 10^{-3}$ y $p(f)=3.8 \times 10^{-3}$, correspondiente a un índice de confiabilidad de 2.56 y 2.67, respectivamente.

Muñoz, Núñez, Rodríguez, Otárola y Ruiz (2006), en su artículo científico “*Evaluación por confiabilidad estructural de puentes en acero apoyada en monitoreo e instrumentación*”, por la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia; presentan la evaluación por confiabilidad estructural de los elementos principales de uno de los puentes de acero más importantes de la red vial nacional de Colombia, usando técnicas de confiabilidad que se basan en el levantamiento geométrico, ensayos mecánicos, conteo del tráfico, prueba de carga, calibración de modelo estructural, instrumentación, monitoreo y simulación numérica. En el monitoreo se usó un esquema electrónico de medidores sobre una red de datos multipunto “master-salve” (rs4-85), empleando la señal de diez galgas extensiométricas instaladas en los elementos principales del puente. En conclusión, se determinó que la carga de diseño (C40-95)

del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes no representa en forma suficiente el efecto producido por los camiones reales que transitan por dicha estructura, además de fallas en algunos de los elementos estructurales del puente.

Gao (2007), en su tesis doctoral, titulada “*Evaluación basada en la Confiabilidad del Transporte de Carga Viva del Puente*” aplicó la metodología de Capacidad de carga y confiabilidad estructural, en diferentes puentes, construidos de concreto armado y postensado, EE.UU. Donde contrastó las dos metodologías, obteniendo índices de 3.5 y 2.4, refiriendo que las dichas metodologías empleadas aseguran uniformidad y consistencia para el análisis y evaluación de las estructuras.

Gómez (2008), en su tesis “*Comparación entre las Filosofías de Diseño por Esfuerzos Admisibles, Factores de Carga y Factores de Carga y Resistencia en el Diseño de Superestructuras de Puentes Vehiculares Bajo la Acción de Cargas Gravitacionales*”, por la Universidad Autónoma de México, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, realizó un análisis acerca de las filosofías de diseño, a partir de inicios del siglo XX a la actualidad en función de las recomendaciones de reglamento AASHTO para analizar y diseñar superestructuras de puentes vehiculares. Pues el investigador realizó una comparación entre las filosofías de diseño por esfuerzos admisibles, factores de carga y factores de carga y resistencia. Con los resultados obtenidos propuso modernizar el reglamento de Comunicaciones y Transportes de México, concentrándose en Proyectos de Puentes y Estructuras, el cual solo contempla como

alternativas de diseño estructural, las filosofías de diseño por esfuerzos admisibles y factores de carga.

Núñez (2014), presentó en su trabajo de investigación, por la Universidad Técnica de Ambato - Ecuador, para obtener el grado de Ingeniero Civil, analizó un modelo de puente aplicando las normas AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges y AASTHO LRFD Bridge Design Specifications, en el cual llegó a concluir que existen grandes diferencias entre las metodologías que cada norma presenta, indicando que la segunda norma es más compleja que la primera; puesto que, la incertidumbre es muy grande, confirmando que el uso de la segunda ofrece diseños más conservadores.

Vanegas y Chio (2014), en su artículo científico, por la Universidad Industrial de Santander, Bogotá, Colombia; mediante conteo de tráfico, determinaron la carga viva que circula por un puente diseñado con el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCDSP-95) y luego usando las propiedades de los materiales, aplicando una distribución normal, se evaluaron los momentos resistentes. Asimismo, a través de la simulación Monte Carlo afectado a la carga viva vehicular, estimaron la sollicitación del momento en centro de luz. Llegando a la conclusión de que el índice de confiabilidad de la viga interior del puente de 30 m es de 3.5, indicando que la viga es segura por encontrarse en los límites internacionales, mientras que la viga exterior evidencia un índice de confiabilidad de 2.89, considerándose como un elemento estructural de baja seguridad, por encontrarse en el límite de las normas internacionales.

Honorato (2015), en su tesis “*Análisis de Confiabilidad y Riesgo de un Puente Expuesto a Corrosión Ubicado en el Valle de Toluca*”, por la Universidad Autónoma de México, para obtener el grado de Ingeniero Civil, analizó la superestructura de un puente vehicular, construido de concreto reforzado afectado por corrosión en el valle de Toluca, a fin de encontrar el índice de confiabilidad de Cornell, el índice de confiabilidad óptimo y el tiempo donde se le debe dar mantenimiento para ubicarlo siempre en los límites que no afecten su funcionamiento. Asimismo, concluyó que las trabes del tablero del puente fallarían por momento flexionante, puesto que, éste es el que presenta el valor de índice de confiabilidad $\beta = 2.0$ en un tiempo mínimo; también llegó a concluir que la estructura del puente en estudio es segura y confiable porque el índice de confiabilidad real es mayor al índice de confiabilidad óptimo.

Silva (2018), en su tesis, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, citó a Álvarez, Castillo y Vargas (2014), en el país de Costa Rica evaluó tres (03) puentes, de diferente configuración estructural y de materiales, aplicando la metodología LFRD de capacidad de carga, mencionando que esta es muy práctica y fácil de aplicar para la evaluación de las estructuras de puentes. En consecuencia, la capacidad de carga de dos (02) de los puentes de luz menor a 15 m, construidos de concreto armado, es menor que el puente con luz superior a 20 m, construido con vigas de perfil estructural. Pues existe una variación del 59%.

Silva (2018), en su investigación, se utilizó la metodología de confiabilidad estructural, para determinar los índices de seguridad, asimismo, se aplicó la metodología de capacidad de carga, para evaluar puentes de la carretera que conecta la sierra de Bambamarca – Chota. Para ello, se usaron tres variables, tales como: el esfuerzo de resistencia, la sollicitación de modelado en CSI Bridge y el índice de seguridad. Obteniendo este último, procesando los datos de resistencia y sollicitación. Concluyendo que los puentes en su totalidad superan el límite mínimo del índice 3.5 y 2.5 indicado en la norma. Además, al evaluar el nivel operativo por el método de capacidad estructural, asegura la vida útil del puente con índices mayores a $RF=1$.

Como se ha podido observar, el déficit de investigaciones en nuestro país sobre el tema en particular es preocupante, pues es necesario fomentar la investigación de estas estructuras.

En consecuencia, después de conocer todos estos antecedentes y observar las conclusiones a las que se puede llegar, se busca la gestión de conocimiento sobre los niveles de confiabilidad de puentes de la ciudad de Cajamarca, para demostrar su serviciabilidad y duración de vida útil, a partir de los vehículos de diseño permitidos por el Reglamento Nacional de Vehículos.

Por ello, esta investigación servirá como guía para iniciar estudios de niveles de

confiabilidad en los diversos puentes de la ciudad de Cajamarca. Asimismo, impulsará a más investigaciones posteriores, generando más información relacionada al tema.

Para poder comprender la presente investigación, se detallarán teorías, definiciones y términos que se utilizarán en el desarrollo de la tesis, los cuales se explican a continuación:

- **Puente**

Rodríguez Serquén (2012), en su libro de puentes, indica que es una obra estructural, para dar continuidad a un camino o vía, además para poder transportar lo que se pueda de un lugar a otro.

El Manual de Puentes (2018) del MTC, describe como puente a una estructura construida para salvar un obstáculo entre dos puntos, con una longitud mayor a 6 m.

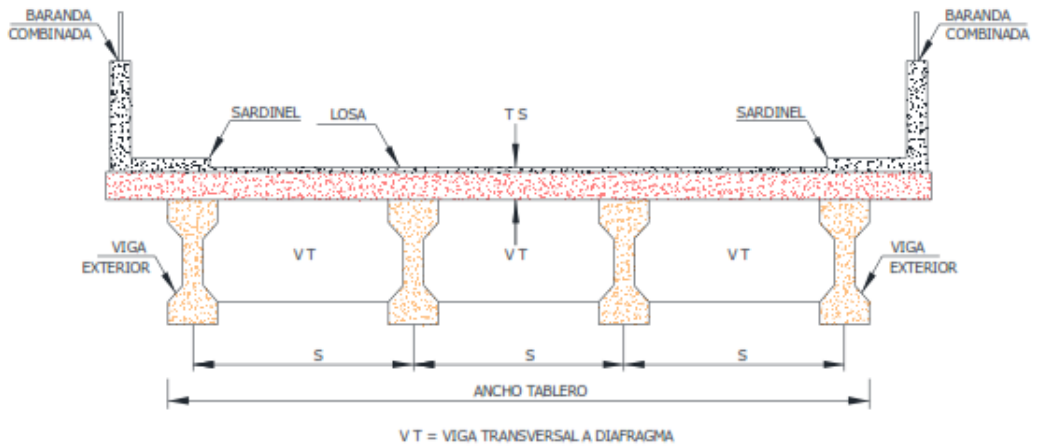
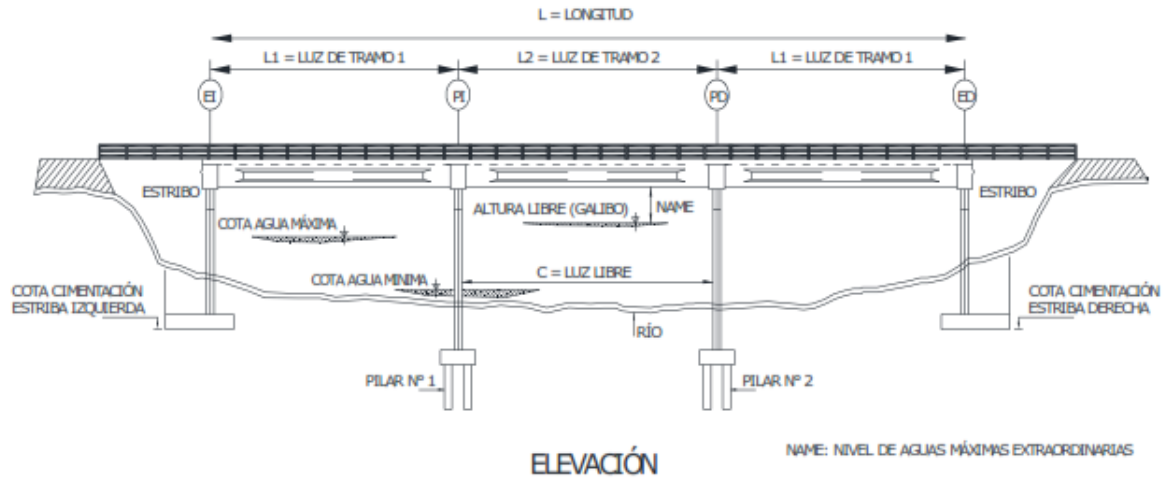
- **Clasificación de Puentes**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), en su “Manual de Puentes”, clasifica a los puentes en:

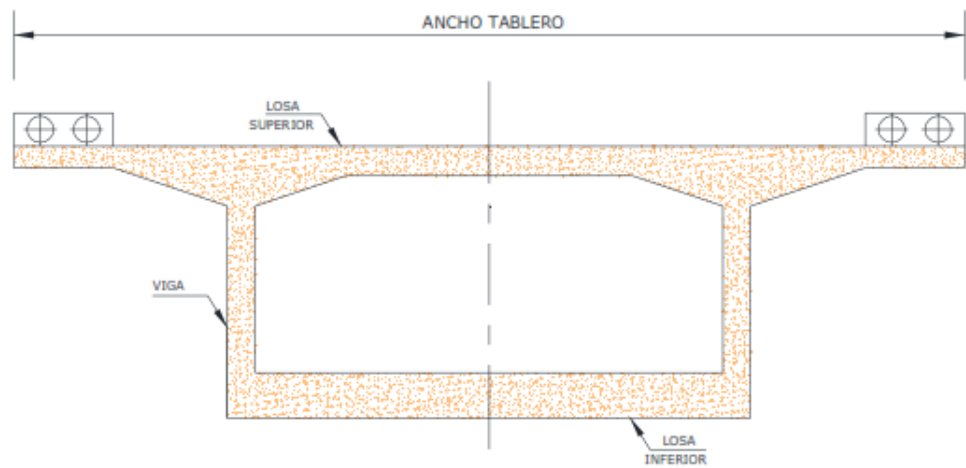
- a) Según la Naturaleza de la Vía Soportada: Son puentes para carretera, ferrocarril, trenes eléctricos de pasajeros, acueductos, peatones y aviones que existen en los aeropuertos.

- b) Según el Material: Puentes de piedra, madera, sogas, hierro, acero, concreto armado, concreto preesforzado y materiales compuestos (fibras de vidrio, fibras de carbón, etc.).
- c) Según el Sistema Estructural Principal:
- c.1) *Puentes Tipo Viga*: Pueden ser de tramos simplemente apoyados, tramos isostáticos tipo gerber o cantiléver, tramos hiperestáticos o continuos. En los puentes tipo viga, el elemento portante principal está sometido fundamentalmente a esfuerzos de flexión y cortante. Los puentes losa se clasifican dentro de los puentes tipo viga, a pesar que el comportamiento de una losa es diferente al de una viga o conjunto de vigas. **(Fig. 1)**
- c.2) *Puentes en Arco*: Pueden ser de tablero superior, tablero intermedio y de tablero inferior, de tímpano ligero o de tímpano relleno o tipo bóveda. **(Fig. 2)**. Los puentes pórtico pueden ser considerados un caso particular de los puentes tipo arco, existen con columnas verticales y con columnas inclinadas.
- c.3) *Puentes Suspendidos*: Pueden ser colgantes, atirantados o una combinación de ambos sistemas. **(Fig. 3 y Fig. 4)**

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
 DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
 SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
 CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
 SIMULACIÓN”



SECCIÓN TRANSVERSAL : TABLERO CON VIGAS I



SECCIÓN TRANSVERSAL : VIGAS CAJÓN

Figura 1 Clasificación de Puentes Tipo Viga. (Manual de Puentes, 2018)

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
 DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
 SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
 CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
 SIMULACIÓN”

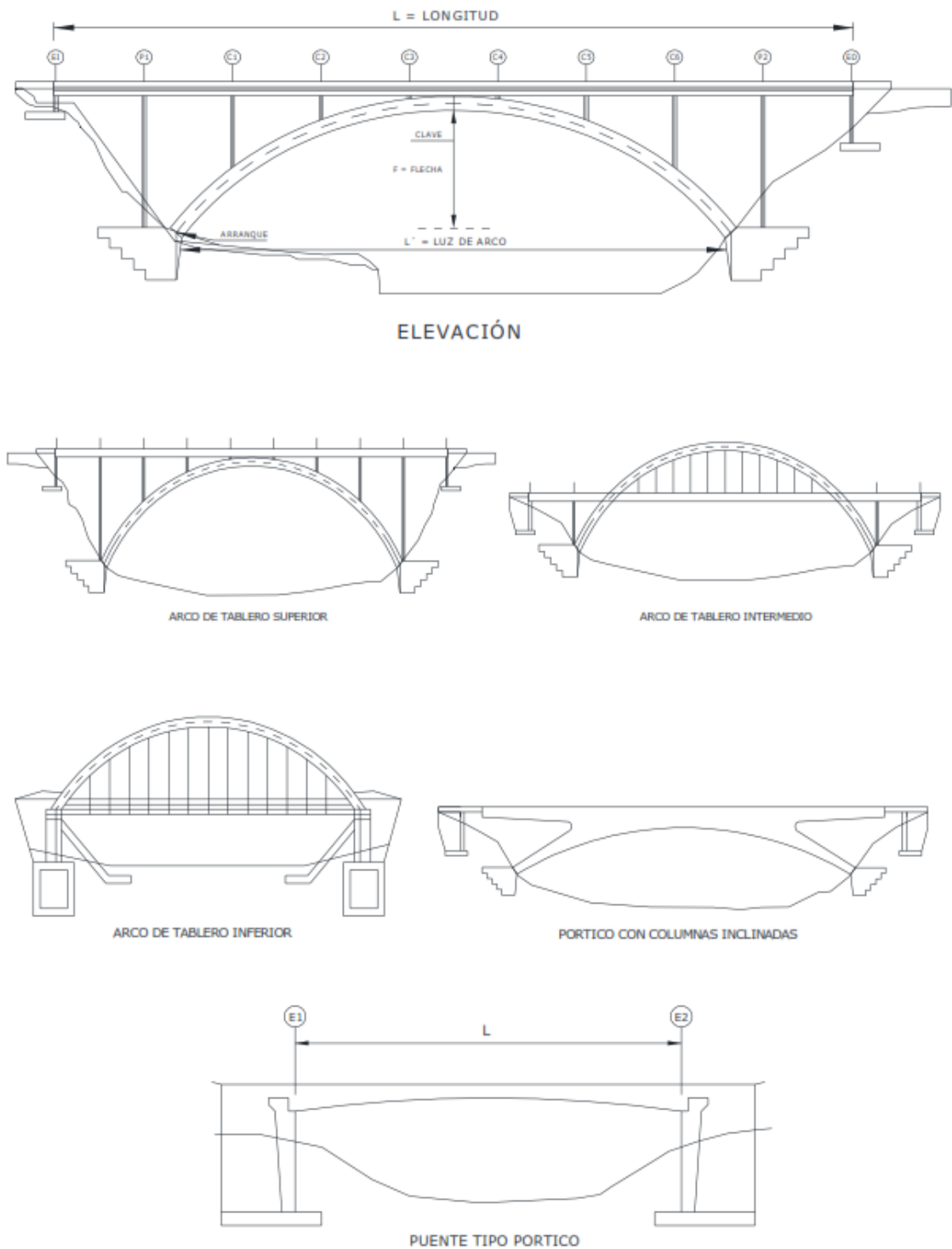


Figura 2 Clasificación de Puentes Tipo Arco y Pórtico. (Manual de Puentes, 2018)

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
 DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
 SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
 CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
 SIMULACIÓN”

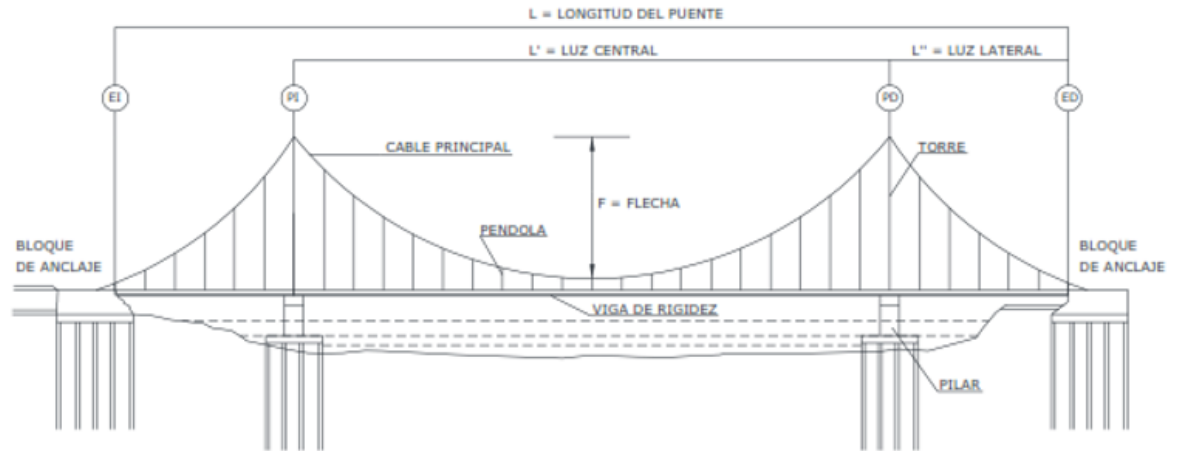


Figura 3 Clasificación de Puentes Colgantes. (Manual de Puentes, 2018)

