



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“ANÁLISIS DE MEJORA DEL MOMENTO Y REACCION MÁXIMA POR SOBRECARGA, PROVOCADO POR LOS VEHÍCULOS MAS PESADOS DE LOS 40 A 48 TONELADAS, PARA PUENTES SIMPLEMENTE APOYADOS DE 25 A 50 METROS DE LONGITUD, LIMA-2022”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Reynaldo Enrique Ludeña Medina  
Alexander Deyby Villanueva Machado

**Asesor:**

Mg. Carlos Alberto Avellaneda Cruz  
<https://orcid.org/0000-0003-2291-6901>

Lima - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1	<b>Wilder Alexander Calixtro Calixtro</b>	<b>06803344</b>
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	DNI

Jurado 2	<b>Kely Elizabeth Nuñez Vasquez</b>	<b>42679441</b>
	Nombre y Apellidos	DNI

Jurado 3	<b>Lizbeth Milagros Merma Gallardo</b>	<b>40012838</b>
	Nombre y Apellidos	DNI

## INFORME DE SIMILITUD

14623\_23-12

Turnitin - Informe de Originalidad - tesis de alexander VILLANUEVA y reynaldo LUDEÑA

<p><b>Turnitin Informe de Originalidad</b></p> <p>Procesada el: 14-jun.-2023 10:52 -05          Identificador: 2116029566          Número de palabras: 19269          Integridad: 1</p> <p>tesis de alexander VILLANUEVA y reynaldo LUDEÑA Por ALEXANDER DEYBY VILLANUEVA MACHADO</p>		<table border="1"> <tr> <td>Índice de similitud</td> <td>Similitud según fuente</td> </tr> <tr> <td><b>11%</b></td> <td>Internet Sources: 11% Publications: 0% Trabajos del estudiante: 0%</td> </tr> </table>	Índice de similitud	Similitud según fuente	<b>11%</b>	Internet Sources: 11% Publications: 0% Trabajos del estudiante: 0%
Índice de similitud	Similitud según fuente					
<b>11%</b>	Internet Sources: 11% Publications: 0% Trabajos del estudiante: 0%					

4% match (Internet desde 23-ago.-2022)  
<https://www.sldshere.net/PERMANENCIA/Admno-de-puentes-con-aasba-1fd-2016>

1% match (Internet desde 24-sept.-2022)  
[https://repository.ucc.edu.pe/bitstream/handle/20.506.12662/354978\\_Falcom\\_HSB.pdf?Allowed=y&sequence=1](https://repository.ucc.edu.pe/bitstream/handle/20.506.12662/354978_Falcom_HSB.pdf?Allowed=y&sequence=1)

1% match (Internet desde 19-dic.-2021)  
<https://hdoc.cuh.edu.pe/documentos/cursos-de-puentespdf-no23Infr61ed0>

< 1% match (Internet desde 15-ene.-2023)  
<https://www.sldshere.net/huacachaca/cuad-de-puentes>

< 1% match (Internet desde 14-sept.-2022)  
<https://www.sldshere.net/valeriano/puentes-1fd-irj-arturo-rodriguez>

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 23-may.-2023)  
 Submitted to Universidad Privada del Norte on 2023-05-23

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 01-mar.-2023)  
 Submitted to Universidad Privada del Norte on 2023-03-01

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 23-abc.-2023)  
 Submitted to Universidad Privada del Norte on 2023-04-23

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 10-abc.-2023)  
 Submitted to Universidad Privada del Norte on 2023-04-10

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 23-mar.-2023)  
 Submitted to Universidad Privada del Norte on 2023-03-23

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 22-abc.-2023)  
 Submitted to Universidad Privada del Norte on 2023-04-22

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 21-mar.-2023)  
 Submitted to Universidad Privada del Norte on 2023-03-21

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 24-mar.-2023)  
 Submitted to Universidad Privada del Norte on 2023-03-24

< 1% match (Internet desde 07-feb.-2020)  
[http://repository.ucc.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10237/yovena\\_ma.pdf?Allowed=y&sequence=1](http://repository.ucc.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10237/yovena_ma.pdf?Allowed=y&sequence=1)

< 1% match ()  
 Aranda Obeso, Sally Janet. "Potencial asociador de la Asociación Menos Laboristas para la exportación de artesanías textil al mercado Colombiano 2017." Universidad César Vallejo, 2017.

< 1% match ()  
 Villavicencio Villavicencio, Arnador. "Estudio comparativo entre un diseño optimizado respecto a uno sin optimizar en puentes tipo losa de concreto armado usando el método del arco equivalente de fricción del manual de puentes MC-2018." Washdeng Publishing Group Inc., 2020.

< 1% match ()  
 Andrés Salas, Carlos Arturo. "Aplicación de las recomendaciones españolas para la realización de pruebas de carga estática en el puente sobre el Interambio vial Huacho - Lima." Universidad Privada del Norte, 2016.

< 1% match ()  
 Flores Arévalo, Benito Renato. "Procedimiento de evaluación de operatividad para puentes incorporando el modelamiento numérico por medio de prueba de carga estática y dinámica." Washdeng Publishing Group Inc., 2021.

< 1% match ()  
 Reyes De la Cruz, Issac Marcelo. "Análisis de las deflexiones inducidas por cargas de camión estáticas, factores de calibración y fatiga de los puentes de sección corrugada de la zona sur del Perú, 2018-2021." Universidad Privada del Norte, 2021.

< 1% match ()  
 Bedónquez Ureño, Yanika Yumbón. "Evaluación de la resistencia estructural del puente "El Bevo" bajo la carga de inspección de puentes del MTC mediante ensayos destructivos y no destructivos en el distrito de Mosquera, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, 2021." Washdeng Publishing Group Inc., 2021.

< 1% match ()  
 Zavala Lobo, José Miguel. "Influencia de la adición de fibras de carbono en la I. P. Carlos Manuel Cox Bossa ubicado en el distrito La Paredera - Trujillo." Universidad Privada del Norte SAC, 2022.

< 1% match ()

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a nuestros padres, por brindar su apoyo día a día y a luchar por nuestra carrera, además de brindarnos un excelente apoyo educativo. A todo ello dedicamos el presente trabajo, porque han inculcado en nosotros el deseo de superación y de triunfo en la vida, por ello damos gracias.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros seres queridos por su apoyo incondicional en todo momento, a nuestros hijos, a nuestras esposas, a nuestros hermanos y hermanas, a la universidad, en especial consideración a nuestro asesor, que, gracias a su conocimiento, paciencia y ayuda nos permitió realizar nuestra investigación.

**Tabla de contenido**

<b>JURADO EVALUADOR</b>	<b>2</b>
<b>INFORME DE SIMILITUD</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b>	<b>12</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Bases teóricas	19
1.3. Formulación del problema	33
1.4. Objetivos	33
1.4. Hipótesis	34
1.5. Justificación	35
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	<b>97</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>110</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>120</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Momento respecto al punto 1 del vehículo T2S3 .....	41
<b>Tabla 2</b> Momento máximo provocado por el vehículo T2S3 para luces de 25 a 50 metros.....	45
<b>Tabla 3</b> Momento respecto al punto 1 del vehículo T3S2 .....	46
<b>Tabla 4</b> Momento máximo provocado por el vehículo T3S2 para luces de 25 a 50 metros.....	50
<b>Tabla 5</b> Momento respecto al punto 1 del vehículo C2R3.....	51
<b>Tabla 6</b> Momento máximo provocado por el vehículo C2R3 para luces de 25 a 50 metros .....	55
<b>Tabla 7</b> Momento respecto al punto 1 del vehículo C3R2.....	56
<b>Tabla 8</b> Momento máximo provocado por el vehículo C3R2 para luces de 25 a 50 metros .....	60
<b>Tabla 9</b> Momento respecto al punto 1 del vehículo T3S3 .....	61
<b>Tabla 10</b> Momento máximo provocado por el vehículo T3S3 para luces de 25 a 50 metros .....	64
<b>Tabla 11</b> Momento máximo provocado por el vehículo T2S3 para luces de 25 a 50 metros .....	65
<b>Tabla 12</b> Momento máximo provocado por el vehículo T3S2 para luces de 25 a 50 metros .....	66
<b>Tabla 13</b> Momento máximo provocado por el vehículo C2R3 para luces de 25 a 50 metros .....	67
<b>Tabla 14</b> Momento máximo provocado por el vehículo C3R2 para luces de 25 a 50 metros .....	68
<b>Tabla 15</b> Momento máximo provocado por el vehículo T3S3 para luces de 25 a 50 metros.....	69
<b>Tabla 16</b> Reacción máxima provocado por el vehículo T2S3 para luces de 25 a 50 metros.....	73
<b>Tabla 17</b> Reacción máxima provocado por el vehículo T3S2 para luces de 25 a 50 metros.....	76
<b>Tabla 18</b> Reacción máxima provocado por el vehículo C2R3 para luces de 25 a 50 metros .....	78
<b>Tabla 19</b> Reacción máxima provocado por el vehículo C3R2 para luces de 25 a 50 metros .....	81
<b>Tabla 20</b> Reacción máxima provocado por el vehículo T3S3 para luces de 25 a 50 metros.....	83
<b>Tabla 21</b> Reacción máxima provocado por el vehículo T2S3 para luces de 25 a 50 metros.....	84
<b>Tabla 22</b> Reacción máxima provocado por el vehículo T3S2 para luces de 25 a 50 metros.....	85
<b>Tabla 23</b> Reacción máxima provocado por el vehículo C2R3 para luces de 25 a 50 metros .....	86
<b>Tabla 24</b> Reacción máxima provocado por el vehículo C3R2 para luces de 25 a 50 metros .....	87
<b>Tabla 25</b> Reacción máxima provocado por el vehículo T3S3 para luces de 25 a 50 metros.....	88
<b>Tabla 26</b> Momento respecto al punto 1 del vehículo HL-93.....	90
<b>Tabla 27</b> Momento máximo provocado por el vehículo HL-93 para luces de 25 a 50 metros .....	92