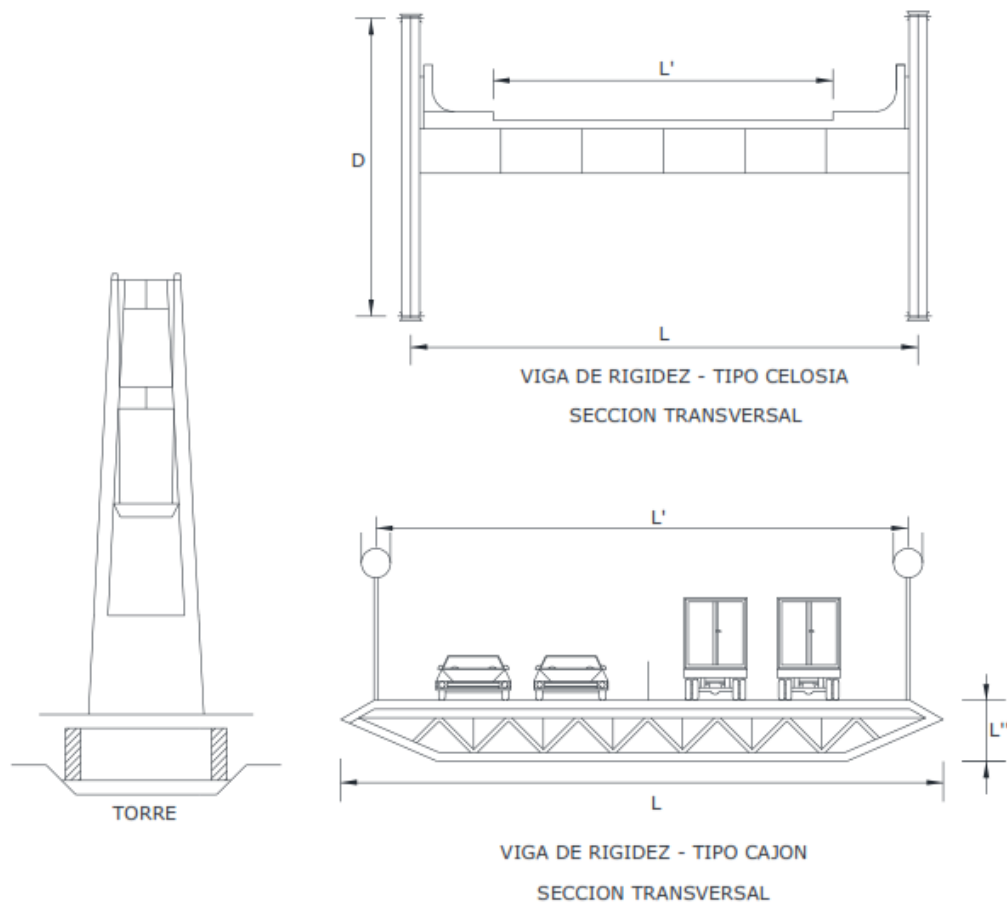


Figura 4 Clasificación de Puentes Colgantes. (Manual de Puentes, 2018)

- **Cargas permanentes (DC, DW y EV)**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), en su “Manual de Puentes”, indica que son las que permanecen en el tiempo de funcionamiento operativo, pues estas cargas no varían considerablemente. Entonces estas cargas pueden ser, el peso de los elementos, empujes de tierra, capas de rodadura, etc.

DC= Peso propio se determinará considerando todos los elementos que sean indispensables para que la estructura funciones como tal.

DW= Son cargas que no representan ningún elemento estructural, pero que si son necesarios para la operatividad y regulación de la estructura. Tenemos barandas, separadores, postes, carpeta asfáltica, etc.

A falta de una información precisa, podrán usarse los pesos específicos de la siguiente tabla. **(Fig. 5)**

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”

MATERIAL		Unidad de Peso
		(kcf)
Aleaciones de aluminio		0.175
Superficies de desgaste bituminosas		0.140
Hierro fundido		0.450
Relleno de ceniza		0.060
Arena, limo o arcilla compactado		0.120
Concreto	Ligero	0.110
	Liviano	0.120
	Con peso normal $f'_c \leq 5.0$ ksi	0.145
	Con peso normal $5.0 < f'_c \leq 15.0$ ksi	$0.140 + 0.001f'_c$
Arena, limo o grava suelto		0.100
Arcilla blanda		0.100
Laminados grava, macadam, o de lastre		0.140
Acero		0.490
Mampostería de piedra		0.170
Madera	Dura	0.060
	blanda	0.050
Agua	Dulce	0.0624
	Salada	0.0640
Artículo		peso por unidad de longitud (klf)
Rieles de tránsito, unión y fijación por pista		0.200

Figura 5 Pesos específicos. (Manual de Puentes, 2018)

- **Cargas variables**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), en su “Manual de Puentes”, establece que son aquellas que varían en el tiempo considerablemente, ya sea la carga vehicular o peatonal. Además, se consideran cargas de frenado de los vehículos. Sin embargo, existen acciones dinámicas a lo largo de la vida útil de la estructura, por acciones del viento, sismos y temperatura.

- **Carga viva**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), en su “Manual de Puentes”, considera que para realizar el diseño de la estructura se necesita un vehículo idealizado, mostrado según la distribución en la **Fig. 6**, adoptado de la norma AASHTO, el cual es una carga viva, pues se encuentra en movimiento y circula a lo largo del puente.

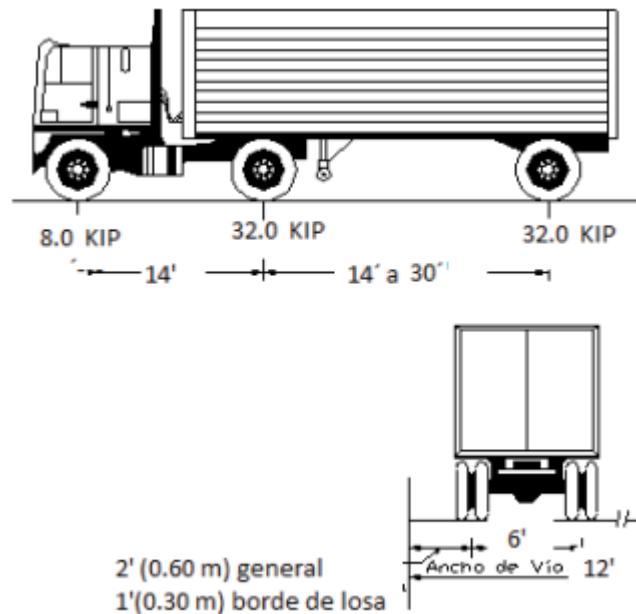


Figura 6 Cargas y distribución del Vehículo. (Manual de Puentes, 2018)

- **Índice Medio Diario Anual (IMDA)**

“Representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la

sección considerada y permite realizar los cálculos de factibilidad económica.” (Diseño Geométrico de Carreteras, 2018)

- **Estudio de Tráfico**

El MTC (2018), en su “Manual de puentes” indica que los conteos o aforos vehiculares se realizarán en la vía que contiene el puente, identificando una zona de influencia directa, donde se dispondrá la ubicación del punto de aforo. Además, el conteo y clasificación vehicular se realizará por cada sentido de circulación vial, la medición será por un periodo mínimo de siete (07) días consecutivos, durante las 24 horas del día.

- **β**

Es un símbolo que representa el índice de confiabilidad de una estructura, relacionada indirectamente proporcional a la probabilidad de falla. Es decir, a mayor probabilidad de falla menor es el valor del índice de confiabilidad.

- **Simulación Monte Carlo**

“Las técnicas de simulación de Monte Carlo son el resultado de las investigaciones en el laboratorio Nacional de los Álamos en Nuevo México, USA durante y después de la II Guerra Mundial. Trata de la similitud entre el carácter aleatorio y estadístico de la simulación y juegos de azar. La sencillez

*y eficiencia de este método es de gran utilidad para el análisis de riesgos,
 como lo demuestran un gran número de aplicaciones práctica.” (Sanchez
 Silva, 2005)*

- Factor de seguridad central y característico**

Sánchez Silva (2005) establece que es la relación directa entre la sollicitación esperada y la resistencia esperada. Considerando que el comportamiento de sus cuantiles en sus distribuciones se relaciona entre sí.

$$F.S = \frac{R}{S}$$

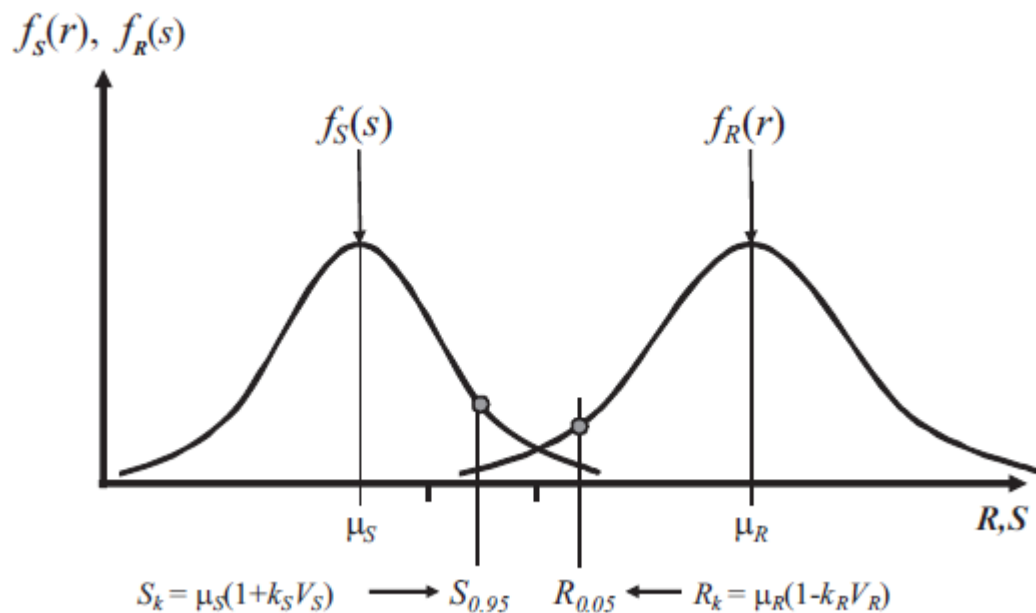


Figura 7 Valores característicos de la resistencia y la sollicitación. (Sanchez Silva, 2005)

- **Problema básico de confiabilidad**

“Se define en términos de la relación que existe entre la resistencia (R) y la
 sollicitación (S). Entonces la probabilidad de falla del sistema puede evaluarse
 como:” (Sanchez Silva, 2005)

$$P_f = P(R < S)$$

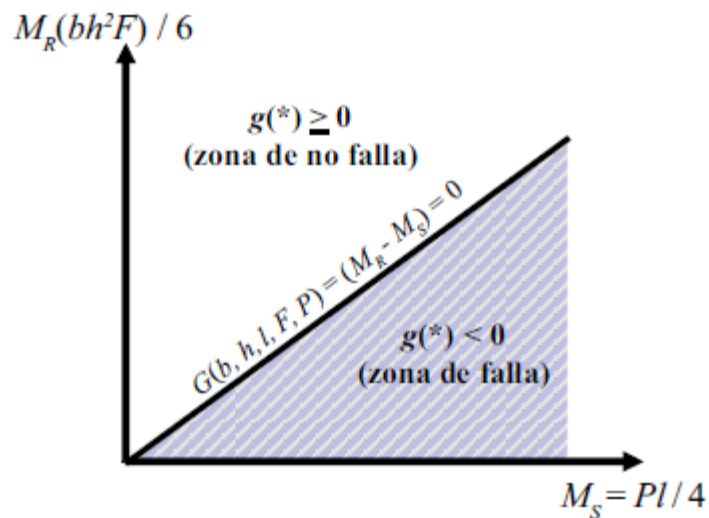


Figura 8 Descripción de la función de estado límite. (Sanchez Silva, 2005)

Las funciones de densidad de probabilidad marginales $f_S(s)$ y $f_R(s)$ de S y se muestran
 a continuación:

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”

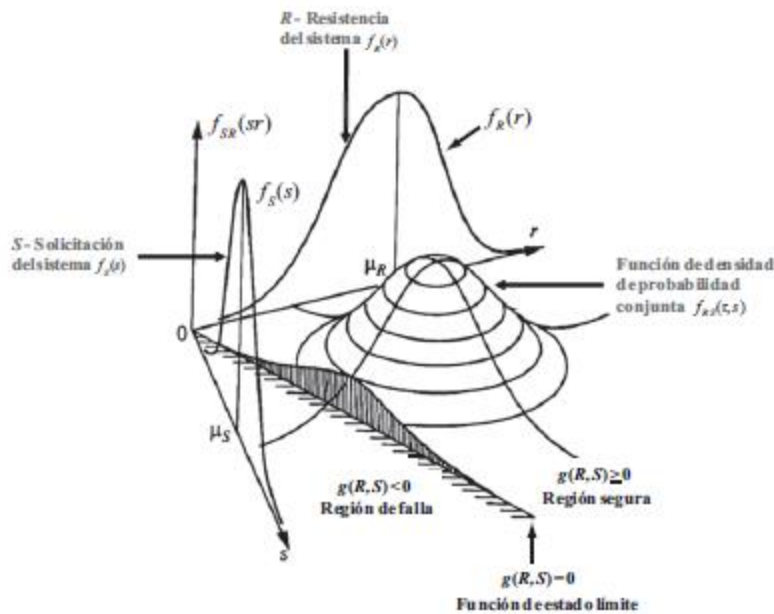


Figura 9 Función de densidad marginal $f_S(s)$ y $f_R(r)$ y conjunta $f_{SR}(r,s)$. (Sanchez Silva, 2005)

A continuación, se muestra información de valores de parámetros estadísticos y resultados de otras investigaciones en puentes:

Tabla 1
Estadísticos para elementos resistentes.

Fuerza	FM		P		R	
	Bías	Coef. Var.	Bías	Coef. Var.	Bías	Coef. Var.
Vigas de Viga no Compuestas						
Momento	1.095	0.075	1.020	0.060	1.120	0.100
Cortante	1.120	0.080	1.020	0.070	1.140	0.105
Vigas de Viga Compuestas						
Momento	1.070	0.080	1.050	0.060	1.120	0.100
Cortante	1.120	0.080	1.020	0.070	1.140	0.105
Concreto Reforzado						
Momento	1.120	1.120	1.020	0.060	1.140	0.130
Cortante	1.120	1.120	1.075	0.100	1.200	0.155
Concreto Preesforzado						

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

Momento	1.040	0.045	1.010	0.060	1.050	0.075
Cortante	1.070	0.100	1.075	0.100	1.150	0.140

Fuente: (Nowak, 1993) (Silva Campos, 2018)

Tabla 2

Estadísticos de varios países para Valores de compresión de concreto elaborado en campo.

Lugar de Investigación	Valor Nominal f'_c (MPa)	Factor Bias λ	Desviación Estándar σ_s (MPa)	Coefficiente de Variación (%)
US, Canadá y Europa (Mirza et 1979)	$f'_c < 27$	-	-	10.0 - 20.0
	$f'_c \geq 27$	-	2.7 - 5.4	-
Suencia (Thelandersson 1993)	$f'_c = 35$	1.24	-	8.5
Alemania (Sobrino 1993)	$25 \leq f'_c \leq 45$	-	-	9.0 - 20.0
España (Sobrino 1993)	$25 \leq f'_c \leq 40$	1.09 - 1.39	2.6 - 4.2	6.0 - 11.0
Canadá (Bartlett y Mc Gregor 1998)	$f'_c \leq 55$	1.25	-	10
Portugal (Henriques 1998)	$20 \leq f'_c \leq 35$	1.23 - 1.55	3.9 - 6.6	9.0 - 17.0
	$21 \leq f'_c \leq 41$	1.12 - 1.35	1.5 - 4.9	4.0 - 15.0
Estados unidos (Nowak y Szerszen 2003)	$48 \leq f'_c \leq 83$	1.04 - 1.19	5.4 - 9.0	9.0 - 12.0
	$21 \leq f'_c \leq 35$	1.24	-	19.8
Colombia (Venegas 2014)	$21 \leq f'_c \leq 35$	1.27	3.5	16.67
	$f'_c = 20$	1.15	3.85	16.7
México (Téllez, G 2005)	$f'_c = 25$	1.072	4.46	16.6
	$f'_c = 30$	1.07	4.13	12.9

Fuente: (Wisniewsky D. 2007, p62) (Silva Campos, 2018)

Tabla 3

Estadísticos del refuerzo de acero corrugado.

Propiedad	Grado	Factor Bias λ	Coefficiente de Variación V(%)
Estados Unidos (Nowak y Collins 2000)	40	1.11	11.6
	60	1.11	9.8
Perú (Coronel 2003)	60	1.12	11.2

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”

Colombia (Venegas 2014)	60	1.11	10.7
México (Téllez, G 2005)	60	1.10	3.7

Fuente: (Adecuado de diferentes autores), (Sanchez Silva, 2005)

Tabla 4

Estadísticos del refuerzo de acero activo, grado 270.

Propiedad	Factor Bias λ	Coefficiente de Variación V(%)
Estados Unidos (Nowak y Collins 2000)	1.04	2.5
España (Casas y Sobrino 1995)	1.06 - 1.09	1.0 - 6.0
México (Téllez, G 2005)	1.10	1.0 - 7.5

Fuente: (Adaptado de diferentes autores) (Silva Campos, 2018)

Tabla 5

Estadísticos del refuerzo estructural (acero).

Propiedad	Distribución	Factor Bias λ	Coef. Variación CV(%)
España (Casas y Sobrino 1995)	Lognormal	1.1	5.0 - 15.0
México (Téllez, G 2005)	Normal	1.05	10

Fuente: (Adaptado de diferentes autores) (Silva Campos, 2018)

Tabla 6

Estadísticos de diferenciación de medida en los elementos.

Propiedad	Error en Dimensión (cm)	Desviación Estándar (cm)	Distribución
Peralte de Losa	+0.075 a 0.53	0.66 - 1.19	Normal
Peralte de Vigas	-0.30 a 2.06	0.64 - 1.40	Normal
Recubrimiento de barras superiores en losas	-1.02	1.27	Normal
Recubrimiento de barras inferiores en losas	-0.33	0.89	Normal

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

Recubrimiento de barras en Vigas	-0.56	1.35	Normal
Ancho Nominal en Vigas	+0.25	0.38	Normal
Dimensiones Nominales en columnas	+0.15	0.64	Normal
Recubrimiento de barras inferiores en vigas	-0.90 a 0.15	0.71 - 1.14	Normal

Fuente: (MacGregor y Cornell 1980, p 182) (Silva Campos, 2018)

Tabla 7

Estadísticos para diferentes cargas permanentes.

Componente	Factor Bias	Coefficientes de Variación
D1: Elementos elaboradas en fábrica	1.03	0.08
D2: Concreto hecho in situ	1.05	0.10
D3: Superficie de Rodadura	1.00	0.25
D4: Otros elementos	1.03 - 1.05	0.08 - 0.10

Fuente: (Nowak, 1993) (Silva Campos, 2018)

Tabla 8

Estadísticos de carga viva vehicular e impacto.