<b>Tabla 28</b> Momento máximo provocado por el vehículo HL-93 para luces de 25 a 50 metros .....	93
<b>Tabla 29</b> Reacción máxima provocado por el vehículo HL-93 para luces de 25 a 50 metros .....	95
<b>Tabla 30</b> Reacción máxima provocado por el vehículo HL-93 para luces de 25 a 50 metros .....	95
<b>Tabla 31</b> Momento máximo provocado por el vehículo T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 .....	97
<b>Tabla 32</b> Reacción Máxima provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 .....	101
<b>Tabla 33</b> Momento Máximo provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 y HL-93 .....	104
<b>Tabla 34</b> Reacción Máxima provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 y HL-93	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Φιγυρα 1</b> Χομπααραχι Γν δε χαργα πιπα .....	15
<b>Φιγυρα 2</b> ΛΡΦΔ– Λοαδ ανδ Ρεσιςτανχε Φαχτορ Δεσιγν .....	16
<b>Φιγυρα 3</b> Τρ(μιτε παρα χιρχυλαχι Γν δε πεη΄ χυλοσ δε ηαστα 48 τονελαδασ.....	18
<b>Φιγυρα 4</b> Χαργα ΗΛ–93 .....	19
<b>Φιγυρα 5</b> Χαργα Τ2Σ3 .....	20
<b>Φιγυρα 6</b> Χαργα Τ3Σ2 .....	20
<b>Φιγυρα 7</b> Χαργα Χ2Ρ3.....	21
<b>Φιγυρα 8</b> Χαργα Χ3Ρ2.....	21
<b>Φιγυρα 9</b> Χαργα Τ3Σ3 .....	22
<b>Φιγυρα 10</b> Εςτρυχτυρα δε Χαργα Τιπιχα δε Πυεντε .....	23
<b>Φιγυρα 11</b> Χαργα δε Χαρριλ.....	23
<b>Φιγυρα 12</b> Ινχρεμεντο δε λα χαργα πιπα πορ εφεχτοσ διν(μιχοσ.....	24
<b>Φιγυρα 13</b> Μομεντο φλεχτορ δε υνα πιγα.....	25
<b>Φιγυρα 14</b> Λ΄ νεα δε ινφλυενχια δε μομεντο εν πυντο Ε .....	26
<b>Φιγυρα 15</b> Εςθυεμα δε Προχεδιμιεντο 1 .....	39
<b>Φιγυρα 16</b> Χαμι Γν δε διςε)ο (Τ2Σ3).....	41
<b>Φιγυρα 17</b> Διςτανχια εντρε λα ρεςυλταντε ψ λα χαργα μ(ς πρ Γ΄ιμα δελ πεη΄ χυλο Τ2Σ3 .....	42
<b>Φιγυρα 18</b> Λ΄ νεα δε ινφλυενχια δε μομεντοσ δελ πεη΄ χυλο Τ2Σ3 παρα λυζ δε 25 μετροσ .....	42
<b>Φιγυρα 19</b> Λ΄ νεα δε ινφλυενχια δε μομεντοσ δελ πεη΄ χυλο Τ2Σ3 παρα λυζ δε 26 μετροσ .....	44
<b>Φιγυρα 20</b> ζεη΄ χυλο Τ3Σ2 χον ςυς χαργα ς ψ διςτανχια εντρε εφες.....	46
<b>Φιγυρα 21</b> Διςτανχια εντρε λα ρεςυλταντε ψ λα χαργα μ(ς πρ Γ΄ιμα δελ πεη΄ χυλο Τ3Σ2 .....	47
<b>Φιγυρα 22</b> Λ΄ νεα δε ινφλυενχια δε μομεντοσ δελ πεη΄ χυλο Τ3Σ2 παρα λυζ δε 25 μετροσ .....	47
<b>Φιγυρα 23</b> Λ΄ νεα δε ινφλυενχια δε μομεντοσ δελ πεη΄ χυλο Τ3Σ2 παρα λυζ δε 26 μετροσ .....	49
<b>Φιγυρα 24</b> ζεη΄ χυλο Χ2Ρ3 χον ςυς χαργα ς ψ διςτανχια εντρε εφες.....	51

<b>Φιγυρα 25</b>	Διστανχια εντρε λα ρεσυλταντε ψ λα χαργα μ(σ πρ ίξιμα δελ πεηί χυλο X2P3 .....	52
<b>Φιγυρα 26</b>	Λί νεα δε ινφλυενχια δε μομεντοσ δελ πεηί χυλο X2P3 παρα λυζ δε 25 μετροσ .....	52
<b>Φιγυρα 27</b>	Λί νεα δε ινφλυενχια δε μομεντοσ δελ πεηί χυλο X2P3 παρα λυζ δε 26 μετροσ .....	54
<b>Φιγυρα 28</b>	ζεηί χυλο X3P2 χον συσ χαργασ ψ διστανχια εντρε εφεσ.....	56
<b>Φιγυρα 29</b>	Διστανχια εντρε λα ρεσυλταντε ψ λα χαργα μ(σ πρ ίξιμα δελ πεηί χυλο X3P2 .....	57
<b>Φιγυρα 30</b>	Λί νεα δε ινφλυενχια δε μομεντοσ δελ πεηί χυλο X3P2 παρα λυζ δε 25 μετροσ .....	57
<b>Φιγυρα 31</b>	Λί νεα δε ινφλυενχια μομεντοσ δελ πεηί χυλο X3P2 παρα λυζ δε 25 μετροσ.....	59
<b>Φιγυρα 32</b>	Διστανχια εντρε λα ρεσυλταντε ψ λα χαργα μ(σ πρ ίξιμα δελ πεηί χυλο T3Σ3 .....	61
<b>Φιγυρα 33</b>	Διστανχια εντρε λα ρεσυλταντε ψ λα χαργα μ(σ πρ ίξιμα δελ πεηί χυλο T3Σ3 .....	62
<b>Φιγυρα 34</b>	Λί νεα δε ινφλυενχια μομεντοσ δελ πεηί χυλο T3Σ3 παρα λυζ δε 25 μετροσ .....	62
<b>Φιγυρα 35</b>	Εσθυεμα δε προχεδιμιεντο 2.....	70
<b>Φιγυρα 36</b>	ζεηί χυλο T2Σ3 χον συσ χαργασ ψ διστανχια εντρε εφεσ.....	72
<b>Φιγυρα 37</b>	Ρεαχχι ίν μ(ξιμα εν ελ πυντο Α υσανδο ελ πεηί χυλο T2Σ3 χον λυζ δε 25 μ .....	72
<b>Φιγυρα 38</b>	ζεηί χυλο T3Σ2 χον συσ χαργασ ψ διστανχια εντρε εφεσ.....	74
<b>Φιγυρα 39</b>	Ρεαχχι ίν μ(ξιμα εν ελ πυντο Α υσανδο ελ πεηί χυλο T3Σ2 χον λυζ δε 25 μ .....	75
<b>Φιγυρα 40</b>	ζεηί χυλο X2P3 χον συσ χαργασ ψ διστανχια εντρε εφεσ.....	77
<b>Φιγυρα 41</b>	Ρεαχχι ίν μ(ξιμα εν ελ πυντο Α υσανδο ελ πεηί χυλο X2P3 χον λυζ δε 25 μ .....	77
<b>Φιγυρα 42</b>	ζεηί χυλο X3P2 χον συσ χαργασ ψ διστανχια εντρε εφεσ.....	79
<b>Φιγυρα 43</b>	Ρεαχχι ίν μ(ξιμα εν ελ πυντο Α υσανδο ελ πεηί χυλο X3P2 χον λυζ δε 25 μ .....	80
<b>Φιγυρα 44</b>	ζεηί χυλο T3Σ3 χον συσ χαργασ ψ διστανχια εντρε εφεσ.....	82
<b>Φιγυρα 45</b>	Ρεαχχι ίν μ(ξιμα εν ελ πυντο Α υσανδο ελ πεηί χυλο T3Σ3 χον λυζ δε 25 μ .....	82
<b>Φιγυρα 46</b>	Χαμι ίν δε δισε)ο (ΗΛ-93).....	89
<b>Φιγυρα 47</b>	Διστανχια εντρε λα ρεσυλταντε ψ λα χαργα μ(σ πρ ίξιμα δελ πεηί χυλο ΗΛ-93 ..	90
<b>Φιγυρα 48</b>	Λί νεα δε ινφλυενχια δε μομεντοσ δελ πεηί χυλο ΗΛ-93 παρα λυζ δε 25 μετροσ ...	91
<b>Φιγυρα 49</b>	Ρεαχχι ίν μ(ξιμα εν ελ πυντο Α υσανδο ελ πεηί χυλο ΗΛ-93 χον λυζ δε 25 μ .....	94
<b>Φιγυρα 50</b>	Μομεντο Μ(ξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηί χυλοσ (Λυζ προμεδιο 29μ) .....	98
<b>Φιγυρα 51</b>	Μομεντο Μ(ξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηί χυλοσ (Λυζ προμεδιο 38μ) .....	99
<b>Φιγυρα 52</b>	Μομεντο Μ(ξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηί χυλοσ (Λυζ προμεδιο 47μ) .....	99

<b>Φιγυρα 53</b> Εσταδίστιχα πορ χολυμνασ δε λοσ μομεντοσ μξιμοσ δε λοσ πεηήχυλοσ μξσ πεσαδοσ .....	100
<b>Φιγυρα 54</b> Ρεαχχι Γν Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 29μ) .....	102
<b>Φιγυρα 55</b> Ρεαχχι Γν Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 38μ) .....	102
<b>Φιγυρα 56</b> Ρεαχχι Γν Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 47μ) .....	103
<b>Φιγυρα 57</b> Μομεντο Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 29μ) .....	105
<b>Φιγυρα 58</b> Μομεντο Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 38μ) .....	105
<b>Φιγυρα 59</b> Μομεντο Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 47μ) .....	106
<b>Φιγυρα 60</b> Ρεαχχι Γν Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 29μ) .....	108
<b>Φιγυρα 61</b> Ρεαχχι Γν Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 38μ) .....	108
<b>Φιγυρα 62</b> Ρεαχχι Γν Μξιμα προποχαδο πορ λοσ πεηήχυλοσ (Λυζ προμεδιο δε 47μ) .....	109

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación(N°01)</b> .....	<b>40</b>
<b>Ecuación(N°02)</b> .....	<b>40</b>
<b>Ecuación(N°03)</b> .....	<b>41</b>
<b>Ecuación(N°04)</b> .....	<b>41</b>
<b>Ecuación(N°05)</b> .....	<b>71</b>
<b>Ecuación(N°06)</b> .....	<b>71</b>
<b>Ecuación(N°07)</b> .....	<b>71</b>
<b>Ecuación(N°08)</b> .....	<b>71</b>

## RESUMEN

En el Perú existen muchos puentes en mal estado, siendo una de sus causas la carga pesada vehicular. El diseño de puentes indica como vehículo el HL-93, el cual no refleja la realidad de la carga.

El objetivo es mejorar el momento y reacción máxima por sobrecarga incluido el impacto provocado por los vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas para puentes simplemente apoyados. La muestra son los puentes desde los 25 a 50 metros de longitud ubicados en el departamento de Lima.

El cálculo del momento y reacción máxima es uno de los factores principales para su diseño. Se propone cinco nuevos vehículos de diseño: T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3, esto permitirá un mejor diseño del área de losa y vigas, menor fisuras y grietas.

El procedimiento fue calcular la distancia más cercana entre la resultante y la carga más próxima, utilizando líneas de influencia, luego se calculó el momento dinámico junto con el producido por la carga de carril.

Resultando que el momento máximo está entre 370.96 T-m y 1011.55 T-m para una luz de 25 a 50 metros, usando el vehículo más pesado el T3S3, la reacción máxima entre 65.73 T y 84.12 T.