Tipo	λ	C.V.	Distribución	Fuente
Modelo Carga Viva	1.2	18%	Lognormal*	Nowak (1999) y Moses (2001)
Amplificación dinámica para un carril	1.13	10%	Normal*	Nowak (1993)
Amplificación dinámica para dos carriles	1.09	6%	Normal*	Nowak (1993)

Fuente: (National Cooperative Highway Research Program 2003)
(Silva Campos, 2018)





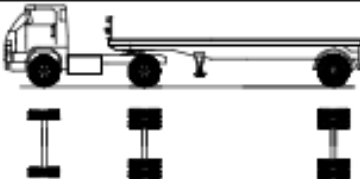
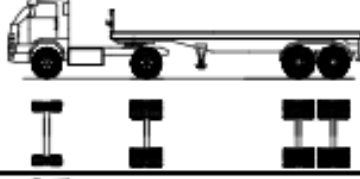
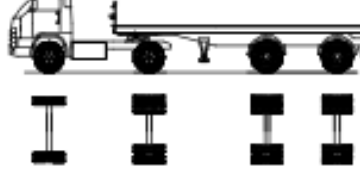
TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)		
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º		4º	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	
C3		13,20	7	18	---	---	---	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30	
8x4		13,20	7+7 ⁽²⁾	18	---	---	---	32	
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29	
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36	
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40	

Figura 10 Vehículos autorizados en carreteras peruanas. (Reglamento Nacional de Vehículos (RNV), 2021)

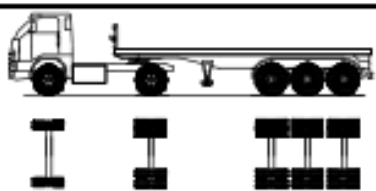
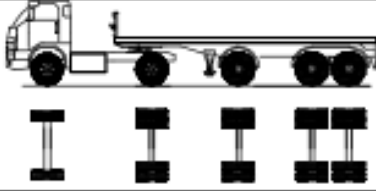
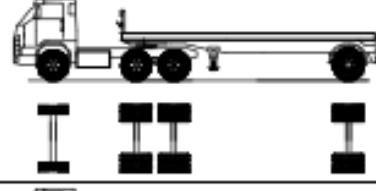
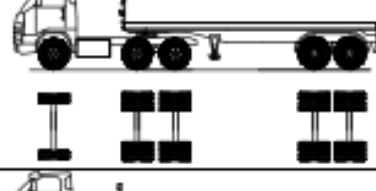
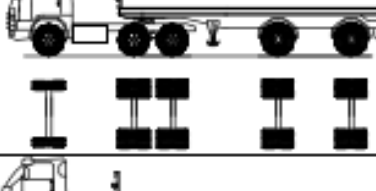
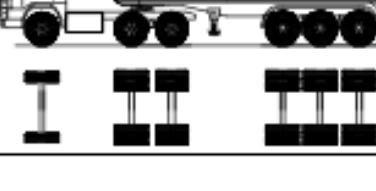
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽⁴⁾	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	36
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 ⁽²⁾

Figura 11 Vehículos autorizados en carreteras peruanas. (Reglamento Nacional de Vehículos (RNV), 2021)

Tabla 9

Correlación de Confiabilidad con Probabilidad de Falla, para puentes.

Índice de Confiabilidad (β)	Probabilidad de Falla (p_f)
0.5	$3.09 \times (10^{-1})$
1.0	$0.16 \times (10^{-1})$
1.5	$0.07 \times (10^{-1})$
2.0	$0.23 \times (10^{-2})$
2.5	$0.62 \times (10^{-2})$
3.0	$1.30 \times (10^{-3})$
3.5	$2.00 \times (10^{-4})$
4.0	$3.00 \times (10^{-5})$
5.0	$3.00 \times (10^{-7})$

Fuente: (Taly, N. 2014)

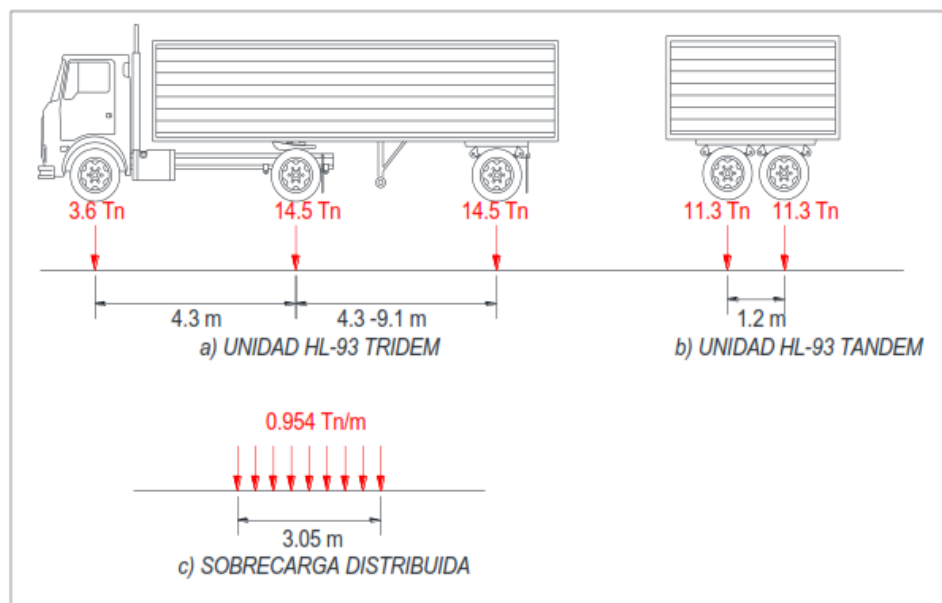


Figura 12 Vehículo Americano idealizado pesado para modelamiento.

(Adecuado de Manual Puentes 2018).

Tabla 10
Límites de índices β para diversas ubicaciones.

Código de Referencia	Índice de Confiabilidad (β)		Periodo de Referencia	
	Nuevo	Existente	Nuevo	Existente
CANADA / CSA - S6 - 06	3.75	2.5	100	5
LRFD USA	3.5	2.5	75	5
EUROCÓDIGO	4.7	4.5	100	50
ALEMÁN NEN 8700	4.3	3.3	100	15
AUSTRIA ONR 24008	4.3	4.3	100	-
SUIZA SIA 269	4.3	4.3	100	-

Fuente: (Zlato Savor y Marta Savor 2014), (Silva Campos, 2018)

Tabla 11
Clasificación de los índices β , de conformidad al desempeño actual.

Índice de confiabilidad (β)	Probabilidad de Falla (P_f)	Nivel de Desempeño
0.0	0.50	Falla
1.0	0.16	Peligroso
1.5	0.07	Insatisfactorio
2.0	0.023	Pobre
2.5	0.006	Bajo el promedio
3.0	0.0001	Arriba del promedio
4.0	0.00003	Bueno
5.0 a más	0.0000003	Alto

Fuente: (Adaptado de US Army Corps of Engineers 1997), (Silva Campos, 2018)

En consecuencia, para desarrollo de la presente investigación se utilizará un conteo del tráfico real y una simulación mediante el método Monte Carlo aplicado a las solicitaciones de cargas vivas en puentes.

1.2. Formulación del problema

¿En cuánto se estima el nivel de confiabilidad β de las vigas de los puentes Venecia, Los Shilcos y Shudal – Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Estimar el nivel de confiabilidad β de las vigas de los puentes Venecia, Los Shilcos y Shudal – Cajamarca, usando conteos de tráfico mediante simulación.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el tráfico real actual y proyectado del puente Venecia, Los Shilcos y Shudal – Cajamarca.
- Determinar la resistencia actual del concreto del puente Venecia, Los Shilcos y Shudal – Cajamarca.
- Verificar el desempeño actual de los puentes Venecia, Los Shilcos y Shudal – Cajamarca.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La estimación del nivel de confiabilidad β de las vigas de los puentes Venecia, Los Shilcos y Shudal - Cajamarca, usando conteos de tráfico real mediante simulación, es media.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es aplicada, no experimental, descriptiva. Se aplicará un método mixto (cualitativa y cuantitativa).

2.2. Población y muestra

a) Población

Los puentes tipo Viga - Losa de la ciudad de Cajamarca.

b) Muestra

Tres (03) puentes de la ciudad de Cajamarca, puente Venecia, Los Shilcos y Shudal.

Los puentes son de diseño viga – losa, además se cuenta con la información de los puentes en estudio (expediente técnico).

El muestreo que se usará es no probabilístico de tipo intencional, por motivo de accesibilidad a la información.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

a) Técnicas de recolección y análisis de datos

Se usará la técnica de la observación, ya que se hará un conteo del tráfico real, recopilando todo lo observado para ser procesado y se realizará el ensayo, no destructivo, de esclerometría.

b) Instrumentos de recolección y análisis de datos

Como instrumentos se usarán formatos para hallar el Índice Medio Diario Anual (IMDA), donde se anotarán los conteos del tráfico real; además se usarán imágenes de lo realizado, lo cual serían las evidencias de validez, para contrastar con lo observado, orientando una correcta recolección de datos.

Para procesar los datos del IMDA, se usará una hoja de cálculo de Excel 2017.

Se usará un esclerómetro, para obtener la resistencia actual y real de los elementos estructurales a evaluar.

Además, se modelará virtualmente los puentes en el software CS BRIGDE versión estudiantil y así obtener los datos estructurales del puente.

2.4 Procedimiento

a) Procedimiento de recolección de datos

Para recoger datos sobre las solicitaciones de las cargas vivas de cada puente en estudio, se realizará un formato de conteo de tráfico y una cámara fotográfica, con el fin de registrar todos los vehículos que transiten por referida estructura.

Para determinar la resistencia actual y real de los elementos estructurales de cada puente se utilizará un esclerómetro, el cual nos arroja datos de la resistencia de cada elemento estructural evaluado.

Para recopilar datos virtuales de los elementos y condiciones estructurales de los puentes se modelará en el software CS BRIGDE versión estudiantil.

b) Procedimiento de análisis de datos

Luego, se aplicará la simulación Monte Carlo en una hoja de cálculo de Excel, mediante una extensión de Cristal Ball; a través de fórmulas numéricas y números aleatorios, para así, determinar la probabilidad de falla y establecer el nivel de confiabilidad del puente.

Para realizar el análisis de los puentes en materia de estudio, se adoptó la metodología aplicada por Silva (2018); utilizando algunos de sus formatos de procesamiento de datos. En tal sentido, se generó tres casos para la evaluación de referidos puentes, y así, demostrar que esta metodología es fiable.

Cabe mencionar que las fichas de recolección de datos de del estudio de tráfico se encuentra en los anexos.

De lo anteriormente expuesto, se generó TRES (03) casos, para el modelamiento en el software estructural:

Como primer caso (Caso N° 01), se modelaron los puentes en el software CS Bridge, versión estudiantil. Para el diseño se usó el vehículo de diseño HL-93, que contiene un eje Tándem y Tridem, incluida la sobre carga distribuida.

Como segundo caso (Caso N° 02), para verificar el desempeño actual de cada puente se obtuvo resultados de la resistencia del concreto de los elementos estructurales de cada puente con un esclerómetro, posteriormente se modelaron en el software CS Bridge, versión estudiantil. Para este modelamiento se utilizó el estudio de tráfico real, considerando los vehículos del Reglamento Nacional de Vehículos (RNV, 2003).

Como tercer caso (Caso N° 03), se modelaron los puentes con las características del segundo caso a excepción de que se incrementaron las cargas de algunos vehículos del RNV 2003, conforme a los pesos brutos de vehículos T3S3 emitidos por una balanza electrónica “ESTEBAN”, ubicada en la ciudad de Cajamarca. (**Tabla N° 12**)

Tabla 12

Peso del vehículo T3S3 según RNV y peso sobrecargado según Balanza Electrónica “ESTEBAN”.

Casos	Clase de Vehículo	Situación del Peso	Peso por ejes (T)						Total (T)	Norma
1	T3S3	Normal	7.00	9.00	9.00	8.30	8.30	8.30	48.00	RNV 2003
2	T3S3	sobrecargado	7.00	9.00	9.00	10.10	10.10	10.10	55.30	Balanza Electrónica
3	T3S3	sobrecargado	7.00	9.00	9.00	12.00	12.00	12.00	61.00	Balanza Electrónica

Fuente: Elaboración Propia

Para cada puente se aplicó criterio de diseño de los estados límite:

Puente Venecia

Se consideró carga de viento y el espectro de respuesta sísmica para este puente, con los criterios de diseño en los estados límite: Resistencia I, Resistencia II, Resistencia IV, Servicio I y Fatiga I.

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

Se aplicó el espectro de respuesta sísmica, y carga de viento.

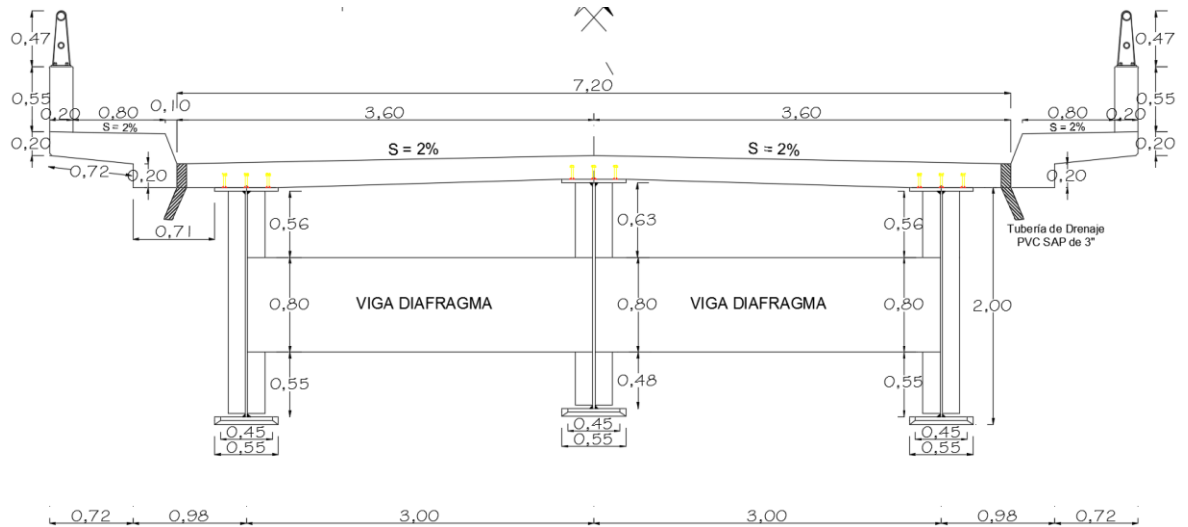


Figura 13 Sección transversal del puente Venecia de Cajamarca

Puente Shudal

Se consideró los criterios de diseño en los estados límite: Resistencia I, Resistencia II y

Fatiga I.

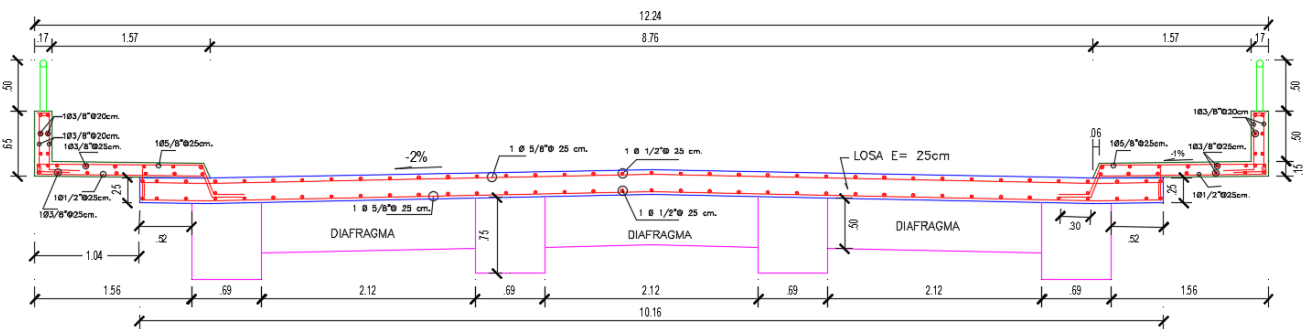


Figura 14 Sección transversal del puente Shudal de Cajamarca

Puente Los Shilcos

Se consideró los criterios de diseño en los estados límite: Resistencia I, Resistencia II y

Fatiga I.

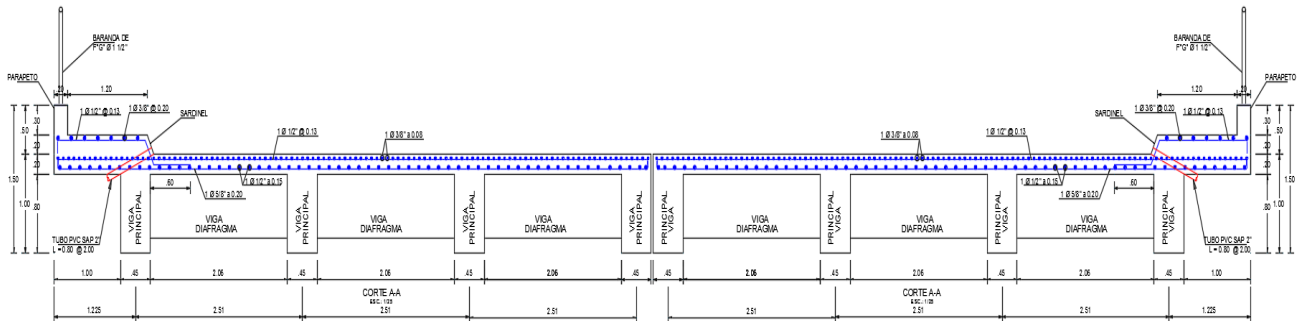


Figura 15 Sección transversal del puente Los Shilcos de Cajamarca

Los parámetros estadísticos para las cargas estáticas de puentes, representan variaciones cuando actúan en estos, por lo que, posteriormente, se tendrá que afectar a las cargas obtenidas del análisis estructural.

Para el diseño y modelado de los puentes en estudio en el software CS Brigde, versión estudiantil, se utilizaron las siguientes cargas:

Cargas estáticas:

Las cargas en consideración pertenecen a la norma Manual de Puentes (2018), las cuales son:

- Carga muerta (DC):

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

Concreto Armado:	2320 kg/m ³
Acero corrugado de refuerzo:	7850 kg/m ³
Barandas:	100 kg/m
- Capa de rodadura (asfalto) (DW):	2200 kg/m ³

Cargas Móviles

- Carga Peatonal (PL):	400 kg/m ²
------------------------	-----------------------

Se aplicó la carga del vehículo indicado en la **Fig. 11**, en sus tres condiciones de carga. Siendo éste el camión de diseño.

Del mismo modo, se consideró el vehículo más pesado del Reglamento Nacional de Vehículos (RNV, 2003), que transita por los puentes en estudio, de acuerdo con los casos anteriormente explicados.

Entonces con la información de cargas para el análisis en el Software CSI Bridge, se diseñaron los puentes, analizándolos a través del método de elementos finitos especializado en el análisis de puentes.

Con estos modelados, se corrieron las estructuras independientemente para obtener los momentos flectores y fuerzas cortantes.

Parámetros estadísticos de Carga

A los resultados obtenidos de cada modelado en el software CSI Bridge, versión estudiantil, se le afectó con los parámetros estadísticos de la Tabla N° 13 y 14. Para determinar la evaluación del diseño de la estructura se utilizó el vehículo de diseño HL-93, los datos estadísticos para este son:

Tabla 13

Estadísticos elegidos en fuerzas sometidas estáticamente.

Items	Nominal	Distribución	F.B.	Coef. Var.
Concreto hecho in situ	2320 kg/m ³	Normal	1.05	0.10
Superficie de Rodadura	2200 kg/m ³	Normal	1.00	0.25
Otros elementos	100 kg/m	Normal	1.05	0.10
Carga Peatonal	400 kg/m ²	Lognormal	1.00	0.18

Fuente: (Adaptado de dos Autores) (Nowak, 1993) (Silva Campos, 2018)

Para determinar la evaluación del diseño de la estructura se utilizó el vehículo de diseño HL-93, los datos estadísticos para este son:

- Distribución de probabilidad: Lognormal
- Factor Bias (λ): 1.20
- Coeficiente de Variación (CV): 18%

Por lo tanto, para la evaluación de los Casos N° 02 y 03, se consideran los vehículos que transitan por los puentes de la ciudad de Cajamarca de la muestra. Asimismo, para el análisis, los datos estadísticos de carga vehicular, se obtuvieron interpolando la información de las siguientes **Fig. 16** y la **Fig. 17**.