**PALABRAS CLAVES:** Cargas vivas, diseño de puente, vehículos pesados, tablero de puente

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

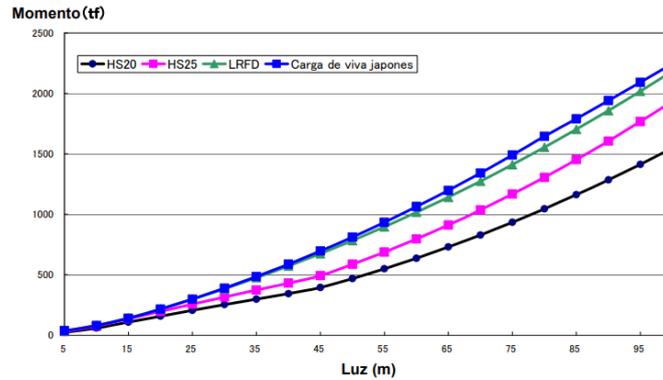
### 1.1. Realidad problemática

En el mundo entero el diseño de puentes según la Dirección General de Construcción (DGC) aplica las Normas AASHTO LRFD (American Association of State Highway Transportation Officials–Diseño de factor carga y resistencia), tanto para el diseño de puentes y pavimentos; es muy importante para la economía de todo país; ya que permite interconectar ciudades para el transporte de alimentos, materia prima, máquinas y herramientas, todo puente cuenta con una superestructura (tablero, estructura portante y elementos secundarios) y una subestructura (estribos, pilares y vigas de cimentación). Existen varios tipos de puentes con variedad de criterios, inherentes a su composición. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda de Guatemala (2009) afirma:

Para puentes con longitudes menores a 25 metros, la fuerza seccional de la carga viva HL-93 es casi similar a la fuerza seccional de la carga viva HS25; además para puentes mayores a 25 m, no existe mucha variación entre la carga viva HS25 y la HL-93, estas cargas se aplican particularmente en el diseño de puentes, por ejemplo, en el Puente Lanquín, ubicado en el tramo Lanquín – Cahabón de Japón. (Cap. 8 p.5)

## Figura 1

*Χομπαραχι /ν δε χαργα πιπια*



*Nota:* Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda de Guatemala

Por ello se requiere realizar la comparación de materiales requeridos en puentes con longitudes mayores de 25 metros conteniendo cálculos con la carga viva de diseño HS25 y HL93.

En América; se emplea la carga de diseño de estructuras viales específicamente EE. UU, donde se aplica el código AASHTO. La carga viva vehicular HL-93, es una combinación de tres diferentes tipos de cargas, Diseño de Camión, Tándem y de carril de carga, Ochoa (2008) afirma: “El cambio más significativo que introdujo la norma AASHTO (1996) en el cálculo de estructuras de puentes es la utilización del método LRFD: Load and Resistance Factor Design”. (Delgado, 2016, p.191)

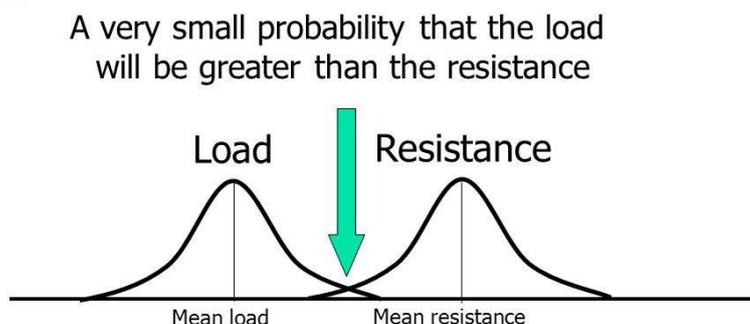
“A un método de estados límites últimos, que considera factores para cada carga y para cada resistencia nominal”. (Delgado, 2016, p.191).

Por lo cual se denota que estos factores corresponden a la capacidad de deformarse si romperse, e interés de la estructura puesto que esta norma se estableció

una nueva forma de combinar el modelo de carga vehicular, debido a que se instaura 3 tipos de cargas vivas vehiculares.

## Φιγούρα 2

*ΛΡΦΔ- Λοαδ ανδ Ρεσιςτανχη Φαχτορ Δεσιγν*



*Fuente: Emantic Scholar*

En el Perú existe una gran preocupación por el mal estado de muchos de sus puentes ya que soportan grandes esfuerzos debido a la carga vehicular y esto genera un malestar para los ciudadanos, a pesar de que es normal que se presenten algunas fallas en la superficie; ya sea por el uso o factores climáticos, pero cuando la cantidad de fallas tiene un número importante estas suelen afectar a la calidad del producto; ya que no están preparadas para cargas mayores, pues no existe diseños de puentes para soportar dicha carga, es indudable que, para mejorar la condición de la super estructura de un puente, éste debe estar en constante mantenimiento, pero no es posible hacerlo sin haber determinado antes el estado real en que se encuentra y sin una certeza sobre el tratamiento adecuado a utilizar, el Perú mantiene una importante brecha de infraestructura de transporte, así como una baja calidad de la infraestructura vial en comparación con los países más desarrollados.

Uno de los problemas más evidenciados en los puentes del Perú, es que no están preparados para recibir sobrecargas excesivas, ya que no están acondicionados en su

diseño; esto hace que al pasar cargas mayores aparezcan fisuras o aparezcan grietas en la superficie de la carpeta asfáltica (González, 2019)

“Por ello con el paso del tiempo los puentes presentan deterioro, a consecuencia del tránsito vehicular, es por ello se deben ejecutar actividades de conservación de la vía que se oriente a mantener y retrasar el deterioro del pavimento y alargar su vida útil”

En Lima, cada año aumenta la población, comercio, industria; por ende, nuestros puentes son nexos de comunicación con otras provincias; siendo el rubro de construcción una de las principales, por ello la importancia del traslado de maquinarias y equipos pesado como por ejemplo para ensamblaje; por lo cual se necesita de un vehículo de carga pesada que pueda transportar dichos pesos sin ningún problema.

“Los puentes deben ser los principales modos de acceso para llegar rápidamente a nuestros destinos y que permitan reducir la congestión vehicular y para esto deben ser diseñados de la manera más eficiente” (Guillén, 2018, p.17). Según nuestro Reglamento Nacional de Vehículos existen variedad de vehículos de carga pesada que van desde los 18 a 48 toneladas, es por esta razón que los puentes de Lima deben ser diseñados con el vehículo más pesado.

### Φιγυρα 3

*Τρέμιτε παρα χιρχυλαχι ίν δε πεη'χυλοσ δε ηαστα 48 τονελαδας*



*Fuente: MTC-19 de Julio del 2020*

La causa proviene de la consideración de la sobrecarga vehicular para el diseño de puentes; ya que un factor importante para su diseño es el momento y reacción máxima que esta provoca de acuerdo con la longitud del tramo simple del puente; si bien existe cargas muertas que son considerada en el diseño, el vehículo de diseño es un factor muy importante.

Todos los diseños de puentes en el Perú lo realizan bajo un modelo idealizado de vehículo “En aspectos tales como las sobrecargas de camiones se mantienen las ideas básicas de las especificaciones AASHTO. La sobrecarga especificada en este Manual corresponde a la denominada AASHTO HL-93” (MTC, 2016, p.52), su carga es de aproximadamente 33.2 toneladas, pero en la actualidad existen vehículos de carga pesada de hasta 48 toneladas.

A consecuencia se obtendrá un diseño de área de acero sub-dimensionado, con fisuras en el puente debido al exceso de sobrecarga vehicular. Los diámetros y

espaciamiento de acero de la viga longitudinal, transversal, los diámetros de estribos no serán los adecuados.

Lo que se propone es que la norma peruana sea más flexible, y admita tener cargas vivas diferentes al HL-93, con la finalidad de obtener momentos y reacciones máximas reales y así poder realizar el diseño de la superestructura con más precisión.

## 1.2. Bases teóricas

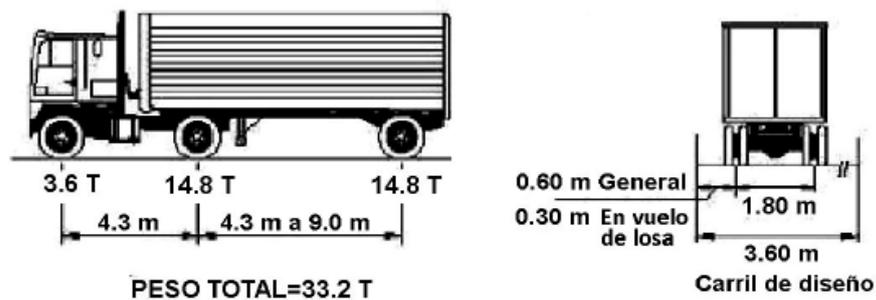
### Vehículos de carga pesada

#### Vehículo HL-93

Vehículo idealizado por la última actualización de la norma AASHTO, siendo su ancho de 3,6 m, con una separación entre ejes de 1,8 m, siendo su peso total de 33.2 Toneladas, tal como se muestra la figura.

#### Figura 4

##### Χαρρα ΗΛ-93



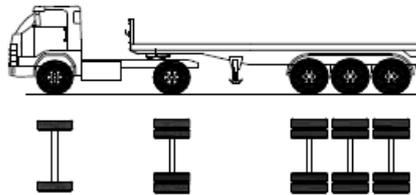
*Nota:* Normas americanas AASHTO LRFD-2014 para el vehículo HL-93

### Vehículo T2S3

Vehículo con una longitud máxima de 20.50 m, con un peso en el eje delantero de 7 toneladas y un conjunto de ejes posteriores de 36 toneladas, siendo un total de peso bruto de 43 toneladas.

#### Φιγυρα 5

*Χαργα T2S3*



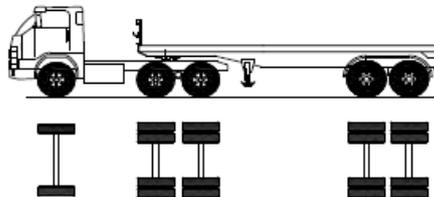
*Nota:* Vehículo T2S3

### Vehículo T3S2

Vehículo con una longitud máxima de 20.50 m, con un peso en el eje delantero de 7 toneladas y un conjunto de ejes posteriores de 36 toneladas, siendo un total de peso bruto de 43 toneladas.

#### Φιγυρα 6

*Χαργα T3S2*



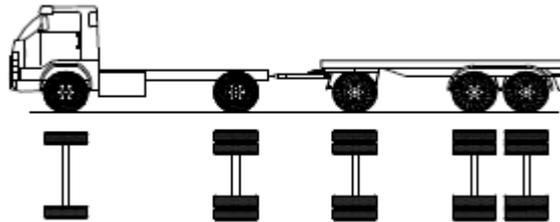
*Nota:* Vehículo T3S2

### Vehículo C2R3

Vehículo con una longitud máxima de 23.00 m, con un peso en el eje delantero de 7 toneladas y un conjunto de ejes posteriores de 40 toneladas, siendo un total de peso bruto de 47 toneladas.

#### Φιγούρα 7

*Χαργα Χ2Ρ3*



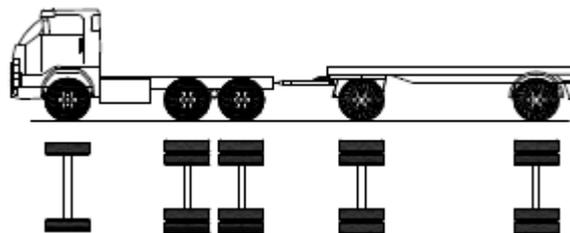
*Nota:* Vehículo C2R3

### Vehículo C3R2

Vehículo con una longitud máxima de 23.00 m, con un peso en el eje delantero de 7 toneladas y un conjunto de ejes posteriores de 40 toneladas, siendo un total de peso bruto de 47 toneladas.

#### Φιγούρα 8

*Χαργα Χ3Ρ2*



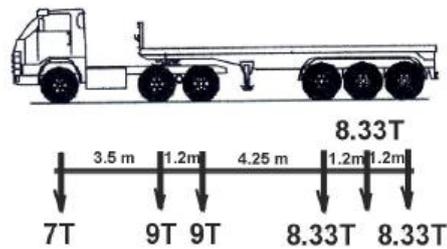
*Nota:* Vehículo C3R2

## Vehículo T3S3

Vehículo de carga pesada compuesta 6 ejes siendo un peso total de 50 toneladas, tal cual se muestra en la figura.