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
 DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
 SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
 CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
 SIMULACIÓN”

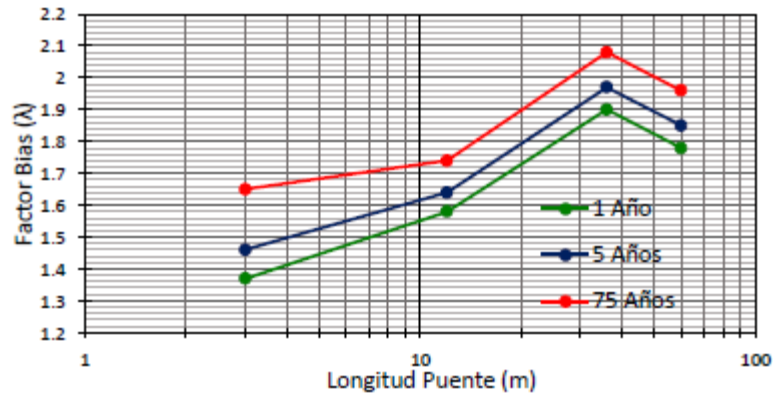


Figura 16 Datos en escala Logarítmica, para obtener factores estadísticos de carga viva de vehículo. (Nowak, 1993), (Silva Campos, 2018)

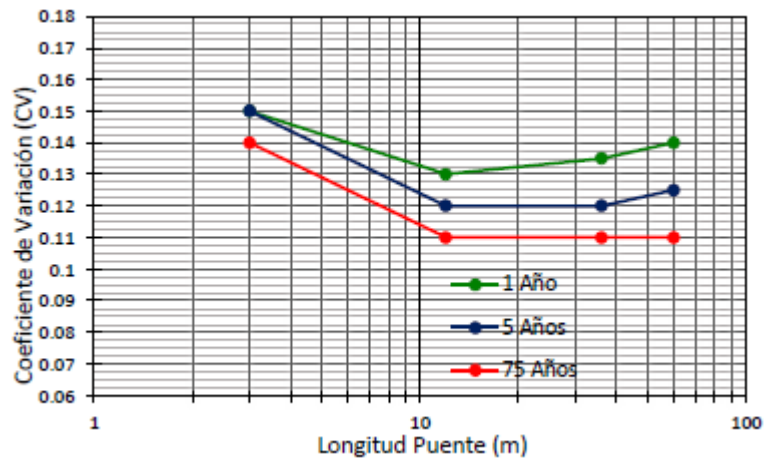


Figura 17 Datos en escala Logarítmica, para obtener coeficientes estadísticos de carga viva de vehículo. (Nowak, 1993), (Silva Campos, 2018)

Por lo tanto, se obtuvieron los siguientes parámetros estadísticos para carga vehicular:

Tabla 14

Estadísticos para pesos de vehículos que transitan por los puentes.

Puente	Periodo	Longitud (m)	Distribución Probabilidad	Bias λ	C.V
Venecia	5 años	43.60	Lognormal	1.92	0.122
Shudal	5 años	9.30	Lognormal	1.61	0.126
Los Shilcos	5 años	10.00	Lognormal	1.63	0.123

Probabilidad de Carga.

Nowak, A y Collins, K. (2000), se aplicaron la metodología de elaboración de funciones. Cabe mencionar, que esta metodología es usada en varias tesis, Con la de Silva (2008), para estudiar la confiabilidad estructural. Entonces las funciones son:

$$\mu = \lambda * S$$

$$\sigma = C.V * \mu$$

Donde:

- S: Valor nominal obtenido del Análisis estructural.
- λ : Factor Bias considerado para el análisis.
- C.V: Coeficiente de variación considerado para el análisis.
- μ : Media de la función de probabilidad.
- σ : Desviación estándar de la función de probabilidad.

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”

Con ayuda del Software Crystal Ball se construyeron funciones, a partir de los datos estadísticos de media y desviación estándar.

Construcción de Función de probabilidad en el Software Crystall Ball

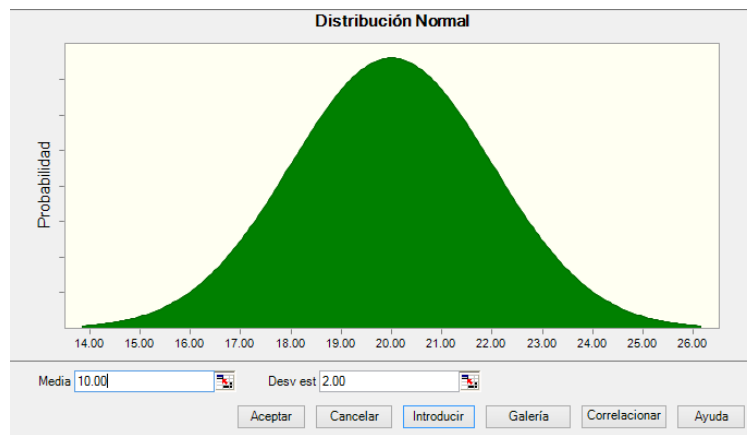


Figura 18 Construcción de Funciones de probabilidad, en el Software Crystal Ball

Estadísticos de elementos y tipo de concreto para Resistencia Nominal.

Los estadísticos de los elementos, según el tipo de material, se muestran en la Tabla N° 15. Los cuáles serán afectados a la resistencia nominal.

Tabla 15

Estadísticos de elementos y tipo de concreto en Resistencia Nominal.

Tipo Estructura	Resistencia
	λ C.V
Vigas de Viga Compuestas	

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”

Momento	1.12	0.10
Cortante	1.14	0.105
Concreto Reforzado		
Momento	1.14	0.13
Cortante	1.20	0.155
Concreto Preesforzado		
Momento	1.05	0.075
Cortante	1.15	0.14

Fuente: (Nowak, 1993) (Silva Campos, 2018)

Se recolectaron datos de la Resistencia de Diseño de los Elementos estructurales de las memorias de cálculo de cada puente, a partir del expediente técnico.

Tabla 16

Datos de diseño de cada puente, extraído de sus memorias de cálculo.

Puente	Elemento de resistencia (Viga)	Elemento de resistencia (Losa)
Puente Venecia	$f_y=3515.41 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
Puente Shudal	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
Puente Los Shilcos	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Expedientes técnicos.

Posteriormente, se obtuvo datos de cargas brutas de los vehículos del estudio de tráfico.

Tabla 17

Cargas mínimas y máximas de Vehículos de la ciudad de Cajamarca.

CLASIFICACIÓN	TIPO DE VEHÍCULO	CARGA MIN (Tn)	CARGA MÁX (Tn)
Auto	Auto	1.2	3.2
Bus	B2	7.2	18.0
	B3	22.5	25.0
	Camión		
Camión	C2	12.5	18.0
	C3	18.0	28.0
	C4	28.0	30.0
Semi-Trayler	T2S1	25.5	29.0
	T2S2	30.0	36.0
	T2S3	42.5	43.0
	T3S3	46.0	48.0
Trayler	C2R2	36.0	40.0

Fuente: Adaptado de RNV 2021, (Silva Campos, 2018)

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el Reglamento Nacional de Vehículos, se determinó las cargas y separación entre ejes. Indicando a continuación los vehículos pesados para la investigación:

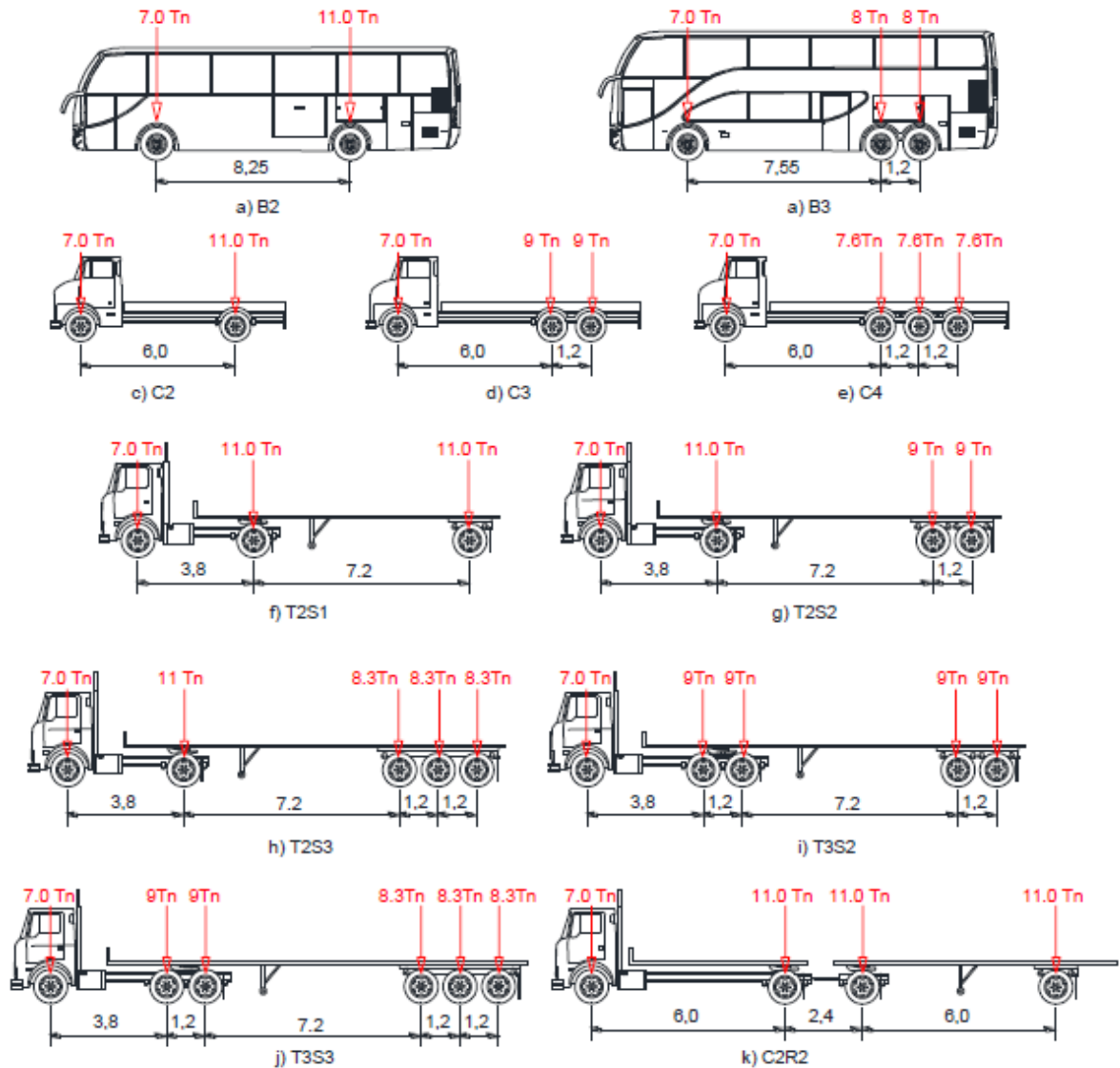


Figura 19 Vehículos pesados de la investigación - adaptado de (Reglamento Nacional de Vehículos (RNV), 2021), (Silva Campos, 2018)

Finalmente, en el software Crystal ball, con los resultados afectados por los parámetros estadísticos para cada tipo de carga, en cada uno de los casos de estudio, se realizó el análisis de confiabilidad estructural. Asimismo,

contrastando los resultados obtenidos con la **Tabla N° 11** para poder clasificar el puente, según su nivel de confiabilidad.

2.5 Aspectos éticos

Durante la presente investigación se lleva el correcto referenciado de otras investigaciones, para que de esta manera se pueda cumplir con los aspectos éticos que exige toda investigación. Así, se mantiene los principios para una conducta responsable en la investigación científica.

Además, los resultados recolectados son honestos, para mantener siempre el compromiso con la verdad, contrastando éstos con el uso correcto de las normas profesionales.

Para la toma de datos y el desarrollo de la investigación no se perjudicó al medio ambiente, ni se expuso personas al peligro, protegiendo sus derechos. Pues se cuenta con la información necesaria para desarrollar la investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Estudio de Tráfico

3.1.1. Puente Venecia - Cajamarca

Se procesaron los datos para obtener el Índice Medio Diario Anual de tráfico, utilizando las fórmulas con su factor de corrección, se llegó a los siguientes datos:

Tabla 18

Registro del IMDA del Puente Venecia.

DÍA	IMDS (veh/día)	Fe %	IMDA 2019 (veh/día)	Tasa de crecimiento (r %)	N° años	IMDA 2029 (veh/día)
MOTOTAXI	633	13	715.29	3	20	1291.89
Ac	314	13	354.82	3	20	640.84
Ap	385	13	435.05	3	20	785.75
COMBI	125	13	141.25	3	20	255.11
MICRO	26	13	29.38	3	20	53.06
B2	5	13	5.65	3	20	10.20
B3	4	13	4.52	3	20	8.16
C2	52	13	58.76	3	20	106.13
C3	24	13	27.12	3	20	48.98
T2S2	2	13	2.26	3	20	4.08
T3S3	2	13	2.26	3	20	4.08
TOTAL	1572	-	1775	-	-	3208

Los datos tienen un horizonte de 20 años, ya que siempre se proyecta así para su diseño, además se puede verificar los datos en los formatos de conteo anexados.

Fuente: Formato adoptado de la tesis de Silva (2018), con resultados del IMDA del Puente en estudio.

3.1.2. Puente Shudal - Cajamarca

Se procesaron los datos para obtener el Índice Medio Diario Anual de tráfico, utilizando las fórmulas con su factor de corrección, se llegó a los siguientes datos:

Tabla 19
Registro del IMDA del Puente Shudal.

DÍA	IMDS (veh/día)	Fe %	IMDA 2019 (veh/día)	Tasa de crecimiento (r %)	Nº años	IMDA 2029 (veh/día)
MOTOTAXI	420	13	474.6	3	20	857.18
Ac	259	13	292.67	3	20	528.59
Ap	270	13	305.1	3	20	551.04
COMBI	116	13	131.08	3	20	236.75
MICRO	25	13	28.25	3	20	51.02
B2	5	13	5.65	3	20	10.20
B3	4	13	4.52	3	20	8.16
C2	47	13	53.11	3	20	95.92
C3	21	13	23.73	3	20	42.86
T2S2	2	13	2.26	3	20	4.08
T3S3	1	13	1.13	3	20	2.04
TOTAL	1170	-	1322	-	-	2388

Los datos tienen un horizonte de 20 años, ya que siempre se proyecta así para su diseño, además se puede verificar los datos en los formatos de conteo anexados.

Fuente: Formato adoptado de la tesis de Silva (2018), con resultados del IMDA del Puente en estudio.

3.1.3. Puente Los Shilcos - Cajamarca

Se procesaron los datos para obtener el Índice Medio Diario Anual de tráfico, utilizando las fórmulas con su factor de corrección, se llegó a los siguientes datos:

Tabla 20
Registro del IMDA del puente Los Shilcos.

DÍA	IMDS (veh/día)	Fe %	IMDA 2019 (veh/día)	Tasa de crecimiento (r %)	N° años	IMDA 2029 (veh/día)
MOTOTAXI	62	13	70.06	3	20	126.54
Ac	6	13	6.78	3	20	12.25
Ap	13	13	14.69	3	20	26.53
COMBI	6	13	6.78	3	20	12.25
MICRO	2	13	2.26	3	20	4.08
B2	0	13	0	3	20	0.00
B3	0	13	0	3	20	0.00
C2	16	13	18.08	3	20	32.65
C3	6	13	6.78	3	20	12.25
T3S3	1	13	1.13	3	20	2.04
TOTAL	112	-	125	-	-	229

Los datos tienen un horizonte de 20 años, ya que siempre se proyecta así para su diseño, además se puede verificar los datos en los formatos de conteo anexados.

Fuente: Formato adoptado de la tesis de Silva (2018), con resultados del IMDA del Puente en estudio.

3.2. Resultados ensayo de esclerometría

Del ensayo de esclerometría de los elementos estructurales de cada puente, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 21
Resultados de resistencia del concreto con esclerómetro de los elementos estructurales de cada puente en estudio.

Puente	Elemento estructural	UBICACIÓN	Resistencia en Asbuilt (f'c)	Resistencia con esclerómetro	% de Resistencia
Shudal	Vigas Exterior	Shudal	280	338	120.79%
	Vigas Interior		280	307	109.54%
	Diafragma		280	330	117.93%
	Losa		280	425	151.71%

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

Los Shilcos	Vigas Exterior (Tablero 1)		210	305	145.00%
	Vigas Interior (Tablero 1)		210	335	159.29%
	Diafragma (Tablero 1)		210	246	117.14%
	Losa (Tablero 1)	Nuevo	210	336	160.00%
	Vigas Exterior (Tablero 2)	Cajamarca	210	304	144.52%
	Vigas Interior (Tablero 2)		210	287	136.67%
	Diafragma (Tablero 2)		210	246	117.14%
	Losa (Tablero 2)		210	269	128.10%
	Venecia	Losa	Moyococha	280	388

Fuente: Informe de esclerometría

3.3. Presentación de Resultados.

Se obtuvieron los resultados después de haber realizado el procesado de la información en el software CSI Bride, versión estudiantil, para un análisis estructural especializado del diseño de los puentes.

3.3.1. Puente Venecia

Resultados de resistencia nominal en los diferentes casos de estudio para el puente son:

Tabla 22

Resultados de respuestas nominales de los elementos del puente Venecia.

Respuestas Nominales	Vigas	Losas
Momento Nominal (Diseño) (T-m)	1627.081	9.20
Mn (normal - desempeño actual) (T-m)	1520.09	9.65
Mn (sobrecargado - desempeño actual) (T-m)	1671.67	10.52
Cortante Nominal - Vn (Diseño) (T)	569.93	62.11
Cortante-Vn (normal - desempeño actual) (T)	564.13	65.94
Cortante-Vn (sobrecargado - desempeño actual) (T)	614.38	73.05

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

Además, se extrajo los resultados del Análisis estructural en el software CSI Bridge, versión estudiantil, aplicando las cargas de acuerdo al expediente técnico y las cargas móviles para cada caso de estudio.

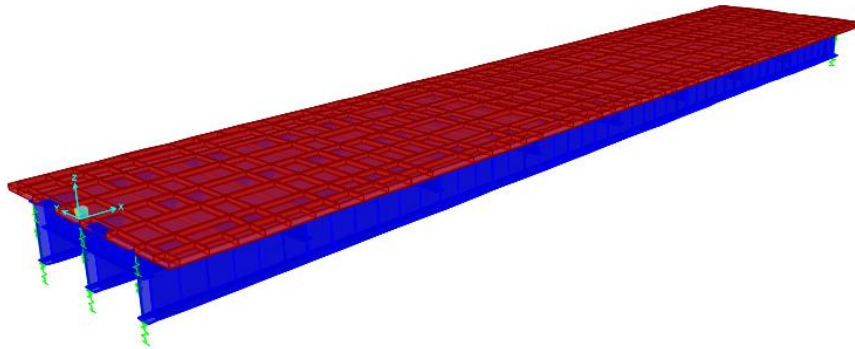


Figura 20 Modelado del puente Venecia de Cajamarca en CSI Bridge, versión estudiantil.