### Figura 9

*Χαρτα Τ3Σ3*



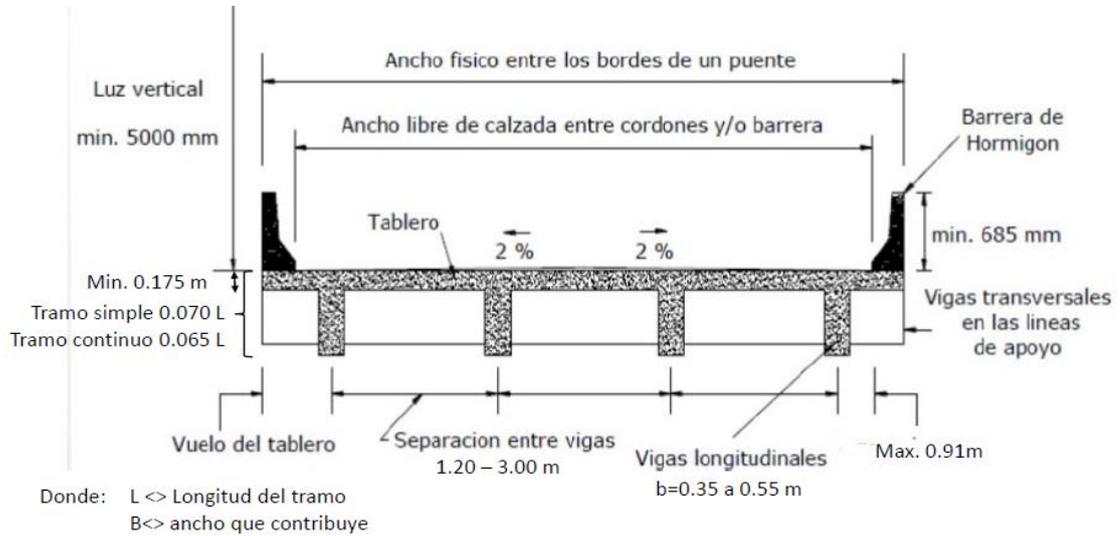
*Nota:* Vehículo T3S3

## Puente simplemente apoyado

Es una estructura que permite el paso de vehículos, personas sobre otra vía, río, quebrada o cualquier obstáculo. Está apoyado sobre sus estribos y algunos con pilares para que le den una mejor estabilidad es necesario que entre el pilar y la superestructura exista una junta sísmica, sus partes son la superestructura que está formado por la losa y elementos portantes como las vigas, arcos o cables ya sea rectos o curvos y la subestructura que está formada por los estribos, pilares y cimentación; cuya función es transmitir las cargas a las cimentaciones y por último aparatos de apoyo.

## Figura 10

Εστρωχτυρα δε Χαργα Τύπιχα δε Πνευτε



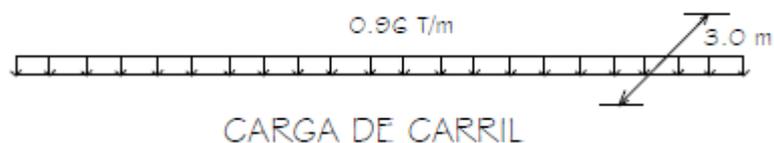
Fuente: Artículo 2.4.3.3.1 del manual de puentes del MTC-3.6.2.2 AASHTO

## Carga de carril en el puente

Es aquella carga distribuida correspondiente a los vehículos livianos (autos, combis, motos, transporte público) que puedan circular a la vez con el camión de diseño en el puente simplemente apoyado, según la norma AASHTO considera una carga distribuida de 0.96 T/m con un ancho de 3.0 metros.

## Figura 11

Χαργα δε Χαρριλ



Fuente: Normas americanas AASHTO LRFD-2014

## Incremento o impacto por carga viva IM en el puente

Por efectos del movimiento ya sea de frenado, aceleración y si el puente es curvo las fuerzas centrífugas del vehículo en diseño es necesario incrementar la carga viva, siendo para estados límites de un 33%.

### Figura 12

*Incremento de la carga viva por efecto dinámico*

Componente	Porcentaje (IM)
Elementos de unión en el tablero (para todos los estados límite)	75%
Para otros elementos	
• Estados límite de fatiga y fractura	15%
• Otros estados límite	33%

*Fuente:* Artículo 2.4.3.3.1 del manual de puentes del MTC-3.6.2.2 AASHTO

## Cargas vehiculares sobre el puente

En la investigación y diseño de puentes, a parte de las cargas fijas, peso propio, existen cargas de tipo móvil, como los vehículos que transitan sobre los puentes.

### Sobrecarga vehicular

Código de diseño americano (AASHTO, 2007) define:

El peso de la carga móvil aplicada, correspondiente al peso de los vehículos tanto pesados como livianos.

### Camión de diseño del puente

Nos muestra los ejes y distancias delantero y trasero, y así obtener el mayor esfuerzo de cálculo, “Generalmente el centro de ruedas de camión debe ser al menos de 2’ (600 mm) desde el borde de un carril de diseño y 1’ (300 mm) de la proyección de la cubierta”. (AASHTO Puente Especificaciones de Diseño C1 3.6.1.0)

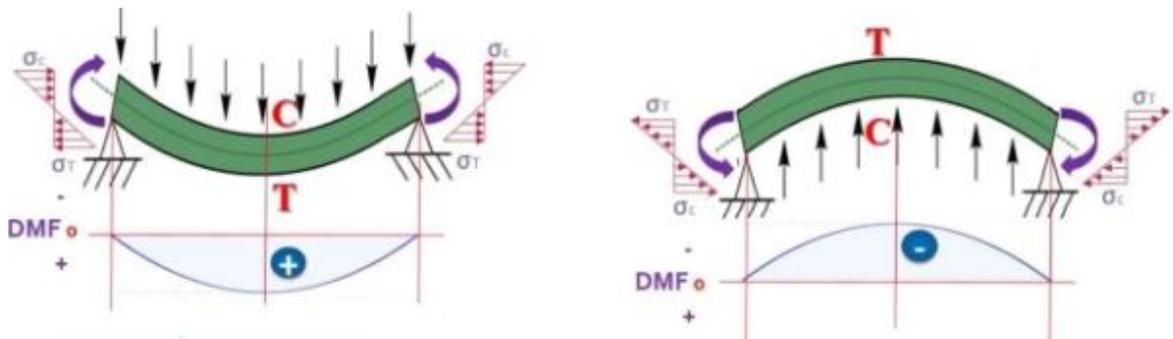
## Momento y Reacción máxima

### Momento flector

En una viga origina una flexión pudiendo ser positiva cuando la concavidad es hacia arriba y negativa cuando la concavidad es hacia abajo, cuando es cóncava hacia arriba las fibras inferiores van a estar sometidas a esfuerzos de tracción y las superiores a compresión y cuando es cóncava hacia abajo será al revés.

#### Figura 13

*Μομεντο φλεχτορ δε υνα πιγα*

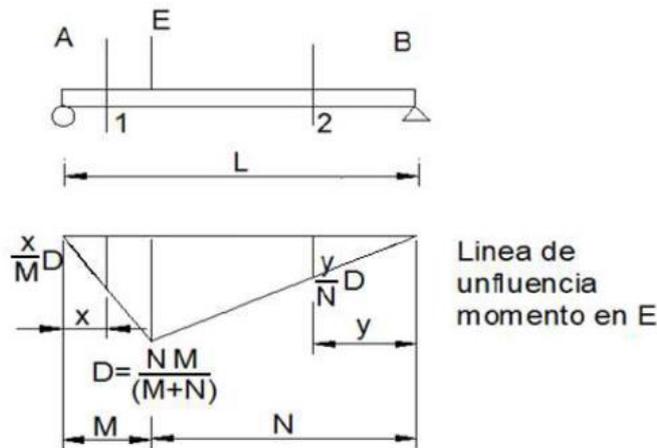


### Líneas de influencia

Para obtener los esfuerzos máximos en una ubicación crítica del puente, es por ello por lo que con las líneas de influencia se obtendrá el momento y reacción máxima generada por el vehículo de diseño.

### Figura 14

*Línea de influencia de momento en punto E*



*Fuente: Manual de diseño de puentes-MTC*

### Máximo momento de flexión de una viga simplemente apoyada

Según el Teorema de Barre indica:

“Cuando hay más de una carga sobre un elemento simplemente apoyado, el momento máximo se produce casi siempre bajo la carga más próxima a la resultante y al centro de luz, de tal manera que el centro de luz es equidistante de la resultante y de la carga más cercana a esta resultante. En caso de igualdad de distancias, se ubica bajo la carga más pesada”.

### Reacción máxima una viga simplemente apoyada

La reacción máxima se obtiene al colocar el vehículo de diseño en uno de los extremos de la viga, teniendo en cuenta de que la posición del vehículo debe estar donde tenga la mayor carga posible en el extremo de la viga.

## **Términos básicos**

### **AASHTO LRFD**

American Association of State Highway Transportation Officials–Diseño de factor carga y Resistencia.

### **Manual de puentes**

Aprobado por Resolución Ministerial 589-2003-MTC/02 del 31 de julio de 2003, basado fundamentalmente en el Reglamento Americano AASHTO y su propuesta LRFD (Load and Resistance factor design) “Diseño por Factores de Carga y Resistencia”, elaborada en 1993.

### **Superestructura**

Es parte del puente que está en contacto con los vehículos, está conformado por las vigas longitudinales, transversales, losa, carpeta asfáltica, juntas de dilatación, etc.

### **Carril**

Es el ancho de la calzada destinado a la circulación de una sola fila de vehículos, siendo de 3.60 m

### **Modelado o simulación de diseño puentes**

Se va a manipular la variable independiente se utilizará un software para obtener resultados.

## ANTECEDENTES

### Internacionales

En los trabajos previos que se ha investigado en relación con esta tesis, como primer antecedente a nivel nacional, tenemos:

Salazar (2010) en su investigación, *“Diseño y simulación de un puente metálico tubular de un carril, para vehículos hasta 50 Ton, longitud de 15 m y ancho de 8 m”*, para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, cuya investigación fue no experimental y cuantitativa descriptiva, con el objetivo de analizar todas las fuerzas que actúan sobre dicho puente, diseñar un puente con las características mencionadas en el título, luego utilizar SAP 2000 para comprobar los resultados y finalmente construir. Modelo; Resultó que el momento máximo de la viga HEB 100 es de 1,1 t-m para la carga móvil tipo T3S3, un puente con dos columnas de hormigón, soportes de neopreno, tubo metálico de 70° y el resto de los perfiles en I. La tubería secundaria de 12 pulgadas cédula 80 es de 3,3 toneladas y la tubería principal de 12 pulgadas es de 8,46 toneladas.

Fernández y Condebat (2017) realizó un estudio titulado, *“Obtención de un modelo de cargas vivas a partir de acciones reales de vehículos sobre puente del río Mayarí, Holguín”*, para un artículo de investigación de la Universidad Oscar Lucero Moya- Holguín de Cuba, cuyo tipo de investigación fue no experimental, descriptiva cuantitativa; una de las razones del colapso del puente es la sobrecarga de vehículos, Cuba tiene el código AASHTO 2005 importado MS-32 y NK-80 en uso, pero los vehículos mencionados no son lo que se ve en el tráfico, el objetivo es obtener un modelo de carga vertical móvil que represente los efectos del movimiento en las vías de la provincia de Holguín; Resultó que los vehículos mencionados generan las solicitudes

necesarias de camionetas, mientras que el vehículo VH-16 acorde a los vehículos que circulan por la vía Holguín-Moa..

García, M. y Hernández, A. (2017) en su revista científica, "*Diseño y evaluación de trabes de concreto presforzado para puentes carreteros*", para optar el grado académico de Ingeniero Civil de la Universidad de Guanajuato de México, cuyo tipo de investigación fue no experimental y descriptiva cuantitativa, cuyo objetivos fueron, tener dos modelos para un puente de 17 metros de largo y 10.30 metros de ancho, para el primer modelo de 7 vigas AASHTO tipo III y el otro tipo IV; se concluyó que los momentos máximo por línea de influencia para el vehículo T3S2R4 tipo II es de 127.08 ton-m, para el T3S3 tipo II es de 110.74 ton-m y el HS-20 de 100.89 ton-m, para momentos máximos envolventes con análisis 3D, para la viga tipo III en el derecho es de 31.39 ton-m e izquierdo de 31.381 ton-m, para la viga tipo IV el derecho de 38.823 ton-m e izquierdo de 38.823 ton-m.

Pinto, A. y Torres, R. (2015) en su artículo científica, "*Incidencia de la norma AASHTO LRFD bridge design specifications en el análisis y diseño de tableros de puentes de concreto reforzado*", para optar el grado académico de Ingeniero Civil de la Universidad de los Andes de Venezuela, cuyo tipo de investigación fue no experimental y descriptiva cuantitativa, cuyo objetivos es realizar un análisis comparativo de la norma AASHTO estándar y la norma LRFD bridge design specifications para tableros de concreto armado de luz de 10, 18 y 30 m con un ancho de 10.40 m de 4 vigas, se concluyó que usando el vehículo HS20 para la estándar y HL-93 para LRFD (nueva norma), para una luz de 10 m y separación de vigas de 2.80 m se tiene un 18.07 % de incidencia de la nueva norma con respecto al área de acero máximo, para una luz de 18

m y separación de vigas de 2.80 m se tiene un 12.92 % y para una luz de 30 m y separación de vigas de 2.90 m se tiene un 9.03 %

Montes, H. (2017) en su investigación, *“Evaluación del factor de seguridad en las pilas de puentes vehiculares de concreto reforzado sujeto a sismo y carga viva”*, para optar el grado académico de Ingeniero Civil de la Universidad Autónoma del estado de México, cuyo tipo de investigación fue no experimental y descriptiva cuantitativa, cuyos objetivos es crear un modelo numérico de la interacción de cargas, analizar el estado actual del puente, analizar la pila y mencionar el factor de seguridad y aplicar una metodología distinta, las cargas vehiculares fueron 2 una de 10.410 toneladas y el otro de 63.212 toneladas, todo ello fue aplicado al puente Toluca Palmillas. Se concluyó que la probabilidad de falla es del 0.0001, tiene un factor de seguridad usando un modelo de red Bayesiana de 1.209

## **Nacionales**

En los trabajos previos que se ha investigado en relación con esta tesis, como primer antecedente a nivel nacional, tenemos:

García (2021) realizaron un estudio titulado, *“Verificación de la superestructura del puente Riecito aplicando el manual de diseño de puentes del MTC edición 2016”*, para optar grado académico de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Piura , cuyo tipo de investigación fue no experimental y descriptiva cuantitativa, cuyo objetivos fueron, verificar el diseño estructural inicial de la superestructura del Puente Riecito, Proponer un adecuado cálculo estructural y definir si la superestructura requiere o no una intervención o un reforzamiento para continuar su funcionamiento; se concluyó se verifico que el momento máximo para un tramo 10.50 m y en posición crítica de 3.35 m y 5.15 m hay 3.64 T-m usando el vehículo HL-93, para voladizo del tablero de 4.2 T-

m de 1.64 m también se obtuvieron estribos de ½” cada 0.125m, 0.15m, 0.20m, 0.25m y 0.30m la malla inferior de la losa superior de 5/8” en el voladizo 2 de ½” +3/8” a cada 15 cm.

Martínez (2015). En su tema de investigación titulada *“Impacto del control de pesos de vehículos pesados sobre la estructura de los pavimentos”* Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Publicado por la Universidad Ricardo Palma, Lima Perú. Para profundizar en el hecho de que la sobrecarga vehicular tiene un efecto sobre el período de pavimentación, se estableció que los ejes en cuestión son las cargas viales reales y legales y la vigilancia que se debe realizar para mantener nuestras vías en buen estado. Cuya metodología consistió en la situación del tránsito en las principales carreteras del país. Se concluye que se ha logrado una sobrecarga para cada vehículo para averiguar cómo se desarrollan estos efectos a lo largo del tiempo. Según los factores determinados por los pesos máximos permisibles, no son específicos de los vehículos que transitan por esta vía, pues transitan distintos tipos de vehículos.

Duarte, Ángelo (2018). En su tesis titulada *“Análisis de la gestión de tránsito para la mitigación del congestionamiento en la Avenida circulación el Golf en el tramo comprendido por las avenidas Javier prado Este y la fontana”*. Trabajo de investigación para optar el grado de bachiller. Publicado por la Universidad San Ignacio de Loyola, Lima – Perú. El objetivo es realizar un estudio de tráfico en la Avenida Circulación el Golf en el tramo comprendido entre las calles Javier Prado Este y La Fontana. La metodología continuó con el conteo manual de vehículos, se realizó un conteo de 3 días, el cual se realizó durante 3 horas por la mañana y lo mismo por la tarde, la vía está limitada a 750 m entre Avenida Javier Prado de Avenida Circuito El golf Este y La Fontana. La conclusión es que hasta 2027 todas las intersecciones de la vía tendrán un

nivel de servicio F, la congestión vehicular prevista durante los 10 años de vida útil de la vía será cinco veces mayor que la actual, teniendo en cuenta el cambio de 2022, las intersecciones de esta vía de tránsito tendrán un tránsito crítico, que es el de Javier Prado, que será de nivel de servicio F que fue un ciclo muy forzado.

Ortiz y Reinoso (2020) en su estudio titulado, *“Impacto socioeconómico derivado del cierre vehicular por los daños en el puente Corpac de Tingo María, Huánuco en febrero de 2020”*, para una revista internacional de Ingeniería y Estructuras, cuyo tipo fue un estudio descriptivo no experimental y cuantitativo encaminado a describir los daños ocasionados por exceder la carga máxima admisible y la falta de mantenimiento. Se notó que el puente tenía daños tales como deslizamiento en el ala inferior de la viga del riel izquierdo y grietas en las soldaduras entre algunas de las placas de acero y la viga, lo que provocó inspecciones de manejo de carga en curso, atención profesional y vías alternativas para la población.

Altamirano (2018) realizó un estudio titulado, *“Análisis y diseño del puente vehicular sobre el río Yuracyacu, en el sector monterrey, distrito de nueva Cajamarca, provincia de rioja, departamento de San Martín”*, para el grado académico de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de San Martín de Tarapoto, cuyo tipo de investigación fue no experimental y descriptiva cuantitativa, cuyo objetivo analizar el diseño de la estructura del puente para ello se analizó el comportamiento de los elementos estructurales también el diseño de acero y concreto de la sección compuesta. Se concluyó que el momento máximo por sobre carga vehicular HL-93 en la viga interior es de 403.67 T-m a una distancia de 23.50 m y la fuerza cortante de 54.03 T en el extremo del puente de 47 m de luz, dando una losa de espesor de 20 cm, 4 vigas metálicas, 7 vigas diafragma, vereda de 1.25 m.

### 1.3. Formulación del problema

#### Problema General

- ✓ ¿De qué manera se puede mejorar el momento y reacción máxima por sobrecarga incluido el impacto provocado por los vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022?

#### Problemas Específicos

- ✓ ¿Es posible mejorar el momento máximo por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022?
- ✓ ¿Es posible mejorar la reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022?
- ✓ ¿Es posible comparar los resultados del momento máximo y reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 con el vehículo HL-93 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022?

### 1.4. Objetivos

#### Objetivo General

- ✓ Determinar el análisis de mejora del momento y reacción máxima por sobrecarga incluido el impacto provocado por los vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.

## Objetivos específicos

- ✓ Determinar el momento máximo por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.
- ✓ Determinar la reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.
- ✓ Analizar los resultados de comparación del momento máximo y reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 con el vehículo HL-93 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.

## 1.5. Hipótesis

### Hipótesis General

- ✓ Los vehículos más pesados de 40 a 48 toneladas influyen significativamente en el momento y reacción máxima por sobrecarga incluido el impacto, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.

### Hipótesis específicas

- ✓ El impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 influye positivamente en el momento máximo, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.
- ✓ El impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 influye positivamente en la reacción máxima, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.

- ✓ Los resultados de comparación del momento máximo y reacción máxima por sobrecarga, incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 con el vehículo HL-93 influye positivamente para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.

## 1.6. Justificación

### Justificación Teórica

La investigación propuesta busca aportar nuevos valores de vehículos de diseño al ya utilizado en la norma de diseño de puentes, obtener su momento flector, fuerza cortante, carga de carril, líneas de influencia, encontrar el momento y reacción máxima, con diferente tonelaje y luces de puentes simplemente apoyados y sobre todo compararlas con el vehículo de diseño idealizado HL-93.

### Justificación Práctica

De acuerdo con el objetivo general de la presente investigación, los nuevos valores de vehículo, permite dar diferentes momentos y reacción máxima de acuerdo al vehículo más pesado que transitará en el puente simplemente apoyado entre luces de 25 a 50 metros, con ello se tendrá un dato más real y preciso para el diseño de la superestructura; ya que la carga vehicular es un factor muy importante para el diseño de las vigas longitudinales y por ende el área de acero, esto permitirá optimizar recursos, y sobre todo evitar fisuras y grietas por sub dimensionamiento.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### Diseño de investigación

#### Tipo, Nivel y enfoque de investigación

El tipo de investigación es **por modelado**; ya que se va a manipular los pesos, longitudes, distancia entre ejes de los diferentes vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas y se utilizó el Excel como software.

Esta investigación es del nivel transversal tipo **descriptivo**; ya que se busca recolectar datos y especificar las características y perfiles de los vehículos más pesados que tiene el reglamento nacional de vehículos, siendo el tipo de configuración que tiene, longitud, pesos y longitudes de los ejes delanteros y conjuntos de ejes posteriores y del peso máximo, como también las diferentes luces de los puentes simplemente apoyados desde los 25 a 50 metros, así como describir el proceso de cálculo del momento y reacción máxima provocado por las diferentes luces de los puentes.

El enfoque de la investigación es **cuantitativo**; ya que se va a formular una hipótesis para pronosticar un hecho, en nuestro estudio demostró que el análisis de mejora influye significativamente en el momento y reacción máxima por sobrecarga incluido el impacto provocado por los vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, para ello se realizó la comparación de los resultados con un vehículo HL-93.

- Variable independiente (X): Vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas.
- Variable dependiente (Y): Momento y reacción máxima por sobrecarga, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud.