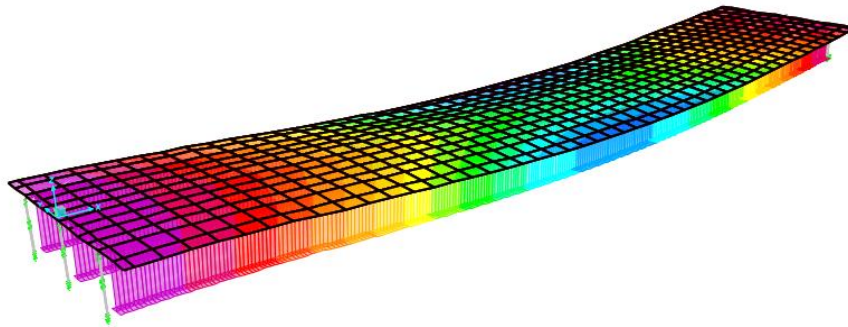


Figura 21 Deformación en el puente Venecia de Cajamarca, por sometimiento de cargas estáticas y móviles, en CSI Bridge, versión estudiantil.

A continuación, se muestra los resultados del análisis estructural en software
FEM (CSI Bridge, versión estudiantil), para cada caso de estudio, del puente
Venecia:

Tabla 23

*Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Venecia, Caso
N° 01.*

Resultado	Elemento	Carga Muerta (DC)	Asfalto (DW)	Baranda (DC)	Frenado	Parapeto	Vereda	Peatonal (PL)	HL-93	Envolvente
Momento	V. Interior	217.77	14.15	3.45	3.34	9.12	5.63	11.08	117.78	542.98
Flector (T-m)	V. Exterior	224.55	14.44	3.70	3.39	9.76	6.00	11.83	123.14	563.72
	Losa	3.40	0.21	0.06	0.01	0.15	0.10	0.19	2.48	9.20
Fuerza	V. Interior	75.89	5.36	0.70	0.31	1.88	1.31	2.49	50.43	200.94
Cortante (T)	V. Exterior	79.68	4.89	1.56	0.34	4.10	2.44	4.86	47.03	211.85
	Losa	22.32	1.37	0.42	0.09	1.10	0.67	1.32	15.42	62.11

Tabla 24

*Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Venecia, Caso
N° 02.*

Resultado	Elemento	Carga Muerta (DC)	Asfalto (DW)	Baranda (DC)	Frenado	Parapeto	Vereda	Peatonal (PL)	T3S3 (peso normal)	Envolvente
Momento	V. Interior	214.44	13.93	3.41	5.04	9.00	5.56	10.94	100.14	507.31
Flector (T-m)	V. Exterior	220.99	14.21	3.64	5.12	9.60	5.90	11.64	106.01	528.25
	Losa	3.79	0.24	0.06	0.02	0.17	0.11	0.21	2.25	9.65
Fuerza	V. Interior	76.53	5.40	0.71	0.46	1.92	1.34	2.54	47.98	197.94
Cortante (T)	V. Exterior	80.24	4.93	1.57	0.49	4.12	2.45	4.89	44.97	209.01
	Losa	25.12	1.54	0.47	0.15	1.24	0.75	1.49	15.03	65.94

Tabla 25

Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Venecia, Caso N° 03

Resultado	Elemento	Carga Muerta (DC)	Asfalto (DW)	Baranda (DC)	Frenado	Parapeto	Vereda	Peatonal (PL)	T3S3 (sobre cargado)	Envolvente
Momento	V. Interior	214.44	13.93	3.41	6.15	9.00	5.56	10.94	131.25	561.98
Flector (T-m)	V. Exterior	220.99	14.21	3.64	6.27	9.60	5.90	11.64	136.50	581.95
	Losa	3.79	0.24	0.06	0.03	0.17	0.11	0.21	2.88	10.52
Fuerza	V. Interior	76.53	5.40	0.71	0.56	1.92	1.34	2.54	61.78	222.27
Cortante (T)	V. Exterior	80.24	4.93	1.57	0.60	4.12	2.45	4.88	56.32	226.01
	Losa	25.12	1.54	0.47	0.19	1.24	0.75	1.49	19.06	73.05

3.3.2. Puente Shudal

Resultados de resistencia nominal en los diferentes casos de estudio para el puente son:

Tabla 26

Resultados de respuestas nominales de los elementos del puente Shudal.

Respuestas Nominales	Vigas
Momento Nominal (Diseño) (T-m)	579.47
Mn (normal - desempeño actual) (T-m)	543.18
Mn (sobrecargado - desempeño actual) (T-m)	635.61
Cortante Nominal - Vn (Diseño) (T)	337.72
Cortante-Vn (normal - desempeño actual) (T)	320.14
Cortante-Vn (sobrecargado - desempeño actual) (T)	354.31

Además, se extrajo los resultados del Análisis estructural en el software CSI Bridge, versión estudiantil, aplicando las cargas de acuerdo al expediente técnico y las cargas móviles para cada caso de estudio.

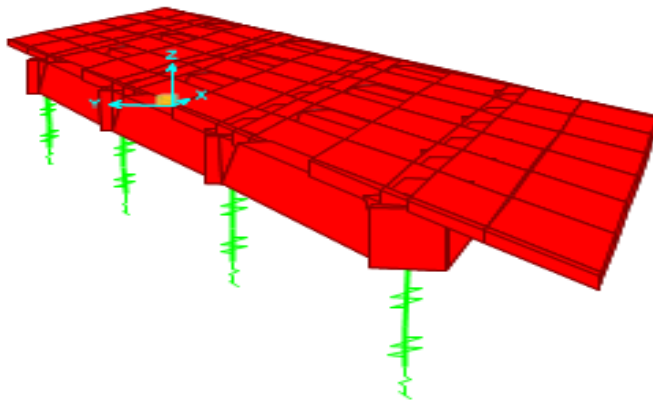


Figura 22 Modelado del puente Shudal de Cajamarca en CSI Bridge, versión estudiantil.

A continuación, se muestra los resultados del análisis estructural en software FEM (CSI Bridge, versión estudiantil), para cada caso de estudio, del puente Shudal:

Tabla 27

Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Shudal, Caso N° 01.

Resultado	Elemento	Carga Muerta (DC)	Baranda (DC)	Frenado	Vereda	Peatonal (PL)	HL-93	Envolvente
Momento Flector (T-m)	V. Exterior 1	38.06	0.08	12.79	0.72	1.54	31.39	158.32
	V. Interior 1	31.11	0.01	14.63	0.18	0.32	40.59	148.49
	V. Interior 2	31.15	0.02	14.96	0.20	0.23	39.49	145.10
	V. Exterior 2	38.21	0.08	12.36	0.75	0.92	31.72	159.67
Fuerza Cortante (T)	V. Exterior 1	13.93	0.01	1.44	0.11	0.17	6.20	43.78
	V. Interior 1	26.27	0.02	2.46	0.17	0.32	16.24	96.83
	V. Interior 2	23.65	0.01	1.89	0.06	0.04	30.76	114.85
	V. Exterior 2	27.28	0.03	2.68	0.74	0.57	25.04	117.93

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28

Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Shudal, Caso N° 02.

Resultado	Elemento	Carga Muerta (DC)	Baranda (DC)	Frenado	Vereda	Peatonal (PL)	T3S3 (peso normal)	Envolvente
Momento Flector (T-m)	V. Exterior 1	38.23	0.08	19.81	0.71	1.53	27.31	154.09
	V. Interior 1	30.54	0.01	22.64	0.18	0.32	33.68	138.58
	V. Interior 2	30.62	0.02	23.20	0.20	0.23	32.69	138.37
	V. Exterior 2	38.33	0.08	19.19	0.74	0.91	27.51	156.38
Fuerza Cortante (T)	V. Exterior 1	13.84	0.01	2.20	0.11	0.17	5.23	42.64
	V. Interior 1	26.14	0.02	3.76	0.17	0.33	14.17	94.21
	V. Interior 2	23.59	0.01	2.87	0.06	0.04	26.26	108.01
	V. Exterior 2	27.5	0.03	4.16	0.74	0.57	23.51	118.07

Tabla 29

Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Shudal, Caso N° 03.

Resultado	Elemento	Carga Muerta (DC)	Baranda (DC)	Frenado	Vereda	Peatona 1 (PL)	T3S3 (sobre cargado)	Envolvente
Momento Flector (T-m)	V. Exterior 1	38.23	0.08	24.17	0.71	1.53	39.33	176.82
	V. Interior 1	30.54	0.01	27.62	0.18	0.32	48.52	164.74
	V. Interior 2	30.62	0.02	28.30	0.20	0.23	47.10	163.67
	V. Exterior 2	38.33	0.08	23.41	0.74	0.91	39.59	179.79
Fuerza Cortante (T)	V. Exterior 1	13.84	0.01	2.69	0.11	0.17	7.52	45.78
	V. Interior 1	26.14	0.02	4.59	0.17	0.33	20.34	105.87
	V. Interior 2	23.59	0.01	3.50	0.06	0.04	37.40	129.01
	V. Exterior 2	27.50	0.03	5.08	0.74	0.57	33.86	137.56

3.3.3. Puente Los Shilcos

Resultados de resistencia nominal en los diferentes casos de estudio para el puente son:

Tabla 30

Resultados de respuestas nominales de los elementos del puente Los Shilcos.

Respuestas Nominales	Vigas
Momento Nominal (Diseño) (T-m)	260.06
Mn (normal - desempeño actual) (T-m)	246.12
Mn (sobrecargado - desempeño actual) (T-m)	313.73
Cortante Nominal-Vn (Diseño) (T)	207.56
Vn (normal - desempeño actual) (T)	189.14
Vn (sobrecargado - desempeño actual) (T)	235.87

Además, se extrajo los resultados del Análisis estructural en el software CSI Bridge, versión estudiantil, aplicando las cargas de acuerdo al expediente técnico y las cargas móviles para cada caso de estudio.

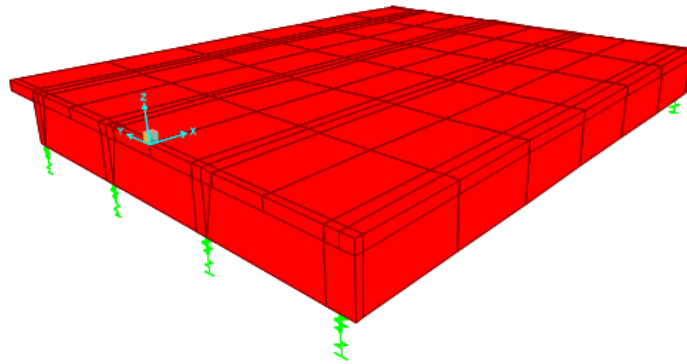


Figura 23 Modelado del puente Los Shilcos de Cajamarca en CSI Bridge, versión estudiantil.

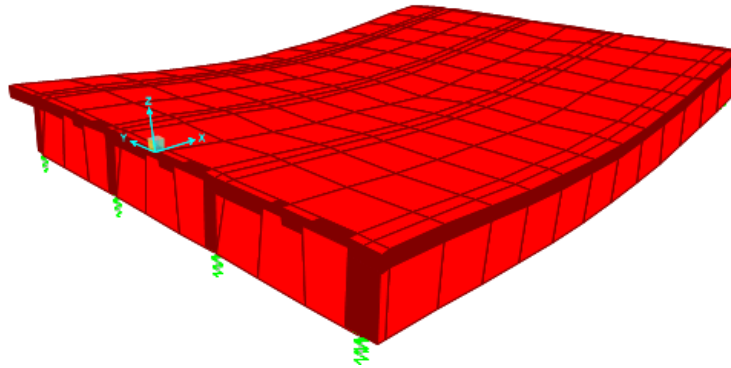


Figura 24 Deformación en el puente Los Shilcos de Cajamarca, por sometimiento de cargas estáticas y móviles, en CSI Bridge, versión estudiantil.

A continuación, se muestra los resultados del análisis estructural en software FEM (CSI Bridge, versión estudiantil), para cada caso de estudio, del puente Los Shilcos:

Tabla 31

Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Los Shilcos, Caso N° 01.

Resultado	Tableros	Elemento	Carga Muerta (DC)	Baranda (DC)	Frenado	Vereda	Peatonal (PL)	HL-93	Envolvente
Momento Flector (T-m)	Tablero 1	V. Exterior 1	16.14	0.61	2.51	2.67	2.23	26.78	75.89
		V. Interior 1	16.72	0.18	2.97	0.93	0.77	29.96	78.35
		V. Interior 2	16.93	0.05	2.97	0.04	0.04	31.15	77.80
		V. Exterior 2	12.12	0.08	2.61	0.30	0.25	25.87	60.46
	Tablero 2	V. Exterior 2	12.12	0.08	2.61	0.30	0.25	25.87	60.46
		V. Interior 2	16.93	0.05	2.97	0.04	0.04	31.15	77.80
		V. Interior 1	16.72	0.18	2.97	0.93	0.77	29.96	78.35
		V. Exterior 1	16.14	0.61	2.51	2.67	2.23	26.78	75.89
Fuerza Cortante (T)	Tablero 1	V. Exterior 1	13.87	0.65	0.70	2.67	2.22	21.43	64.11
		V. Interior 1	13.83	0.07	0.78	0.40	0.34	25.62	63.96
		V. Interior 2	13.47	0.05	0.74	0.12	0.10	25.50	62.22

**“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”**

	V. Exterior 2	10.9	0.05	0.67	0.18	0.15	23.84	56.00
	V. Exterior 2	10.9	0.05	0.67	0.18	0.15	23.84	56.00
Tablero 2	V. Interior 2	13.47	0.05	0.74	0.12	0.10	25.50	62.22
	V. Interior 1	13.83	0.07	0.78	0.40	0.34	25.62	63.96
	V. Exterior 1	13.87	0.65	0.70	2.67	2.22	21.43	64.11

Tabla 32

Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Los Shilcos, Caso N° 02.

Resultado	Tableros	Elemento	Carga Muerta (DC)	Baranda (DC)	Frenado	Vereda	Peatonal (PL)	T3S3 (peso normal)	Envolvente
Momento Flector (T-m)	Tablero 1	V. Exterior 1	16.26	0.62	3.78	2.70	2.25	24.07	71.37
		V. Interior 1	16.86	0.18	4.51	0.93	0.77	26.79	74.37
		V. Interior 2	17.07	0.05	4.51	0.05	0.04	27.82	73.39
		V. Exterior 2	12.21	0.08	3.94	0.30	0.25	23.23	56.47
	Tablero 2	V. Exterior 2	12.21	0.08	3.94	0.30	0.25	23.23	56.47
		V. Interior 2	17.07	0.05	4.51	0.05	0.04	27.82	73.39
		V. Interior 1	16.86	0.18	4.51	0.93	0.77	26.79	74.37
		V. Exterior 1	16.26	0.62	3.78	2.70	2.25	24.07	71.37
Fuerza Cortante (T)	Tablero 1	V. Exterior 1	13.86	0.65	1.06	2.68	2.23	18.05	58.85
		V. Interior 1	13.84	0.07	1.19	0.40	0.33	22.45	58.97
		V. Interior 2	13.50	0.05	1.13	0.12	0.10	22.35	57.31
		V. Exterior 2	10.88	0.04	1.02	0.17	0.14	20.19	50.23
	Tablero 2	V. Exterior 2	10.88	0.04	1.02	0.17	0.14	20.19	50.23
		V. Interior 2	13.50	0.05	1.13	0.12	0.10	22.35	57.31
		V. Interior 1	13.84	0.07	1.19	0.40	0.33	22.45	58.97
		V. Exterior 1	13.86	0.65	1.06	2.68	2.23	18.05	58.85

Tabla 33

Resultados del modelado en CSI Bridge, versión estudiantil, Puente Los Shilcos, Caso N° 03.

Resultado	Tableros	Elemento	Carga Muerta (DC)	Baranda (DC)	Frenado	Vereda	Peatonal (PL)	T3S3 (sobre cargado)	Envolvente
Momento Flector (T-m)	Tablero 1	V. Exterior 1	16.26	0.62	4.62	2.70	2.25	34.67	90.12
		V. Interior 1	16.86	0.18	5.50	0.93	0.77	38.60	95.85
		V. Interior 2	17.07	0.05	5.50	0.05	0.04	40.08	95.57
		V. Exterior 2	12.21	0.08	4.81	0.30	0.25	33.47	74.67
	Tablero 2	V. Exterior 2	12.21	0.08	4.81	0.30	0.25	33.47	74.67
		V. Interior 2	17.07	0.05	5.50	0.05	0.04	40.08	95.57
		V. Interior 1	16.86	0.18	5.50	0.93	0.77	38.60	95.85
		V. Exterior 1	16.26	0.62	4.62	2.70	2.25	34.67	90.12
Fuerza Cortante (T)	Tablero 1	V. Exterior 1	13.86	0.65	1.30	2.68	2.23	25.65	72.56
		V. Interior 1	13.84	0.07	1.46	0.40	0.33	31.91	75.88
		V. Interior 2	13.50	0.05	1.38	0.12	0.10	31.75	74.15
		V. Exterior 2	10.88	0.04	1.25	0.17	0.14	28.73	65.55
	Tablero 2	V. Exterior 2	10.88	0.04	1.25	0.17	0.14	28.73	65.55
		V. Interior 2	13.50	0.05	1.38	0.12	0.10	31.75	74.15
		V. Interior 1	13.84	0.07	1.46	0.40	0.33	31.91	75.88
		V. Exterior 1	13.86	0.65	1.30	2.68	2.23	25.65	72.56

3.4. Índice de Confiabilidad de Puentes

Se estable la relación de las variables Resistencia (R) y Solicitación (S), afectados por los estadísticos, para cada variable, respectivamente, y así, obtener el margen de seguridad (G), a través de la simulación Montecarlo, realizado con el Software Crystal Ball. Determinando, finalmente, el índice β de la estructura para poder clasificarla, de acuerdo a la probabilidad de falla.

3.4.1. Puente Venecia

a) Modelo de Resistencia (R)

Se combinaron los estadísticos de la Tabla N° 15, con los resultados de la Tabla N° 22, Resistencia nominal (R_n), para obtener el modelo de Resistencia (R), en cada uno de los casos de estudio. Se muestran los resultados obtenidos al combinar los datos estadísticos con la resistencia nominal, para la evaluación de la estructura, para los tres casos:

Tabla 34

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, caso N° 01

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef. Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.12	0.10	Vigas	1627.08	N	1822.33	182.23
	1.14	0.13	Losa	9.20	N	10.49	1.36
Fuerza	1.14	0.105	Vigas	569.93	N	649.72	68.22
	1.20	0.155	Losa	62.11	N	74.53	11.55

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E. Desviación Estándar

Tabla 35

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, caso N° 02

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef. Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.12	0.10	Vigas	1520.09	N	1702.50	170.25
	1.14	0.13	Losa	9.65	N	11.00	1.43
Fuerza	1.14	0.105	Vigas	564.13	N	643.11	67.53
	1.20	0.155	Losa	65.94	N	79.13	12.26

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E. Desviación Estándar

Tabla 36

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, caso N° 03

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef. Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.12	0.10	Vigas	1671.67	N	1872.27	187.23
	1.14	0.13	Losa	10.52	N	11.99	1.56
Fuerza	1.14	0.105	Vigas	614.38	N	700.39	73.54
Cortante	1.20	0.155	Losa	73.05	N	87.66	13.59

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E.: Desviación Estándar

b) Modelo de Solicitación (S)

Se muestran los resultados obtenidos al combinar los datos estadísticos con la sollicitación obtenida del análisis en software FEM, para la evaluación de la estructura, para los tres casos:

Tabla 37

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, Caso N° 01

Items	E	C.M.		A		B		F		PA		VE		PEA		HL-93		Envolvente	
		Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.
P.E.		1.05	0.10	1.00	0.25	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.00	0.18	1.20	0.18	1.05	0.10
D		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Lognormal		Lognormal		Lognormal	
Resul.		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E
	V.	217.77		14.15		3.45		3.34		9.12		5.63		11.08		117.78		542.98	
	Interior	228.66	22.87	14.15	3.54	3.62	0.36	3.51	0.35	9.58	0.96	5.91	0.59	11.08	1.99	141.34	25.44	570.13	57.01
	V.	224.55		14.44		3.70		3.39		9.76		6.00		11.83		123.14		563.72	
	Exterior	235.78	23.58	14.44	3.61	3.89	0.39	3.56	0.36	10.25	1.02	6.30	0.63	11.83	2.13	147.77	26.60	591.91	59.19
	Losa	3.40		0.21		0.06		0.01		0.15		0.10		0.19		2.48		9.20	
		3.57	0.36	0.21	0.05	0.06	0.01	0.01	0.00	0.16	0.02	0.11	0.01	0.19	0.03	2.98	0.54	9.66	0.97
	V.	75.89		5.36		0.70		0.31		1.88		1.31		2.49		50.43		200.94	
	Interior	79.68	7.97	5.36	1.34	0.74	0.07	0.33	0.03	1.97	0.20	1.38	0.14	2.49	0.45	60.52	10.89	210.99	21.10
	V.	79.68		4.89		1.56		0.34		4.10		2.44		4.86		47.03		211.85	
	Exterior	83.66	8.37	4.89	1.22	1.64	0.16	0.36	0.04	4.31	0.43	2.56	0.26	4.86	0.87	56.44	10.16	222.44	22.24
	Losa	22.32		1.37		0.42		0.09		1.10		0.67		1.32		15.42		62.11	
		23.44	2.34	1.37	0.34	0.44	0.04	0.09	0.01	1.16	0.12	0.70	0.07	1.32	0.24	18.50	3.33	65.22	6.52

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; A.: Asfalto; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

Tabla 38

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, Caso N° 02

Items	E	C.M.		A		B		F		PA		VE		PEA		T3S3 (peso normal)		Envolvente	
		Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.
P.E.		1.05	0.10	1.00	0.25	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.00	0.18	1.92	0.12	1.05	0.10
	D	Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Lognormal		Lognormal		Lognormal	
Resul.		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E
	V. Interior	214.44	22.5	13.93	3.48	3.41	0.36	5.04	0.53	9.00	0.95	5.56	0.58	10.94	1.97	100.14	23.46	507.31	532.27
M. Flector (T-m)	V. Exterior	220.99	23.2	14.21	3.55	3.64	0.38	5.12	0.54	9.60	1.01	5.90	0.62	11.64	2.10	106.01	24.83	528.25	554.66
	Losa	3.79	0.40	0.24	0.06	0.06	0.01	0.02	0.00	0.17	0.02	0.11	0.01	0.21	0.04	2.25	0.53	9.65	10.13
Fuerza Cortante (T)	V. Interior	76.53	7.65	5.40	1.35	0.71	0.07	0.46	0.05	1.92	0.20	1.34	0.14	2.54	0.46	47.98	11.24	197.94	207.84
	V. Exterior	80.24	8.43	4.93	1.23	1.57	0.16	0.49	0.05	4.12	0.43	2.45	0.26	4.89	0.88	44.97	10.53	209.01	219.46
	Losa	25.12	2.64	1.54	0.39	0.47	0.05	0.15	0.02	1.24	0.13	0.75	0.08	1.49	0.27	15.03	3.52	65.94	69.24

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; A.: Asfalto; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

Tabla 39

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Venecia, Caso N° 03

Items	E	C.M.		A		B		F		PA		VE		PEA		T3S3 (sobre cargado)		Envolvente	
		<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>
P.E.		1.05	0.10	1.00	0.25	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.00	0.18	1.92	0.12	1.05	0.10
D		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Lognormal</i>		<i>Lognormal</i>		<i>Lognormal</i>	
Resul.		<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>
	V. Interior	214.44	22.5	13.93		3.41		6.15		9.00		5.90		10.94		131.25		561.98	
		225.16	2	13.93	3.48	3.58	0.36	6.46	0.65	9.45	0.95	6.20	0.62	10.94	1.97	252.00	30.74	590.08	59.01
	M. Flector (T-m)	220.99	22.1	14.21		3.64		6.27		9.60		5.90		11.64		136.50		581.95	
		220.99	0	14.21	3.55	3.82	0.38	6.58	0.66	10.08	1.01	6.20	0.62	11.64	2.10	262.08	31.97	611.05	61.10
	Losa	3.79		0.24		0.06		0.03		0.17		0.11		0.21		2.88		10.52	
		3.98	0.40	0.24	0.06	0.06	0.01	0.03	0.00	0.18	0.02	0.12	0.01	0.21	0.04	5.53	0.67	11.05	1.10
	V. Interior	76.53		5.40		0.71		0.56		1.92		1.34		2.54		61.78		222.27	
		80.36	8.04	5.40	1.35	0.75	0.07	0.59	0.06	2.02	0.20	1.41	0.14	2.54	0.46	118.62	14.47	233.38	23.34
	V. Exterior	80.24		4.93		1.57		0.60		4.12		2.45		4.88		56.32		226.01	
		84.25	8.43	4.93	1.23	1.65	0.16	0.63	0.06	4.33	0.43	2.57	0.26	4.88	0.88	108.13	13.19	237.31	23.73
	Losa	25.12		1.54		0.47		0.19		1.24		0.75		1.49		19.06		73.05	
		26.38	2.64	1.54	0.39	0.49	0.05	0.20	0.02	1.30	0.13	0.79	0.08	1.49	0.27	36.60	4.46	76.70	7.67

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; A.: Asfalto; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

c) Análisis de confiabilidad

Para determinar el nivel de la confiabilidad estructural, se tomaron los valores de la Tabla 34, 35, 36, 37, 38 y 39, para realizar la simulación Monte Carlo.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 40

Confiabilidad estructural, relación de Solicitación y Resistencia, del puente Venecia.

E	Casos de Estudio	E.A.S (S)		E.A.R. (R)		I.S. (G)			
		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Índice β	P.F.
<i>Momento (T-m)</i>									
V.I.	Caso 01	987.97	56.10	1822.33	182.23	834.36	126.13	6.61	3.97E-07
	Caso 02	999.14	53.84	1702.50	170.25	703.36	116.41	6.04	3.63E-07
	Caso 03	1117.79	61.28	1872.27	187.23	754.48	125.95	5.99	3.59E-07
V.E.	Caso 01	1025.71	58.31	1822.33	182.23	796.62	123.92	6.43	3.86E-07
	Caso 02	1041.56	56.23	1702.50	170.25	660.94	114.02	5.80	3.48E-07
	Caso 03	1146.65	62.39	1872.27	187.23	725.62	124.84	5.81	3.49E-07
Losa	Caso 01	7.28	1.01	10.49	1.36	3.21	0.35	9.15	5.49E-07
	Caso 02	9.13	1.06	11.00	1.43	1.87	0.37	5.07	3.04E-07
	Caso 03	10.35	1.21	11.99	1.56	1.65	0.35	4.70	3.88E-05
<i>Fuerza Cortante (T)</i>									
V.I.	Caso 01	363.45	21.09	649.72	67.53	286.27	46.44	6.16	3.70E-07
	Caso 02	389.08	9.93	643.11	67.53	254.03	57.60	4.41	4.75E-05
	Caso 03	445.05	10.32	700.39	73.54	255.34	63.22	4.04	5.86E-05
V.E.	Caso 01	381.15	11.35	649.72	67.53	268.57	56.18	4.78	3.65E-05
	Caso 02	408.94	11.44	643.11	67.53	234.17	56.08	4.18	5.45E-05
	Caso 03	448.68	11.45	700.39	73.54	251.71	62.09	4.05	5.81E-05
Losa	Caso 01	112.24	3.16	649.72	67.53	537.48	64.36	8.35	5.01E-07
	Caso 02	130.24	3.56	643.11	67.53	512.87	63.96	8.02	4.81E-07
	Caso 03	145.49	3.57	700.39	73.54	554.91	69.97	7.93	4.76E-07

E: Elemento; V.I.: Viga Interior; V.E.: Viga Exterior; E.A.S.: Estadísticos Aplicada a Solicitación; E.A.S.: Estadísticos Aplicada a Resistencia; I.S.: Índice de Seguridad; D: Distribución; N: Normal; D.E.: Desviación Estándar; P.F.: Probabilidad de Falla

Fuente: Formato adaptado de Silva (2018), con resultados de esta investigación.

Se realizó la Simulación Montecarlo con 20000 pruebas, corridos en el Software Crystal Ball. Las distribuciones de probabilidad se ajustan a:

- Solicitud: Lognormal
- Resistencia: Normal
- Seguridad: Normal

Del análisis de confiabilidad, se resumió los resultados para su correcta interpretación.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 41

Resumen de Índices β y Pf. Para momento y cortante, del Puente Venecia.

Casos de Estudio	Momento (M)		Cortante (V)	
	Índice β	Prob. Falla	Índice β	Prob. Falla
Caso N° 01	7.40	4.44E-07	6.43	1.25E-05
Caso N° 02	5.64	3.38E-07	5.53	3.42E-05
Caso N° 03	5.50	1.32E-05	5.34	3.90E-05

3.4.2. Puente Shudal

a) Modelo de Resistencia (R)

Se combinaron los estadísticos de la Tabla N° 15, con los resultados de la Tabla N° 26, Resistencia nominal (R_n), para obtener el modelo de Resistencia (R), en cada uno de los casos de estudio. Se muestran los resultados obtenidos al

combinar los datos estadísticos con la resistencia nominal, para la evaluación de la estructura, para los tres casos:

Tabla 42

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, caso N° 01

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef.Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.14	0.13	Vigas	579.47	N	660.60	85.88
Fuerza Cortante	1.20	0.155	Vigas	337.72	N	405.26	62.82

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E. Desviación Estándar

Tabla 43

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, caso N° 02

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef.Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.14	0.13	Vigas	543.18	N	619.23	80.50
Fuerza Cortante	1.20	0.16	Vigas	320.14	N	384.17	59.55

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E. Desviación Estándar

Tabla 44

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, caso N° 03

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef.Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.14	0.13	Vigas	635.61	N	724.60	94.20
Fuerza Cortante	1.20	0.155	Vigas	354.31	N	425.17	65.90

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E. Desviación Estándar

b) Modelo de Solicitación (S)

Se muestran los resultados obtenidos al combinar los datos estadísticos con la sollicitación obtenida del análisis en software FEM, para la evaluación de la estructura, para los tres casos:

Tabla 45

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, Caso N° 01

Items	E	C.M.		B		F		VE		PEA		HL-93		Envolvente	
		<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>
P.E.		1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.00	0.18	1.20	0.18	1.05	0.10
D		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Lognormal</i>		<i>Lognormal</i>		<i>Lognormal</i>	
Resul.		<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>
	V. Exterior 1	38.06		0.08		12.79		0.72		1.54		31.39		158.32	
		39.96	4.00	0.08	0.01	13.43	1.34	0.76	0.08	1.54	0.28	37.67	6.78	166.24	16.62
	V. Interior 1	31.11		0.01		14.63		0.18		0.32		40.59		148.49	
M. Flector (T-m)		32.67	3.27	0.01	0.00	15.36	1.54	0.19	0.02	0.32	0.06	48.71	8.77	155.91	15.59
	V. Interior 2	31.15		0.02		14.96		0.20		0.23		39.49		145.10	
		32.71	3.27	0.02	0.00	15.71	1.57	0.21	0.02	0.23	0.04	47.39	8.53	152.36	15.24
	V. Exterior 2	38.21		0.08		12.36		0.75		0.92		31.72		159.67	
		40.12	4.01	0.08	0.01	12.98	1.30	0.79	0.08	0.92	0.17	38.06	6.85	167.65	16.77
	V. Exterior 1	13.93		0.01		1.44		0.11		0.17		6.20		43.78	
		14.63	1.46	0.01	0.00	1.51	0.15	0.12	0.01	0.17	0.03	7.44	1.34	45.97	4.60
	V. Interior 1	26.27		0.02		2.46		0.17		0.32		16.24		96.83	
Fuerza Cortante (T)		27.58	2.76	0.02	0.00	2.58	0.26	0.18	0.02	0.32	0.06	19.49	3.51	101.67	10.17
	V. Interior 2	23.65		0.01		1.89		0.06		0.04		30.76		114.85	
		24.83	2.48	0.01	0.00	1.98	0.20	0.06	0.01	0.04	0.01	36.91	6.64	120.59	12.06
	V. Exterior 2	27.28		0.03		2.68		0.74		0.57		25.04		117.93	
		28.64	2.86	0.03	0.00	2.81	0.28	0.78	0.08	0.57	0.10	30.05	5.41	123.83	12.38

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

Tabla 46

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, Caso N° 02

Items	E	C.M.		B		F		VE		PEA		T3S3 (peso normal)		Envolvente	
		Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.
P.E.		1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.00	0.18	1.61	0.126	1.05	0.10
D		Normal		Normal		Normal		Normal		Lognormal		Lognormal		Lognormal	
Resul.		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E
M. Flector (T-m)	V. Exterior 1	38.23		0.08		19.81		0.71		1.53		27.31		154.09	
		40.14	4.01	0.08	0.01	20.80	2.08	0.75	0.07	1.53	0.28	43.97	5.54	161.79	16.18
	V. Interior 1	30.54		0.01		22.64		0.18		0.32		33.68		138.58	
		32.07	3.21	0.01	0.00	23.77	2.38	0.19	0.02	0.32	0.06	54.22	6.83	145.51	14.55
	V. Interior 2	30.62		0.02		23.20		0.20		0.23		32.69		138.37	
		32.15	3.22	0.02	0.00	24.36	2.44	0.21	0.02	0.23	0.04	52.63	6.63	145.29	14.53
Fuerza Cortante (T)	V. Exterior 2	38.33		0.08		19.19		0.74		0.91		27.51		156.38	
		40.25	4.02	0.08	0.01	20.15	2.01	0.78	0.08	0.91	0.16	44.29	5.58	164.20	16.42
	V. Exterior 1	13.84		0.01		2.20		0.11		0.17		5.23		42.64	
		14.53	1.45	0.01	0.00	2.31	0.23	0.12	0.01	0.17	0.03	8.42	1.06	44.77	4.48
	V. Interior 1	26.14		0.02		3.76		0.17		0.33		14.17		94.21	
		27.45	2.74	0.02	0.00	3.95	0.39	0.18	0.02	0.33	0.06	22.81	2.87	98.92	9.89
	V. Interior 2	23.59		0.01		2.87		0.06		0.04		26.26		108.01	
		24.77	2.48	0.01	0.00	3.01	0.30	0.06	0.01	0.04	0.01	42.28	5.33	113.41	11.34
	V. Exterior 2	27.5		0.03		4.16		0.74		0.57		23.51		118.07	
		28.88	2.89	0.03	0.00	4.37	0.44	0.78	0.08	0.57	0.10	37.85	4.77	123.97	12.40

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

Tabla 47

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Shudal, Caso N° 03

Items	E	C.M.		B		F		VE		PEA		T3S3 (sobrecargado)		Envolvente	
		Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.
P.E.		1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.00	0.18	1.61	0.126	1.05	0.10
	D	Normal		Normal		Normal		Normal		Lognormal		Lognormal		Lognormal	
Resul.		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E
	V. Exterior 1	38.23		0.08		24.17		0.71		1.53		39.33		176.82	
M. Flector (T-m)	V. Exterior 1	40.14	4.01	0.08	0.01	25.38	2.54	0.75	0.07	1.53	0.28	63.32	7.98	185.66	18.57
	V. Interior 1	30.54		0.01		27.62		0.18		0.32		48.52		164.74	
	V. Interior 2	32.07	3.21	0.01	0.00	29.00	2.90	0.19	0.02	0.32	0.06	78.12	9.84	172.98	17.30
	V. Exterior 2	30.62		0.02		28.30		0.20		0.23		47.10		163.67	
	V. Exterior 2	32.15	3.22	0.02	0.00	29.72	2.97	0.21	0.02	0.23	0.04	75.83	9.55	171.85	17.19
	V. Exterior 1	38.33		0.08		23.41		0.74		0.91		39.59		179.79	
	V. Exterior 1	40.25	4.02	0.08	0.01	24.58	2.46	0.78	0.08	0.91	0.16	63.74	8.03	188.78	18.88
	V. Interior 1	13.84		0.01		2.69		0.11		0.17		7.52		45.78	
Fuerza Cortante (T)	V. Interior 1	14.53	1.45	0.01	0.00	2.82	0.28	0.12	0.01	0.17	0.03	12.11	1.53	48.07	4.81
	V. Interior 2	26.14		0.02		4.59		0.17		0.33		20.34		105.87	
	V. Interior 2	27.45	2.74	0.02	0.00	4.82	0.48	0.18	0.02	0.33	0.06	32.75	4.13	111.16	11.12
	V. Exterior 2	23.59		0.01		3.50		0.06		0.04		37.40		129.01	
	V. Exterior 2	24.77	2.48	0.01	0.00	3.68	0.37	0.06	0.01	0.04	0.01	60.21	7.59	135.46	13.55
	V. Exterior 1	27.50		0.03		5.08		0.74		0.57		33.86		137.56	
	V. Exterior 1	28.88	2.89	0.03	0.00	5.33	0.53	0.78	0.08	0.57	0.10	54.51	6.87	144.44	14.44

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

c) Análisis de confiabilidad

Para determinar el nivel de la confiabilidad estructural, se tomaron los valores de la Tabla 42, 43, 44, 45, 46 y 47, para realizar la simulación Monte Carlo.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 48

Confiabilidad estructural, relación de Solicitación y Resistencia, del puente Shudal.

E	Casos de Estudio	E.A.S (S)		E.A.R. (R)		I.S. (G)			
		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Índice β	P.F.
<i>Momento (T-m)</i>									
V.E.1	Caso 01	259.68	5.70	660.60	85.88	400.92	80.18	5.00	3.00E-07
	Caso 02	269.07	6.45	619.23	80.50	350.16	74.05	4.73	3.81E-05
	Caso 03	316.86	6.91	724.60	94.20	407.73	87.29	4.67	3.98E-05
V.I.1	Caso 01	253.17	4.88	660.60	85.88	407.43	81.00	5.03	3.02E-07
	Caso 02	256.09	5.66	619.23	80.50	363.13	74.84	4.85	3.44E-05
	Caso 03	312.68	6.18	724.60	94.20	411.91	88.01	4.68	3.95E-05
V.I.2	Caso 01	248.62	4.91	660.60	85.88	411.98	80.97	5.09	3.05E-07
	Caso 02	254.89	5.72	619.23	80.50	364.33	74.78	4.87	3.38E-05
	Caso 03	310.01	6.25	724.60	94.20	414.58	87.95	4.71	3.85E-05
V.E.2	Caso 01	260.61	5.56	660.60	85.88	399.99	80.31	4.98	3.06E-05
	Caso 02	270.66	6.29	619.23	80.50	348.57	74.21	4.70	3.90E-05
	Caso 03	319.12	6.73	724.60	94.20	405.48	87.46	4.64	4.08E-05
<i>Fuerza Cortante (T)</i>									
V.E.1	Caso 01	69.84	1.66	405.26	62.82	335.42	61.16	5.48	3.29E-07
	Caso 02	70.33	1.73	384.17	59.55	313.84	57.82	5.43	3.26E-07
	Caso 03	77.83	1.78	425.17	65.90	347.34	64.12	5.42	3.25E-07

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

	Caso 01	151.85	3.09	405.26	62.82	253.42	59.72	4.24	5.25E-05
V.I.1	Caso 02	153.66	3.22	384.17	59.55	230.51	56.33	4.09	5.70E-05
	Caso 03	176.71	3.31	425.17	65.90	248.47	62.60	3.97	1.02E-04
	Caso 01	184.44	2.70	405.26	62.82	220.83	60.12	3.67	1.23E-04
V.I.2	Caso 02	183.59	2.79	384.17	59.55	200.58	56.75	3.53	1.33E-04
	Caso 03	224.23	2.86	425.17	65.90	200.94	63.04	3.19	1.57E-04
	Caso 01	186.71	3.33	405.26	62.82	218.55	59.49	3.67	1.23E-04
V.E.2	Caso 02	196.45	3.51	384.17	59.55	187.72	56.04	3.35	1.46E-04
	Caso 03	234.54	3.60	425.17	65.90	190.63	62.30	3.06	1.66E-04

E: Elemento; V.I.1: Viga Interior 01; V.E.1: Viga Exterior 01; V.I.2: Viga Interior 02; V.E.1: Viga Exterior 02; E.A.S.: Estadísticos Aplicada a Solicitud; E.A.S.: Estadísticos Aplicada a Resistencia; I.S: Índice de Seguridad; D: Distribución; N: Normal; D.E.: Desviación Estándar; P.F.: Probabilidad de Falla

Fuente: Formato adaptado de Silva (2018), con resultados de esta investigación.