## **Población y muestra**

### **Población**

Según Arias (2010) define:

La población es un conjunto finito o infinito de elementos, personas o instituciones que son motivo de investigación y tienen características comunes. La cual queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio.

Considerando que en nuestro trabajo de investigación nos centramos en el departamento de Lima, nuestra **población** se delimitó con los puentes simplemente apoyados, la cual es un factor importante de la infraestructura vial en nuestra capital.

### **Muestra**

Según Hernández (2014) define:

La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectan datos y que tiene que definirse o determinarse de ante mano con precisión.

La **muestra** que se empleó para la investigación está conformada por los puentes simplemente apoyados desde los 25 a 50 metros de longitud, ya que si la luz es mayor de 50 metros se necesitaría de un tipo de estructura de puente o un material de concreto pretensado o postensado.

## **Técnicas e instrumentos de recolección**

### **Técnicas**

Abril (2008) define:

Las técnicas constituyen el conjunto de mecanismos, medios o recursos dirigidos a recolectar, conservar, analizar y transmitir los datos de los fenómenos sobre los cuales se investiga. Por consiguiente, las técnicas son procedimientos o recursos fundamentales de recolección de información, de los que se vale el investigador para acercarse a los hechos y acceder a su conocimiento.

Por lo tanto, la técnica que aplicaremos será: Observación directa, fórmulas indicadas en las normas vigentes del MTC, uso de hojas de cálculo y modelado, ordenar los datos obtenidos mediante tablas y gráficas, revisión bibliográfica similar al objetivo de investigación.

### **Instrumentos**

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, (2010) señalan que un instrumento de medición es el recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente.

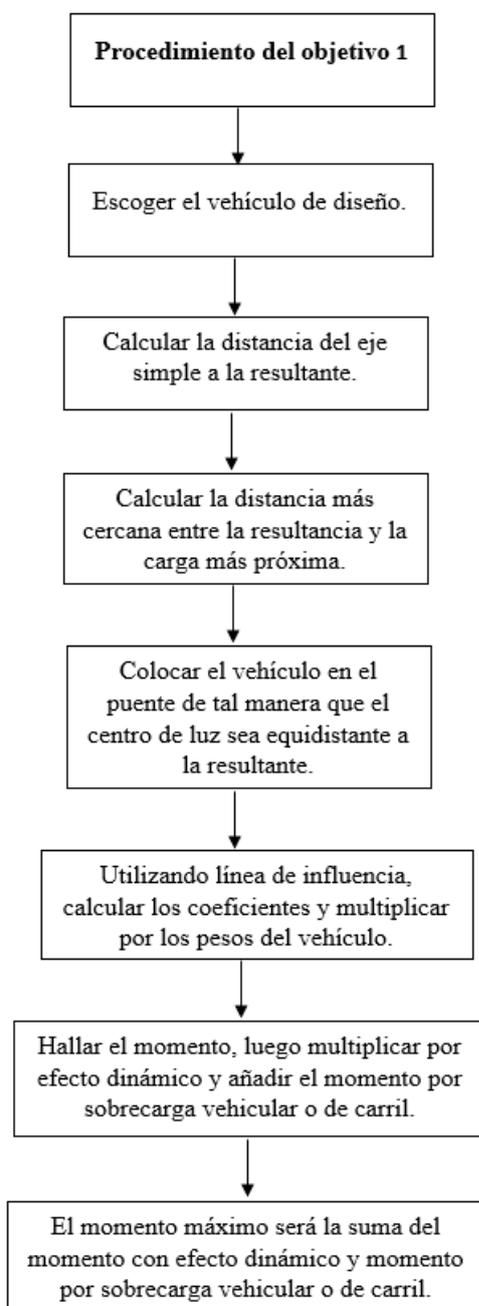
Algunos de los instrumentos para recabar información es la recolección de datos, Excel, fórmulas indicadas en las normas vigentes del reglamento del manual de puentes del MTC, software de análisis e interpretación de resultados.

## PROCEDIMIENTOS

**Procedimiento para determinar el momento máximo por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.**

**Figura 15**

*Esquema de Procedimiento 1*



## Definiciones técnicas

- Momento máximo

Según el Teorema de Barre indica:

“Cuando hay más de una carga sobre un elemento simplemente apoyado, el momento máximo se produce casi siempre bajo la carga más próxima a la resultante y al centro de luz, de tal manera que el centro de luz es equidistante de la resultante y de la carga más cercana a esta resultante. En caso de igualdad de distancias, se ubica bajo la carga más pesada”.

- Vehículos de carga pesada

Según el reglamento nacional de vehículos los clasifica de acuerdo con su configuración vehicular, N° de ejes, descripción gráfica de los vehículos, longitud máxima, peso en el eje delantero, peso de los ejes posteriores y peso bruto máximo.

## Consideraciones para el momento máximo según el manual de puentes del MTC y AASTHO

- Distancia del extremo del vehículo a la reacción resultante.

$$x(m) = \frac{\text{suma de momento con respecto a un punto}}{\text{peso total}} \dots \dots \dots \text{Ecuación(N°01)}$$

- Distancia de la resultante a la carga más cercana a ella

$e(m)$  y la mitad  $e(m)/2$

- Línea de influencia para hallar el momento máximo.

- Luego se multiplica por el efecto dinámico (1.33) quedando el momento de carga

viva con el impacto  $M_{LL+IM} = M_{LL} * 1.33 \dots \dots \dots \text{Ecuación(N°02)}$

- Se agrega el momento por sobrecarga vehicular.

$$M_{\text{carril}} (T - m) = \frac{0.96 \cdot \text{longitud}^2}{8} \dots\dots\dots \text{Ecuación (N°03)}$$

- El momento máximo será el momento de carga viva+ impacto +carga de carril.

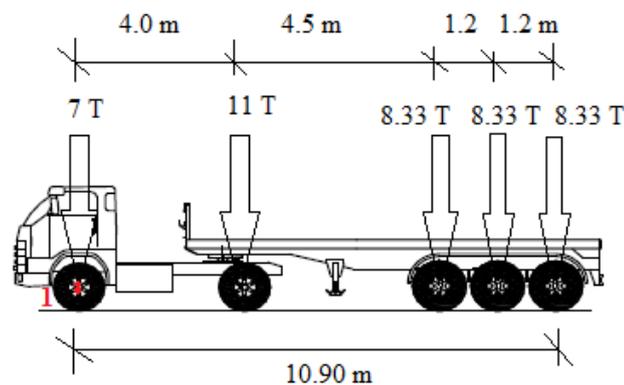
$$\text{Momento máximo} = M_{LL+IM+carga\ de\ carril} \dots\dots\dots \text{Ecuación (N°04)}$$

**Software utilizado**

- Hojas de cálculo (Excel)
- a) Camión de diseño (T2S3)
- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 16**

*Camión de diseño (T2S3)*



Fuente: Reglamento nacional de vehículos-2018

**Tabla 1**

Momento respecto al punto 1 del vehículo T2S3

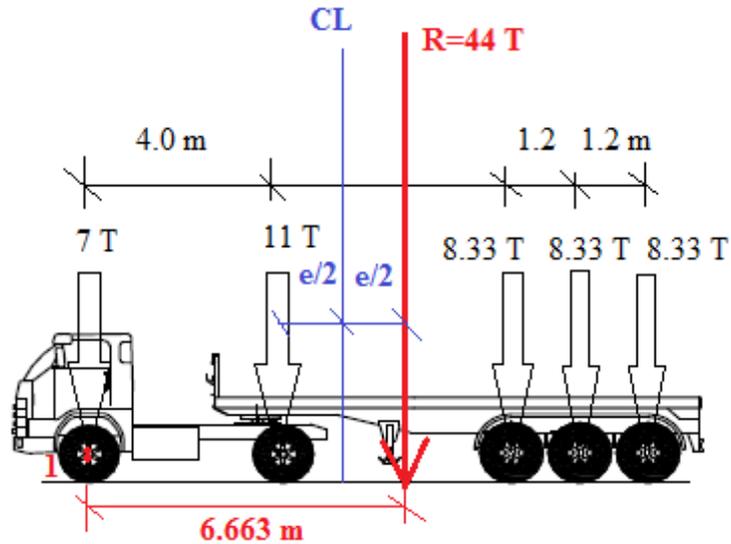
<b>i</b>	<b>Pi (T)</b>	<b>Di (m)</b>	<b>Mi (T-m)</b>
1	7	0	0
2	11	4	44
3	8.33	8.5	70.83
4	8.33	9.7	80.83
5	8.33	10.9	90.83
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>10.9</b>	<b>286.50</b>

Nota: Autoría Propia

$$x(m) = \frac{286.50 T - m}{43 T} = 6.663 m$$

**Figura 17**

*Distancia entre la resultante y la carga más próxima del vehículo T2S3*



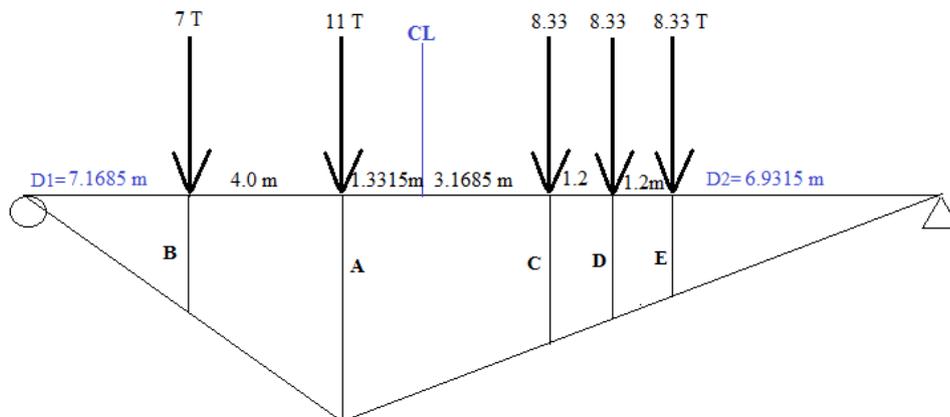
$$e(m) = 6.663 m - 4.0 m = 2.663 m$$

$$e/2(m) = 2.663/2 = 1.3315 m$$

Fuente: Autoría Propia

**Figura 18**

*Línea de influencia de momentos del vehículo T2S3 para luz de 25 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{11.1685 \cdot 13.8315}{25} = 6.179$$

$$B = \frac{7.1685 \cdot 6.179}{11.1685} = 3.966$$

$$C = \frac{(1.2+1.2+6.9315) \cdot 6.179}{13.8315} = 4.1687$$

$$D = \frac{(1.2+6.9315) \cdot 6.179}{13.8315} = 3.6326$$

$$E = \frac{6.9315 \cdot 6.179}{13.8315} = 3.0965$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 11 toneladas.

$$\text{Momento} = 3.966 \cdot 7 + 6.179 \cdot 11 + 4.1687 \cdot 8.33 + 3.6326 \cdot 8.33 + 3.0965 \cdot 8.33$$

$$\text{Momento} = 186.546 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 186.546 \cdot 1.33 = 248.106 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 25^2}{8} = 75 \text{ T-m}$$

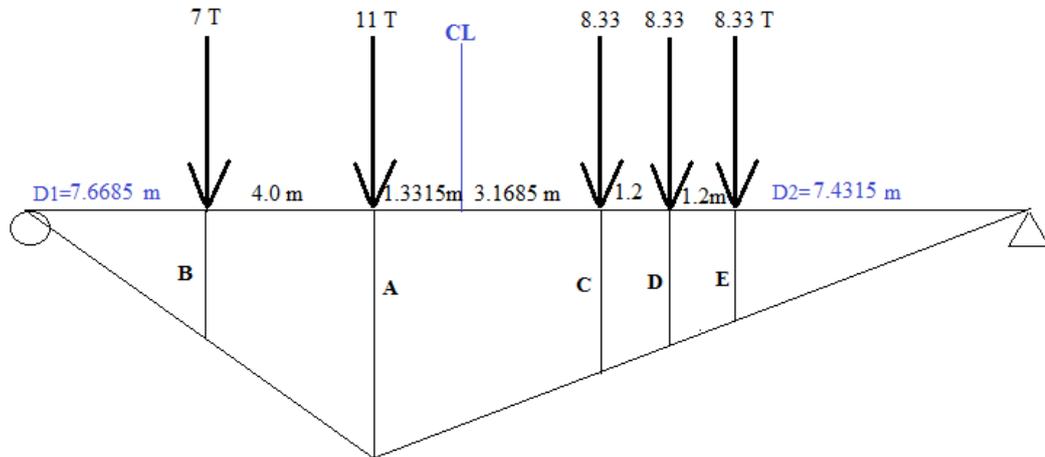
Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{\text{LL+IM+carril}} = 248.106 + 75 = 323.106 \text{ T-m}$$

- Para una longitud de puente de 26 metros

**Figura 19**

*Línea de influencia de momentos del vehículo T2S3 para luz de 26 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{11.6685 \cdot 14.3315}{26} = 6.432$$

$$B = \frac{7.6685 \cdot 6.432}{11.6685} = 4.227$$

$$C = \frac{(1.2 + 1.2 + 7.4315) \cdot 6.432}{14.3315} = 4.4124$$

$$D = \frac{(1.2 + 7.4315) \cdot 6.432}{14.3315} = 3.8738$$

$$E = \frac{7.4315 \cdot 6.432}{14.3315} = 3.3353$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 11 toneladas.

$$\text{Momento} = 4.227 \cdot 7 + 6.432 \cdot 11 + 4.4124 \cdot 8.33 + 3.8738 \cdot 8.33 + 3.3353 \cdot 8.33$$

$$\text{Momento} = 197.187 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 197.187 \cdot 1.33 = 262.259 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 26^2}{8} = 81.12 \text{ T} - \text{m}$$

Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{\text{LL+IM+carril}} = 262.259 + 81.12 = 343.379 \text{ T-m}$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 2**

*Momento máximo provocado por el vehículo T2S3 para luces de 25 a 50 metros*

<b>L (m)</b>	<b>d1 (m)</b>	<b>d2 (m)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>M (T-m)</b>	<b>M LL+IM (T-m)</b>	<b>M carril (T-m)</b>	<b>M LL+IM+carril</b>
25	7.1685	6.9315	6.179	3.966	4.1687	3.6326	3.0965	186.546	248.106	75	<b>323.106</b>
26	7.6685	7.4315	6.432	4.227	4.4124	3.8738	3.3353	197.187	262.259	81.12	<b>343.379</b>
27	8.1685	7.9315	6.684	4.487	4.656	4.1152	3.5744	207.813	276.391	87.48	<b>363.871</b>
28	8.6685	8.4315	6.937	4.747	4.9009	4.3579	3.815	218.484	290.584	94.08	<b>384.664</b>
29	9.1685	8.9315	7.189	5.005	5.1456	4.6007	4.0557	229.131	304.744	100.92	<b>405.664</b>
30	9.6685	9.4315	7.441	5.263	5.3907	4.844	4.2972	239.791	318.922	108	<b>426.922</b>
31	10.1685	9.9315	7.693	5.521	5.6362	5.0878	4.5393	250.464	333.117	115.32	<b>448.437</b>
32	10.6685	10.4315	7.945	5.778	5.8821	5.332	4.7819	261.141	347.318	122.88	<b>470.198</b>
33	11.1685	10.9315	8.196	6.035	6.1276	5.5761	5.0245	271.803	361.498	130.68	<b>492.178</b>
34	11.6685	11.4315	8.448	6.291	6.3742	5.8212	5.2682	282.495	375.718	138.72	<b>514.438</b>
35	12.1685	11.9315	8.699	6.547	6.6203	6.0659	5.5116	293.166	389.911	147	<b>536.911</b>
36	12.6685	12.4315	8.951	6.803	6.8674	6.3117	5.7561	303.875	404.154	155.52	<b>559.674</b>
37	13.1685	12.9315	9.202	7.058	7.114	6.5571	6.0003	314.556	418.359	164.28	<b>582.639</b>
38	13.6685	13.4315	9.453	7.313	7.3608	6.8028	6.2449	325.245	432.576	173.28	<b>605.856</b>
39	14.1685	13.9315	9.705	7.568	7.6085	7.0495	6.4904	335.968	446.837	182.52	<b>629.357</b>
40	14.6685	14.4315	9.956	7.823	7.8557	7.2957	6.7356	346.669	461.07	192	<b>653.07</b>
41	15.1685	14.9315	10.207	8.077	8.1031	7.542	6.981	357.367	475.298	201.72	<b>677.018</b>
42	15.6685	15.4315	10.458	8.331	8.3506	7.7886	7.2267	368.071	489.534	211.68	<b>701.214</b>
43	16.1685	15.9315	10.709	8.585	8.5983	8.0354	7.4726	378.78	503.777	221.88	<b>725.657</b>
44	16.6685	16.4315	10.96	8.839	8.8461	8.2824	7.7187	389.493	518.026	232.32	<b>750.346</b>
45	17.1685	16.9315	11.211	9.093	9.0941	8.5296	7.965	400.211	532.281	243	<b>775.281</b>
46	17.6685	17.4315	11.461	9.345	9.3413	8.7761	8.2109	410.889	546.482	253.92	<b>800.402</b>
47	18.1685	17.9315	11.712	9.599	9.5895	9.0235	8.4576	421.613	560.745	265.08	<b>825.825</b>
48	18.6685	18.4315	11.963	9.852	9.8378	9.2711	8.7044	432.335	575.006	276.48	<b>851.486</b>
49	19.1685	18.9315	12.214	10.105	10.0862	9.5188	8.9514	443.059	589.268	288.12	<b>877.388</b>
50	19.6685	19.4315	12.465	10.358	10.3348	9.7667	9.1986	453.789	603.539	300	<b>903.539</b>

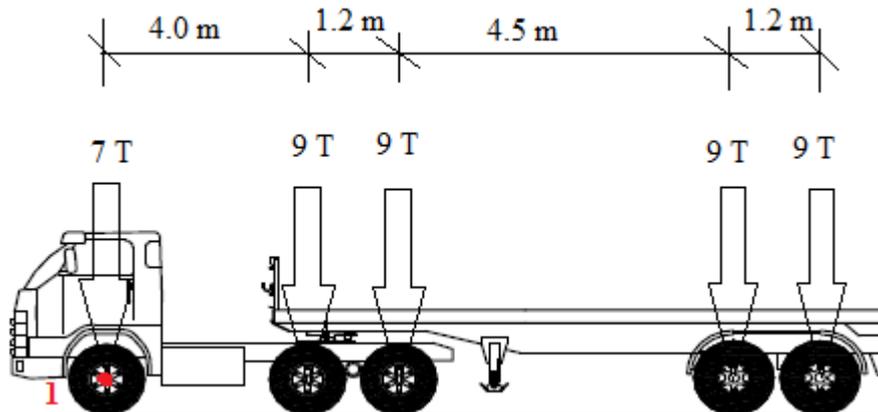
*Nota:* Autoría Propia

**b) Camión de diseño (T3S2)**

Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 20**

*Vehículo T3S2 con sus cargas y distancia entre ejes*



*Fuente: Reglamento nacional de vehículos-2018*

**Tabla 3**

*Momento respecto al punto 1 del vehículo T3S2*

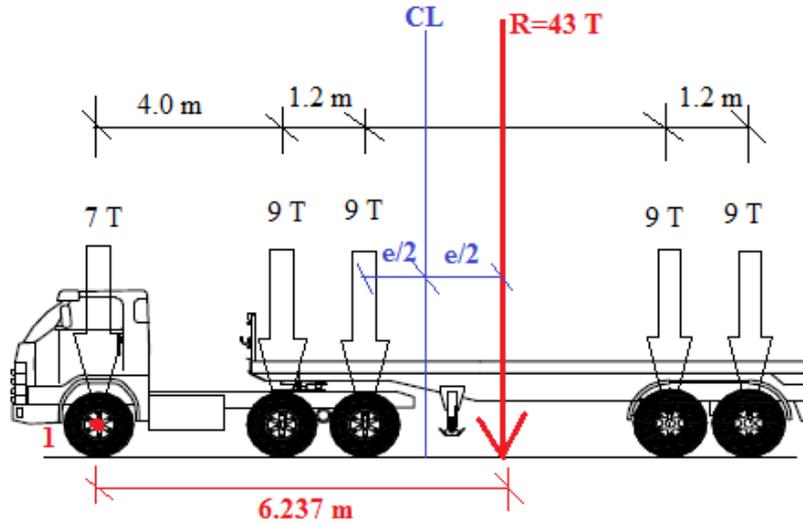
<b>i</b>	<b>Pi (T)</b>	<b>Di (m)</b>	<b>Mi (T-m)</b>
<b>1</b>	7	0	0
<b>2</b>	9	4	36
<b>3</b>	9	5.2	46.80
<b>4</b>	9	9.7	87.30
<b>5</b>	9	10.9	98.10
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>10.9</b>	<b>268.20</b>

*Nota: Autoría Propia*

$$x(m) = \frac{268.20 T-m}{43 T} = 6.237 m$$

**Figura 21**

*Distancia entre la resultante y la carga más próxima del vehículo T3S2*



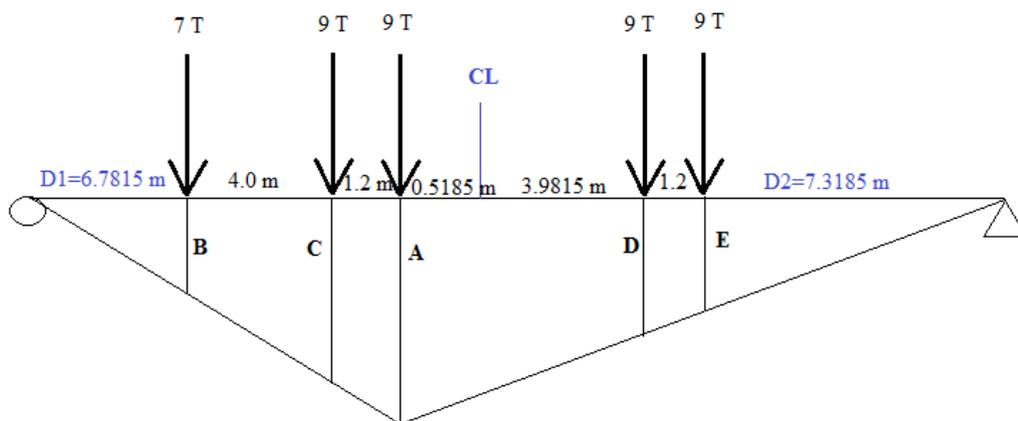
Fuente: Autoría Propia

$$e \text{ (m)} = 6.237 \text{ m} - 4.0 \text{ m} - 1.2 \text{ m} = 1.037 \text{ m}$$

$$e/2 \text{ (m)} = 1.037/2 = 0.5185 \text{ m}$$

**Figura 22**

*Línea de influencia de momentos del vehículo T3S2 para luz de 25 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{11.9815 \cdot 13.0185}{25} = 6.239$$

$$B = \frac{6.7815 \cdot 6.239}{11.9815} = 3.531$$

$$C = \frac{10.7815 \cdot 6.239}{11.9815} = 5.6141$$

$$D = \frac{8.5185 \cdot 6.239}{13.0185} = 4.0824$$

$$E = \frac{7.3185 \cdot 6.239}{13.0185} = 3.5073$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 9 toneladas.