Se realizó la Simulación Montecarlo con 20000 pruebas, corridos en el Software Crystal Ball. Las distribuciones de probabilidad se ajustan a:

- Solicitud: Lognormal
- Resistencia: Normal
- Seguridad: Normal

Del análisis de confiabilidad, se resumió los resultados para su correcta interpretación.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 49

Resumen de Índices β y Pf. Para momento y cortante, del Puente Shudal.

Casos de Estudio	Momento (M)		Cortante (V)	
	Índice β	Prob. Falla	Índice β	Prob. Falla
Caso N° 01	5.02	7.87E-06	4.27	7.46E-05
Caso N° 02	4.79	3.63E-05	4.10	8.38E-05
Caso N° 03	4.68	3.96E-05	3.91	1.06E-04

3.4.3. Puente Los Shilcos

a) Modelo de Resistencia (R)

Se combinaron los estadísticos de la Tabla N° 15, con los resultados de la Tabla N° 30, Resistencia nominal (R_n), para obtener el modelo de Resistencia (R), en cada uno de los casos de estudio. Se muestran los resultados obtenidos al combinar los datos estadísticos con la resistencia nominal, para la evaluación de la estructura, para los tres casos:

Tabla 50

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, caso N° 01

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef.Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.14	0.13	Vigas	260.06	N	296.47	38.54
Fuerza Cortante	1.20	0.155	Vigas	207.56	N	249.07	38.61

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E. Desviación Estándar

Tabla 51

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, caso N° 02

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef.Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.14	0.13	Vigas	246.12	N	280.58	36.47
Fuerza Cortante	1.2	0.155	Vigas	189.14	N	226.97	35.18

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E. Desviación Estándar

Tabla 52

Resistencia aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, caso N° 03

<i>Resistencia</i>	<i>Bías</i>	<i>Coef.Var.</i>	<i>E</i>	<i>V.N.</i>	<i>D</i>	<i>Media</i>	<i>D.E.</i>
Momento	1.14	0.13	Vigas	313.73	N	357.65	46.49
Fuerza Cortante	1.2	0.155	Vigas	235.87	N	283.04	43.87

E: Elemento; V.N.: Valor Nominal; D: Distribución; N: Normal; D.E. Desviación Estándar

b) Modelo de Solicitación (S)

Se muestran los resultados obtenidos al combinar los datos estadísticos con la sollicitación obtenida del análisis en software FEM, para la evaluación de la estructura, para los tres casos:

Tabla 53

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, Caso N° 01

Items	E	C.M.		B		F		VE		PEA		HL-93		Envolvente	
P.E.		<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>	<i>Bías</i>	<i>C.V.</i>
D		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Normal</i>		<i>Lognormal</i>		<i>Lognormal</i>		<i>Lognormal</i>	
Resul.		<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>	<i>Media</i>	<i>D.E</i>
M. Flector (T-m)	V. Exterior 1	16.14		0.61		2.51		2.67		2.23		26.78		75.89	
		16.95	1.69	0.64	0.06	2.64	0.26	2.80	0.28	2.23	0.40	32.14	5.78	79.68	7.97
	V. Interior 1	16.72		0.18		2.97		0.93		0.77		29.96		78.35	
		17.56	1.76	0.19	0.02	3.12	0.31	0.98	0.10	0.77	0.14	35.95	6.47	82.27	8.23
	V. Interior 2	16.93		0.05		2.97		0.04		0.04		31.15		77.80	
		17.78	1.78	0.05	0.01	3.12	0.31	0.04	0.00	0.04	0.01	37.38	6.73	81.69	8.17
Fuerza Cortante (T)	V. Exterior 2	12.12		0.08		2.61		0.30		0.25		25.87		60.46	
		12.73	1.27	0.08	0.01	2.74	0.27	0.32	0.03	0.25	0.05	31.04	5.59	63.48	6.35
	V. Exterior 1	13.87		0.65		0.70		2.67		2.22		21.43		64.11	
		14.56	1.46	0.68	0.07	0.74	0.07	2.80	0.28	2.22	0.40	25.72	4.63	67.32	6.73
	V. Interior 1	13.83		0.07		0.78		0.40		0.34		25.62		63.96	
		14.52	1.45	0.07	0.01	0.82	0.08	0.42	0.04	0.34	0.06	30.74	5.53	67.16	6.72
	V. Interior 2	13.47		0.05		0.74		0.12		0.10		25.50		62.22	
		14.14	1.41	0.05	0.01	0.78	0.08	0.13	0.01	0.10	0.02	30.60	5.51	65.33	6.53
	V. Exterior 2	10.9		0.05		0.67		0.18		0.15		23.84		56.00	
		11.45	1.14	0.05	0.01	0.70	0.07	0.19	0.02	0.15	0.03	28.61	5.15	58.80	5.88

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

Tabla 54

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, Caso N° 02

Items	E	C.M.		B		F		VE		PEA		T3S3 (peso normal)		Envolvente	
		Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.
P.E.		1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.00	0.18	1.63	0.123	1.05	0.10
	D	Normal		Normal		Normal		Normal		Lognormal		Lognormal		Lognormal	
Resul.		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E
	V. Exterior 1	16.26		0.62		3.78		2.70		2.25		24.07		71.37	
M. Flector (T-m)	V. Exterior 1	17.07	1.71	0.65	0.07	3.97	0.40	2.84	0.28	2.25	0.41	39.23	4.83	74.94	7.49
	V. Interior 1	16.86		0.18		4.51		0.93		0.77		26.79		74.37	
	V. Interior 2	17.70	1.77	0.19	0.02	4.74	0.47	0.98	0.10	0.77	0.14	43.67	5.37	78.09	7.81
	V. Interior 2	17.07		0.05		4.51		0.05		0.04		27.82		73.39	
	V. Exterior 2	17.92	1.79	0.05	0.01	4.74	0.47	0.05	0.01	0.04	0.01	45.35	5.58	77.06	7.71
	V. Exterior 2	12.21		0.08		3.94		0.30		0.25		23.23		56.47	
Fuerza Cortante (T)	V. Exterior 1	12.82	1.28	0.08	0.01	4.14	0.41	0.32	0.03	0.25	0.05	37.86	4.66	59.29	5.93
	V. Exterior 1	13.86		0.65		1.06		2.68		2.23		18.05		58.85	
	V. Interior 1	14.55	1.46	0.68	0.07	1.11	0.11	2.81	0.28	2.23	0.40	29.42	3.62	61.79	6.18
	V. Interior 1	13.84		0.07		1.19		0.40		0.33		22.45		58.97	
	V. Interior 2	14.53	1.45	0.07	0.01	1.25	0.12	0.42	0.04	0.33	0.06	36.59	4.50	61.92	6.19
	V. Interior 2	13.50		0.05		1.13		0.12		0.10		22.35		57.31	
V. Exterior 2	V. Exterior 2	14.18	1.42	0.05	0.01	1.19	0.12	0.13	0.01	0.10	0.02	36.43	4.48	60.18	6.02
	V. Exterior 2	10.88		0.04		1.02		0.17		0.14		20.19		50.23	
		11.42	1.14	0.04	0.00	1.07	0.11	0.18	0.02	0.14	0.03	32.91	4.05	52.74	5.27

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

Tabla 55

Solicitud aplicada con los estadísticos, Puente Los Shilcos, Caso N° 03

Items	E	C.M.		B		F		VE		PEA		T3S3 (sobrecargado)		Envolvente	
		Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.	Bías	C.V.
P.E.		1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.05	0.10	1.00	0.18	1.63	0.123	1.05	0.10
	D	Normal		Normal		Normal		Normal		Lognormal		Lognormal		Lognormal	
Resul.		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E
	V. Exterior 1	16.26		0.62		4.62		2.70		2.25		34.67		90.12	
M. Flector (T-m)	V. Exterior 1	17.07	1.71	0.65	0.07	4.85	0.49	2.84	0.28	2.25	0.41	56.51	6.95	94.63	9.46
	V. Interior 1	16.86		0.18		5.50		0.93		0.77		38.60		95.85	
V. Interior 2	V. Interior 2	17.70	1.77	0.19	0.02	5.78	0.58	0.98	0.10	0.77	0.14	62.92	7.74	100.64	10.06
	V. Exterior 2	17.07		0.05		5.50		0.05		0.04		40.08		95.57	
V. Exterior 2	V. Exterior 2	17.92	1.79	0.05	0.01	5.78	0.58	0.05	0.01	0.04	0.01	65.33	8.04	100.35	10.03
	V. Exterior 1	12.21		0.08		4.81		0.30		0.25		33.47		74.67	
V. Exterior 1	V. Exterior 1	12.82	1.28	0.08	0.01	5.05	0.51	0.32	0.03	0.25	0.05	54.56	6.71	78.40	7.84
	V. Interior 1	13.86		0.65		1.30		2.68		2.23		25.65		72.56	
Fuerza Cortante (T)	V. Interior 1	14.55	1.46	0.68	0.07	1.37	0.14	2.81	0.28	2.23	0.40	41.81	5.14	76.19	7.62
	V. Interior 2	13.84		0.07		1.46		0.40		0.33		31.91		75.88	
V. Interior 2	V. Interior 2	14.53	1.45	0.07	0.01	1.53	0.15	0.42	0.04	0.33	0.06	52.01	6.40	79.67	7.97
	V. Exterior 2	13.50		0.05		1.38		0.12		0.10		31.75		74.15	
V. Exterior 2	V. Exterior 2	14.18	1.42	0.05	0.01	1.45	0.14	0.13	0.01	0.10	0.02	51.75	6.37	77.86	7.79
	V. Exterior 1	10.88		0.04		1.25		0.17		0.14		28.73		65.55	
		11.42	1.14	0.04	0.00	1.31	0.13	0.18	0.02	0.14	0.03	46.83	5.76	68.83	6.88

E: Elementos; C.M.: Carga Muerta; B.: Baranda; F.: Frenado; PA.: Parapeto; VE.: Vereda; PEA.: Peatonal D.: Distribución; P.E.: Parámetros estadísticos; C.V.: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación Estándar

c) Análisis de Confiabilidad.

Para determinar el nivel de la confiabilidad estructural, se tomaron los valores de la Tabla 50, 51, 52, 53, 54 y 55, para realizar la simulación Monte Carlo.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 56

Confiabilidad estructural, relación de Solicitación y Resistencia, del puente Los Shilcos.

E	Casos de Estudio	E.A.S (S)		E.A.R. (R)		I.S. (G)		Índice β	P.F.
		Media	D.E	Media	D.E	Media	D.E		
<i>Momento (T-m)</i>									
V.E.1	Caso 01	137.08	2.70	296.47	38.54	159.39	35.84	4.45	4.64E-05
	Caso 02	140.95	2.86	280.58	36.47	139.63	33.62	4.15	5.51E-05
	Caso 03	178.80	2.95	357.65	46.49	178.85	43.55	4.11	5.65E-05
V.I.1	Caso 01	140.83	2.32	296.47	38.54	155.64	36.22	4.30	5.09E-05
	Caso 02	146.13	2.50	280.58	36.47	134.45	33.98	3.96	1.03E-04
	Caso 03	188.97	2.60	357.65	46.49	168.68	43.89	3.84	1.11E-04
V.I.2	Caso 01	140.10	2.11	296.47	38.54	156.37	36.43	4.29	5.10E-05
	Caso 02	145.21	2.28	280.58	36.47	135.37	34.19	3.96	1.03E-04
	Caso 03	189.52	2.39	357.65	46.49	168.13	44.11	3.81	1.13E-04
V.E.2	Caso 01	110.64	1.63	296.47	38.54	185.83	36.91	5.03	3.02E-07
	Caso 02	114.76	1.78	280.58	36.47	165.81	34.69	4.78	3.66E-05
	Caso 03	151.48	1.87	357.65	46.49	206.17	44.62	4.62	4.13E-05
<i>Fuerza Cortante (T)</i>									
V.E.1	Caso 01	114.04	2.28	249.07	38.61	135.04	36.33	3.72	1.20E-04
	Caso 02	112.61	2.32	226.97	35.18	114.36	32.86	3.48	1.36E-04
	Caso 03	139.64	2.34	283.04	43.87	143.40	41.53	3.45	1.38E-04

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

	Caso 01	114.08	1.64	249.07	38.61	135.00	36.96	3.65	1.24E-04
V.I.1	Caso 02	115.12	1.69	226.97	35.18	111.85	33.49	3.34	1.46E-04
	Caso 03	148.58	1.72	283.04	43.87	134.47	42.16	3.19	1.57E-04
	Caso 01	111.13	1.53	249.07	38.61	137.94	37.08	3.72	1.20E-04
V.I.2	Caso 02	112.25	1.57	226.97	35.18	114.72	33.61	3.41	1.41E-04
	Caso 03	145.51	1.60	283.04	43.87	137.53	42.27	3.25	1.52E-04
	Caso 01	99.95	1.27	249.07	38.61	149.12	37.34	3.99	1.00E-04
V.E.2	Caso 02	98.51	1.30	226.97	35.18	128.46	33.88	3.79	1.15E-04
	Caso 03	128.75	1.32	283.04	43.87	154.29	42.55	3.63	1.26E-04

E: Elemento; V.I.1: Viga Interior 01; V.E.1: Viga Exterior 01; V.I.2: Viga Interior 02; V.E.1: Viga Exterior 02; E.A.S.: Estadísticos Aplicada a Solicitud; E.A.S.: Estadísticos Aplicada a Resistencia; I.S: Índice de Seguridad; D: Distribución; N: Normal; D.E.: Desviación Estándar; P.F.: Probabilidad de Falla

Fuente: Formato adaptado de Silva (2018), con resultados de esta investigación.

Se realizó la Simulación Montecarlo con 20000 pruebas, corridos en el Software Crystal Ball. Las distribuciones de probabilidad se ajustan a:

- Solicitud: Lognormal
- Resistencia: Normal
- Seguridad: Normal

Del análisis de confiabilidad, se resumió los resultados para su correcta interpretación.

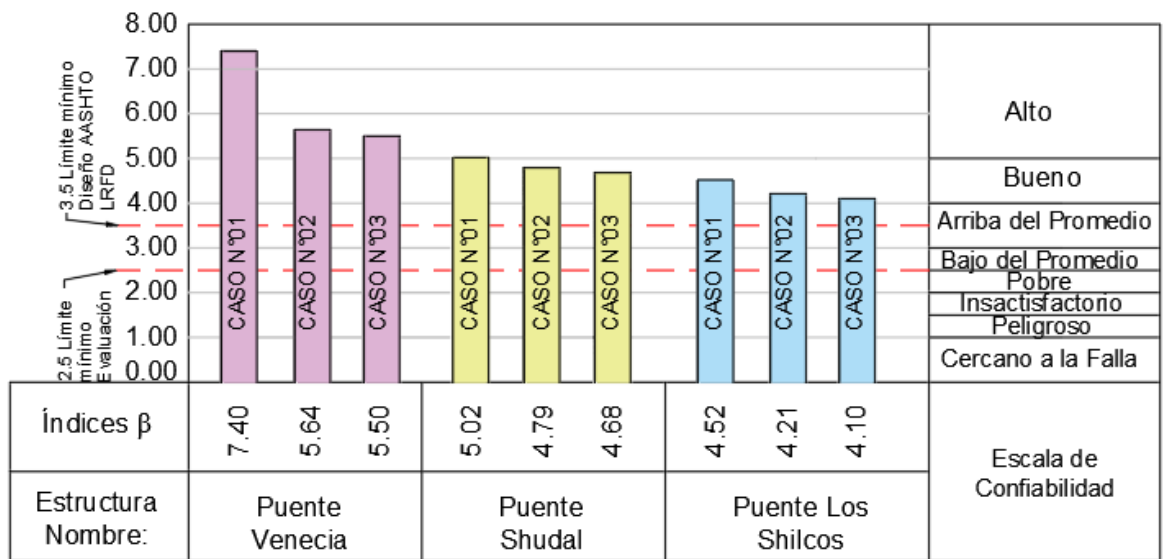
Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 57

Resumen de Índices β y Pf. Para momento y cortante, del Puente Los Shilcos.

Casos de Estudio	Momento (M)		Cortante (V)	
	Índice β	Prob. Falla	Índice β	Prob. Falla
Caso N° 01	4.52	3.72E-05	3.77	1.16E-04
Caso N° 02	4.21	7.44E-05	3.51	1.35E-04
Caso N° 03	4.10	8.05E-05	3.38	1.43E-04

3.5. Clasificación puentes según índice de confiabilidad

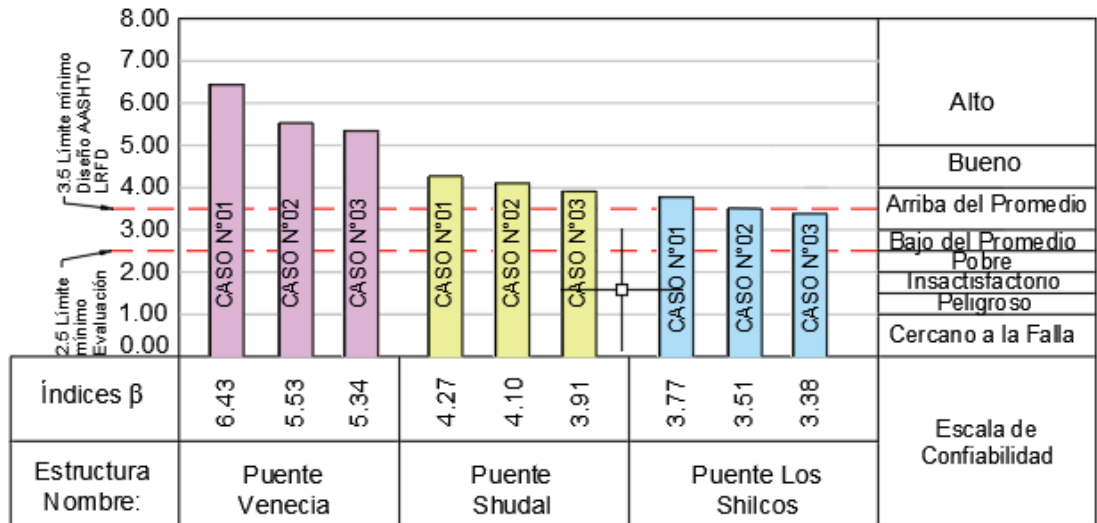


NOTA: - Caso N° 01: Diseño. - Caso N° 02: Desempeño Actual normal. - Caso N° 03: Desempeño Actual sobrecargado.

Figura 25 Índices de Confiabilidad β de los puentes investigados (Momentos).

(Silva Campos, 2018)

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”



NOTA: - Caso N° 01: Diseño. - Caso N° 02: Desempeño Actual normal. - Caso N° 03: Desempeño Actual sobrecargado.

Figura 26 Índices de Confiabilidad β de los puentes investigados (Cortantes) (Silva Campos, 2018)

En las Fig. 25 y 26, se aprecia los resultados del índice de confiabilidad de los puentes en estudio, indicando su grado cuantitativo y cualitativo de confiabilidad, para el cual se muestra un resumen a continuación:

Tabla 58

Índices de Confiabilidad de los puentes investigados con la metodología de Confiabilidad Estructural, Caso N° 02

Puente Evaluado	Fuerza Interna propenso a fallas	Índices β	Grado de Seguridad
Puente Venecia	Cortante	5.53	Alto
Puente Shudal	Cortante	4.10	Bueno
Puente Los Shilcos	Cortante	3.51	Arriba del promedio

Tabla 59

Índices de Confiabilidad de los puentes investigados con la metodología de Confiabilidad Estructural, Caso N° 03

Puente Evaluado	Fuerza Interna propenso a fallas	Índices β	Grado de Seguridad
Puente Venecia	Cortante	5.34	Alto
Puente Shudal	Cortante	3.91	Arriba del promedio
Puente Los Shilcos	Cortante	3.38	Arriba del promedio

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Para cada puente se determinó el estudio de tráfico, evidenciando los diferentes vehículos que transitan por cada puente, revisar Tablas N° 18, 19 y 20.

Los momentos y cortantes nominales resistentes de cada puente, se evidencian para cada uno de los casos de estudio. Estos datos nos sirven para luego ser combinados con los parámetros estadísticos de la Tabla N° 15 y obtener los resultados de las Tablas N° 35, 36, 37, 42, 43, 44, 50, 51 y 52

Los resultados de las Tablas N° 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 32 y 33, del puente Venecia, Shudal y Los Shilcos, respectivamente, son las sollicitaciones que combinadas con los parámetros estadísticos de la Tabla N° 13 y 14, obtenemos los resultados de las Tablas N° 37, 38, 39, 45, 46, 47, 53, 54 y 55,

El análisis de confiabilidad de los puentes Venecia, Shudal y Los Shilcos, se muestran en las Tablas N° 40, 48 y 56, respectivamente. Resultados que nos permiten clasificar los puentes de acuerdo con el desempeño actual (Caso N° 02 y 03), mostrados en las Tablas N° 58 y 59.

Además, se comparan los resultados de las **Fig. 24 y 25**, con los propuestos en la teoría (Tabla N° 11), la mismas que indican que se clasifican en 8 niveles para evaluar el nivel de confiabilidad.

De los resultados obtenidos en el desempeño actual normal (Caso N° 02) en la Tabla N° 58, se evidencia que el puente Venecia, tiene un nivel de confiabilidad Alto, incluso en los resultados del desempeño actual sobrecargado (Caso N° 03) en la Tabla N° 59, se obtiene un nivel de confiabilidad Alto. Pues se pudo esperar, que el puente falle por el exceso de peso en la carga móvil propuesto en este último caso.

En el puente Shudal se observa que en el Caso N° 02 (Tabla N° 58), tiene un nivel de confiabilidad Bueno; sin embargo, en el Caso N° 03 (Tabla N° 59), tiene un nivel de confiabilidad arriba del promedio. Esto se debe a que, en el último caso, se excede la carga móvil.

En el puente Los Shilcos se observa que en el Caso N° 02 y Caso N° 03, tiene un nivel de confiabilidad Arriba del Promedio.

Del mismo modo, se considera propio afirmar que todas las estructuras de los puentes en estudio cumplen con el índice mínimo de confiabilidad β : 2.5, indicando esto que las estructuras tienen su tiempo de vida útil asegurado para cumplir su función.

Comparando con los límites establecidos por la AASTHO LRFD (2017), los puentes en estudio muestran un alto nivel de confiabilidad, por encima de los valores $\beta: 3.5 \pm 0.5$.

Contraste de Hipótesis

Contrastando con la hipótesis que afirma que el nivel de confiabilidad de los puentes Venecia, Shudal y Los Shilcos de la ciudad de Cajamarca es medio. Se demuestra que solo en el puente Venecia es Alto, mientras que en Shudal y Los Shilcos se determina que están entre Bueno y Arriba del promedio; sin embargo, están por encima de los límites mínimos de confiabilidad.

Comparación con otras tesis

Se demostró que los índices de confiabilidad de la norma AASTHO LRFD, son consistentes y que nos sirven para evaluar los niveles de confiabilidad en los puentes, además garantiza la confiabilidad permisible, corroborando lo expuesto en la tesis de investigación de Gao (2007).

De igual manera, se aprecia que cada estructura del puente cuenta con su nivel de confiabilidad estructural, ya sea por su Luz, configuración estructural y material usado para su construcción, evidenciando lo explicado por Muñoz, et al. (2002).

Los índices de confiabilidad de los puentes en estudio en la evaluación del desempeño actual (Caso N° 02 y 03), en las Tablas N° 58 y 59, se aprecia que los esfuerzos cortantes de los elementos estructurales los índices son desfavorables; sin embargo, éstos superan los 2.56 y 2.67 en puentes de luces de 15 m y 28 m, respectivamente, obtenidos por Téllez (2005), incluso teniendo el puente Venecia de 43.60 m.

4.2 Conclusiones

- Se estimó que el nivel de confiabilidad de los puentes Venecia, Shudal y Los Shilcos de Cajamarca, no todos tienen un nivel medio, rechazándose la hipótesis.
- Se encontró que el puente Venecia tiene un nivel de confiabilidad Alto, mientras que los puentes Los Shilcos y Shudal tienen un nivel de confiabilidad entre Bueno y Arriba del Promedio.
- Del estudio de registro del IMDA en cada puente, se encontró que la densidad vehicular de los puentes Venecia es de 1775 veh/día, Shudal es de 1322 veh/día y Los Shilcos es de 125 veh/día. Asimismo, se encontró que los vehículos más pesados que transitan por los puentes son el C3 y T3S3.
- Se determinó la resistencia del concreto de los elementos del puente Venecia, Los Shilcos y Shudal de Cajamarca, mediante el ensayo de esclerometría, evidenciando resistencias actuales por encima de la nominal: para el puente Venecia resistencia máxima del concreto es de $f'c = 388 \text{ kg/cm}^2$; Los Shilcos, $f'c = 336 \text{ kg/cm}^2$ y Shudal, $f'c = 338 \text{ kg/cm}^2$. Ver **Tabla N° 21**.

4.3 Recomendaciones

- Para una buena conservación de las estructuras de los puentes, se debe colocar señales reguladoras de tránsito, indicando el peso máximo de circulación en ambos sentidos.
- El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), debería enfocar más investigaciones sobre el desempeño actual de los puentes, para así generar datos estadísticos e información para futuras investigaciones.
- Las autoridades competentes con el transporte urbano, deberían inventariar puentes con más de 20 años de antigüedad, para ser renovados y diseñados con factores de seguridad actualizados que resulten de las futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Álvarez, L; Castillo, R; & Vargas, L. (2014). *Evaluación de la Capacidad de Carga Viva Vehicular de Puentes en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Publicaciones Congreso Nacional de Ingeniería.
- Gao, L. (2007). Reliability Bases Evaluation of Bridge Live Load Carrying. 14 p. Washington, Estados Unidos.
- Gómez Johnson, R. C. (2008). *Comparación entre las Filosofías de Diseño por Esfuerzos Admisibles, Factores de Carga y Factores de Carga y Resistencia en el Diseño de Superestructuras de Puentes Vehiculares Bajo la Acción de Cargas Gravitacionales*. México: Universidad Autónoma de México.
- Honorato Colín, J. C. (2015). *Análisis de Confiabilidad y Riesgo de un Puente Expuesto a Corrosión Ubicado en el Valle de Toluca*. Toluca, México: Universidad Autónoma de México.
- Leimare, M. (2009). *Structural Reliability*. New Jersey, Estados Unidos: Wiley-ISTE.
- Leimare, M., Chateaufneuf, A., & Jean-Claude, M. (2009). *Structural Reliability*. New Jersey, Estados Unidos: Wiley-ISTE.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2018). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Lima-Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2018). *Manual de Puentes*. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, M. (2021). *Reglamento Nacional de Vehículos*

(RNV). Lima-Perú: El Peruano.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones, E.020 Cargas*. Lima, Perú: El Peruano.

Muñoz Díaz, Edgar Eduardo; Núñez, Federico; Rodríguez Calderón, Wilson; Otárola Sánchez, Calimo; Ruiz Valencia, Daniel Mauricio. (enero - junio de 2006). Evaluación por confiabilidad estructural de puentes en acero apoyada en monitoreo e instrumentación. *Ingeniería y Universidad, Pontificia Universidad Javeriana, 10*(1), 0. Recuperado el 23 de abril de 2019, de www.redalyc.org/articulo.oa?id=47710103

Muñoz, E; Daza, R; Salazar, F. (2002). *Metodología de Evaluación Estructural de Puente Metálicos por Técnicas de Fiabilidad Estructural*. Revista Ingeniería de Construcción.

Nowak. (1993).

Núñez Escobar, J. A. (2014). *Comportamiento y Seguridad Estructural de Puentes Vehiculares Mediante el Análisis y Comparación del Diseño por Factores de Carga y Resistencia Versus el Diseño por Esfuerzos Permisibles*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

Rodríguez Serquén, A. (2012). *Puentes con AASHTO-LRFD 2010*. Perú.

Sanchez Silva, M. (2005). *Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos*. Bogotá: Ediciones Uniandes.

- Silva Campos, J. M. (2018). *Índices de Seguridad Estructural en Puentes de la Carretera Longitudinal de la Sierra Provincia de Chota*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Téllez García, C. (2005). *Evaluación de la Confiabilidad de Superestructuras de Puentes Carreteros*. México: Universidad Autónoma de México.
- Trujillo Orozco, J. (2009). *Diseño de Puentes*. Bogotá, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Vanegas Herrera, Sergio Andrés; Chio Chio, Gustavo. (2014). Estimación del índice de confiabilidad de las vigas de un puente usando conteos de tráfico real (TPDS) mediante simulación. *Universidad Industrial de Santander*.

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”

ANEXOS



Figura 27 Realizando el conteo de Tráfico en el Puente



Figura 28 Unión de los dos tableros del Puente Los Shilcos.

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”



Figura 29 Conteo de tráfico en el Puente Shudal.



Figura 30 Realizando el ensayo de esclerometría en el Puente Shudal.



Figura 31 Realizando el conteo de tráfico en el Puente Venecia.

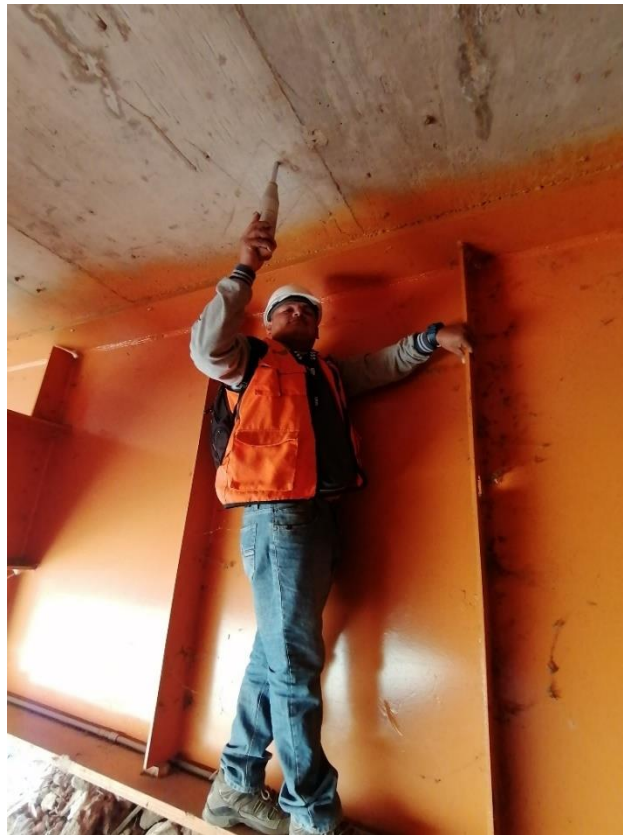


Figura 32 Realizando el ensayo de esclerometría en el Puente Venecia.

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β)
DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS
SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO
CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE
SIMULACIÓN”


BALANZA ELECTRONICA "ESTEBAN"
RUC: 20602069801
VIA DE EVITAMIENTO SUR ESQ. CON
INDUSTRIAL-CAJAMARCA
MOVISTAR: 942860286

TICKET N° 1344
08:47:27 2/03/2021

PLACA	M4J828	TARA MANUAL	
CHOFER	EDUARDO AGUILAR	PESO BRUTO	55.290 KG
		PESO TARA	
PRODUCTO	MADERA	PESO NETO	55.290 KG

CLIENTE

TARIFA 20.00



ATENCION DE LUNES A DOMINGO Y
FERIADOS LAS 24 HORAS

Figura 33 Peso Bruto de Vehículo, emitido por Balanza Electrónica (55 T).

BALANZA ELECTRONICA "ESTEBAN"
RUC: 20602069801
VIA DE EVITAMIENTO SUR ESQ. CON
INDUSTRIAL-CAJAMARCA
MOVISTAR: 942860286

TICKET N° 1562
20:07:53 24/03/2021

PLACA	T4U808	TARA MANUAL	
CHOFER	ROBERTO SANTILLAN	PESO BRUTO	61.000 KG
		PESO TARA	16.000
PRODUCTO	ARCILLA	PESO NETO	45.000 KG

CLIENTE

TARIFA 20.00



















ATENCION DE LUNES A DOMINGO Y
FERIADOS LAS 24 HORAS

Figura 34 Peso Bruto de Vehículo, emitido por Balanza Electrónica (61 T).

















“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”

ANEXO N° 1. FICHA PARA REGISTRO DE IMDA (veh/día)


















		INDICE MEDIO DIARIO ANUAL, POR TIPO DE VEHICULO																												
		NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN:										"ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA"																		
		RESPONSABLE:										LUIS EDGARDO BECERRA COBA																		
		INFORMACIÓN GENERAL																												
FECHA:										LUGAR:																				
LUNES																														
TIPO DE VEHICULOS	DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LOS VEHICULOS	6:00 - 7:00 AM		7:00 - 8:00 AM		8:00 - 9:00 AM		9:00 - 10:00 AM		10:00 - 11:00 AM		11:00 - 12:00 AM		12:00 - 1:00 PM		1:00 - 2:00 PM		2:00 - 3:00 PM		3:00 - 4:00 PM		4:00 - 5:00 PM		5:00 - 6:00 PM		6:00 - 7:00 PM		7:00 - 8:00 PM		TOTAL
		IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA			
MOTO TAXI																														
Ac																														
Ap																														
COMB I																														
MICR O																														
B2																														
B3																														
C2																														
C3																														
T2S2																														
T2S3																														
T3S1																														
T3S3																														
C3R2																														
C3R3																														
TOTAL																														
TESISTA												ASESOR																		
_____												_____																		

“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA, USANDO CONTEOS DE TRÁFICO REAL MEDIANTE SIMULACIÓN”

ANEXO N° 2. RESUMEN DEL REGISTRO DE IMDA DEL PUENTE VENECIA

		RESUMEN SEMANAL INDICE MEDIO DIARIO ANUAL, POR TIPO DE VEHICULO									
		RESUMEN SEMANAL				RESUMEN					
TIPO DE VEHICULOS		DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LOS VEHICULOS		MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	PROMEDIO
MOTOT AXI		674	650	652	638	650	584	584	633		
Ac		411	297	195	218	394	343	343	314		
Ap		366	381	394	392	392	386	386	385		
COMBI		113	107	138	140	113	132	132	125		
MICRO		22	27	25	27	27	26	26	26		
B2		3	2	5	7	7	6	6	5		
B3		2	2	4	5	5	5	5	4		
C2		26	33	62	62	62	60	60	52		
C3		10	17	32	32	17	31	31	24		
T2S2		1	1	3	3	3	3	3	2		
T2S3		1	1	0	0	0	0	0	0		
T3S1		0	0	0	0	0	0	0	0		
T3S3		2	3	2	3	1	1	1	2		
C3R2		0	1	0	0	0	0	0	0		
C3R3		0	0	0	0	0	0	0	0		
TOTAL		1631	1522	1512	1527	1671	1577	1577	1572		
TESISTA						ASESOR					
Luis Edgardo Becerra Cobra						Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno					

ANEXO N° 4. RESUMEN DEL REGISTRO DE IMDA DEL PUENTE SHUDAL

		RESUMEN SEMANAL INDICE MEDIO DIARIO ANUAL, POR TIPO DE VEHICULO									
		RESUMEN SEMANAL				RESUMEN					
TIPO DE VEHICULOS		DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LOS VEHICULOS		MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	PROMEDIO
MOTO		546	421	405	401	377	397	391	420		
TAXI		362	297	195	162	191	343	264	259		
Ac		241	255	246	392	332	210	213	270		
Ap		113	107	138	139	76	132	106	116		
COMBI		22	27	25	27	27	26	22	25		
MICRO		3	2	5	7	7	6	3	5		
B2		2	2	4	5	5	5	2	4		
B3		26	33	62	56	62	60	27	47		
C2		10	17	32	29	17	31	10	21		
C3		1	1	3	3	3	3	1	2		
T2S2		1	1	0	0	0	0	1	0		
T2S3		0	0	0	0	0	0	0	0		
T3S1		0	2	1	1	1	1	0	1		
T3S3		0	1	0	0	0	0	0	0		
C3R2		0	0	0	0	0	0	0	0		
C3R3		1327	1166	1116	1222	1098	1214	1040	1170		
TOTAL											



















TESISTA

Luis Edgardo Becerra Cobra

ASESOR

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno

ANEXO N° 6. RESUMEN DEL REGISTRO DE IMDA DEL PUENTE LOS SHILCOS

		RESUMEN SEMANAL INDICE MEDIO DIARIO ANUAL, POR TIPO DE VEHICULO								
		NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN:				"ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFIABILIDAD (β) DE LAS VIGAS DE LOS PUENTES VENECIA, LOS SHILCOS Y SHUDAL-CAJAMARCA"				
		RESPONSABLE:				LUIS EDGARDO BECERRA COBA				
		INFORMACIÓN GENERAL								
		RESUMEN SEMANAL				LUGAR:	PUENTE LOS SHILCOS			
TIPO DE VEHICULOS	DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LOS VEHICULOS	RESUMEN								
		MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	PROMEDIO	
MOTO TAXI		100	81	41	47	67	46	49	62	
Ac		0	5	5	13	9	5	5	6	
Ap		11	11	11	18	15	11	11	13	
COMBI		6	6	6	6	6	6	6	6	
MICRO		2	2	2	2	2	2	2	2	
B2		0	0	0	0	0	0	0	0	
B3		0	0	0	0	0	0	0	0	
C2		11	13	20	17	13	19	20	16	
C3		2	5	11	2	2	8	11	6	
T2S2		0	0	0	0	0	0	0	0	
T2S3		0	0	0	0	0	0	0	0	
T3S1		0	0	0	0	0	0	0	0	
T3S3		1	0	1	2	2	0	0	1	
C3R2		0	0	0	0	0	0	0	0	
C3R3		0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL		133	123	97	107	116	97	104	112	
TESISTA					ASESOR					
 Luis Edgardo Becerra Coda					 Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno					