$$\text{Momento} = 6.239 \cdot 9 + 3.531 \cdot 7 + 5.6141 \cdot 9 + 4.0824 \cdot 9 + 3.5073 \cdot 9$$

$$\text{Momento} = 199.702 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 199.702 \cdot 1.33 = 265.604 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 25^2}{8} = 75 \text{ T-m}$$

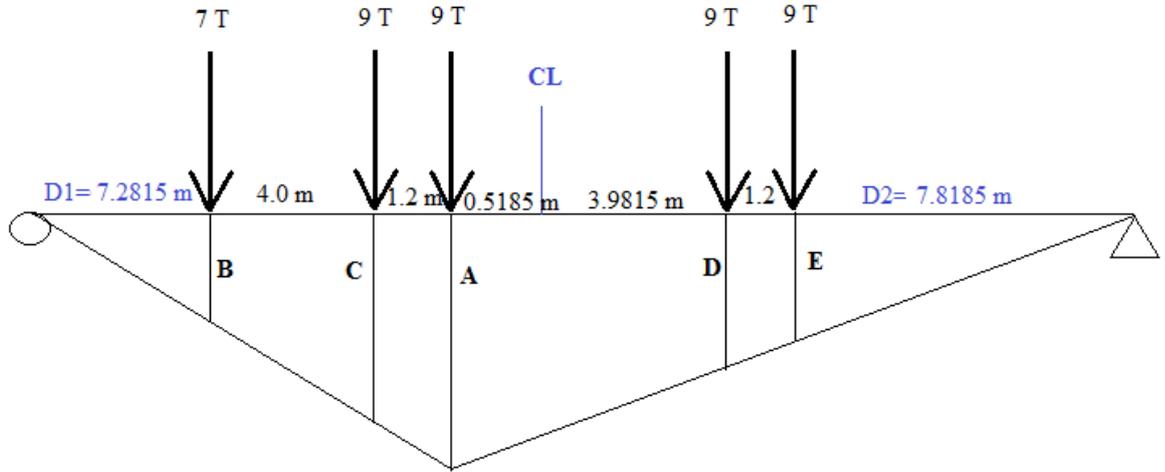
Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{\text{LL+IM+carril}} = 265.604 + 75 = 340.604 \text{ T-m}$$

- Para una longitud de puente de 26 metros

**Figura 23**

*Línea de influencia de momentos del vehículo T3S2 para luz de 26 metros*



*Fuente: Autoría Propia*

$$A = \frac{12.4815 \cdot 13.5185}{26} = 6.490$$

$$B = \frac{7.2815 \cdot 6.49}{12.4815} = 3.786$$

$$C = \frac{11.2815 \cdot 6.49}{12.4815} = 5.8660$$

$$D = \frac{9.0185 \cdot 6.49}{13.5185} = 4.3296$$

$$E = \frac{7.8185 \cdot 6.49}{13.5185} = 3.7535$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 9 toneladas.

$$\text{Momento} = 6.490 \cdot 9 + 3.786 \cdot 7 + 5.8660 \cdot 9 + 4.3296 \cdot 9 + 3.7535 \cdot 9$$

$$\text{Momento} = 210.454 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 210.454 \cdot 1.33 = 279.904 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 26^2}{8} = 81.12 T - m$$

Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{LL} + IM + \text{carril} = 279.904 + 81.12 = 361.024 T - m$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 4**

*Momento máximo provocado por el vehículo T3S2 para luces de 25 a 50 metros*

L (m)	d1 (m)	d2 (m)	A	B	C	D	E	M (T-m)	M LL+IM (T-m)	M carril (T-m)	M LL+IM+carril
25	6.7815	7.3185	6.239	3.531	5.6141	4.0824	3.5073	199.702	265.604	75	340.604
26	7.2815	7.8185	6.49	3.786	5.866	4.3296	3.7535	210.454	279.904	81.12	361.024
27	7.7815	8.3185	6.74	4.04	6.117	4.5764	3.9995	221.176	294.164	87.48	381.644
28	8.2815	8.8185	6.99	4.294	6.3678	4.8235	4.2457	231.901	308.428	94.08	402.508
29	8.7815	9.3185	7.241	4.548	6.6195	5.0714	4.4928	242.658	322.735	100.92	423.655
30	9.2815	9.8185	7.491	4.801	6.8703	5.3188	4.7395	253.383	336.999	108	444.999
31	9.7815	10.3185	7.741	5.054	7.121	5.5664	4.9865	264.112	351.269	115.32	466.589
32	10.2815	10.8185	7.992	5.308	7.3725	5.8148	5.2342	274.878	365.588	122.88	488.468
33	10.7815	11.3185	8.242	5.56	7.6231	6.0627	5.4815	285.604	379.853	130.68	510.533
34	11.2815	11.8185	8.492	5.813	7.8737	6.3106	5.729	296.339	394.131	138.72	532.851
35	11.7815	12.3185	8.742	6.065	8.1242	6.5587	5.9765	307.068	408.4	147	555.4
36	12.2815	12.8185	8.993	6.318	8.3757	6.8077	6.225	317.839	422.726	155.52	578.246
37	12.7815	13.3185	9.243	6.57	8.6262	7.056	6.4728	328.572	437.001	164.28	601.281
38	13.2815	13.8185	9.493	6.822	8.8766	7.3044	6.7208	339.307	451.278	173.28	624.558
39	13.7815	14.3185	9.743	7.074	9.1271	7.5529	6.9688	350.044	465.559	182.52	648.079
40	14.2815	14.8185	9.993	7.326	9.3775	7.8014	7.217	360.782	479.84	192	671.84
41	14.7815	15.3185	10.243	7.577	9.6279	8.05	7.4652	371.514	494.114	201.72	695.834
42	15.2815	15.8185	10.494	7.83	9.8792	8.2995	7.7143	382.293	508.45	211.68	720.13
43	15.7815	16.3185	10.744	8.081	10.1295	8.5482	7.9627	393.027	522.726	221.88	744.606
44	16.2815	16.8185	10.994	8.333	10.3799	8.797	8.2111	403.769	537.013	232.32	769.333
45	16.7815	17.3185	11.244	8.584	10.6302	9.0459	8.4597	414.506	551.293	243	794.293
46	17.2815	17.8185	11.494	8.835	10.8805	9.2948	8.7083	425.243	565.573	253.92	819.493
47	17.7815	18.3185	11.744	9.087	11.1308	9.5437	8.9569	435.988	579.864	265.08	844.944
48	18.2815	18.8185	11.994	9.338	11.3811	9.7927	9.2057	446.728	594.148	276.48	870.628
49	18.7815	19.3185	12.245	9.59	11.6323	10.0425	9.4552	457.505	608.482	288.12	896.602
50	19.2815	19.8185	12.495	9.841	11.8825	10.2916	9.704	468.245	622.766	300	922.766

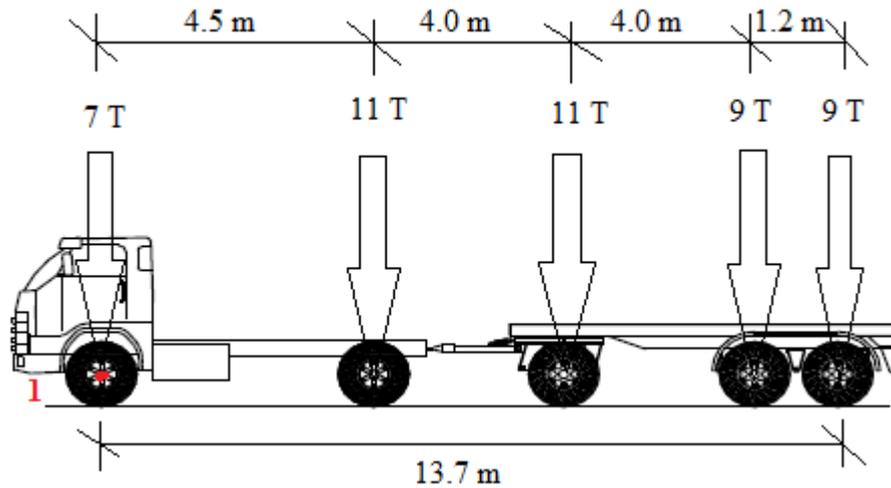
Nota: Autoría Propia

c) Camión de diseño (C2R3)

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 24**

*Vehículo C2R3 con sus cargas y distancia entre ejes*



Fuente: Reglamento nacional de vehículos-2018

**Tabla 5**

*Momento respecto al punto 1 del vehículo C2R3*

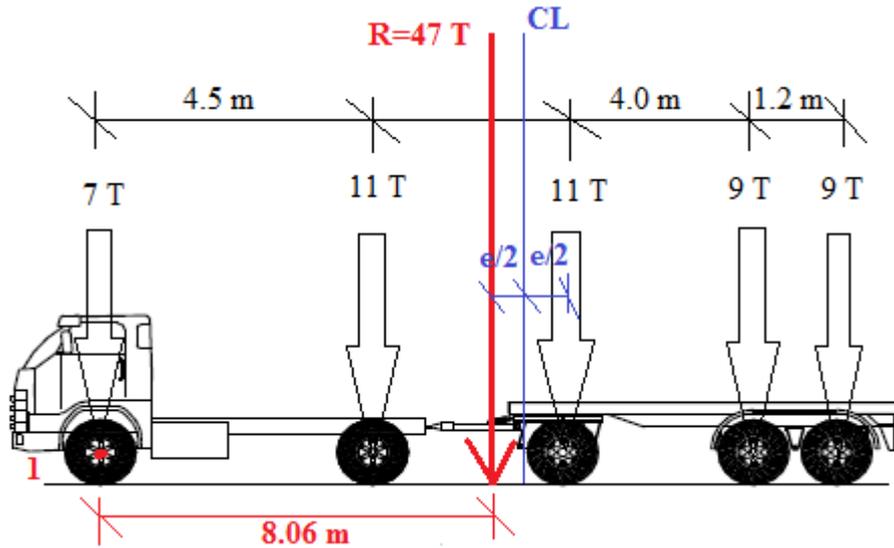
<b>i</b>	<b>Pi (T)</b>	<b>Di (m)</b>	<b>Mi (T-m)</b>
<b>1</b>	7	0	0
<b>2</b>	11	4.5	49.5
<b>3</b>	11	8.5	93.50
<b>4</b>	9	12.5	112.50
<b>5</b>	9	13.7	123.30
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>13.7</b>	<b>378.80</b>

Nota: Autoría Propia

$$x(m) = \frac{378.80 \text{ T-m}}{47 \text{ T}} = 8.060 \text{ m}$$

**Figura 25**

*Distancia entre la resultante y la carga más próxima del vehículo C2R3*



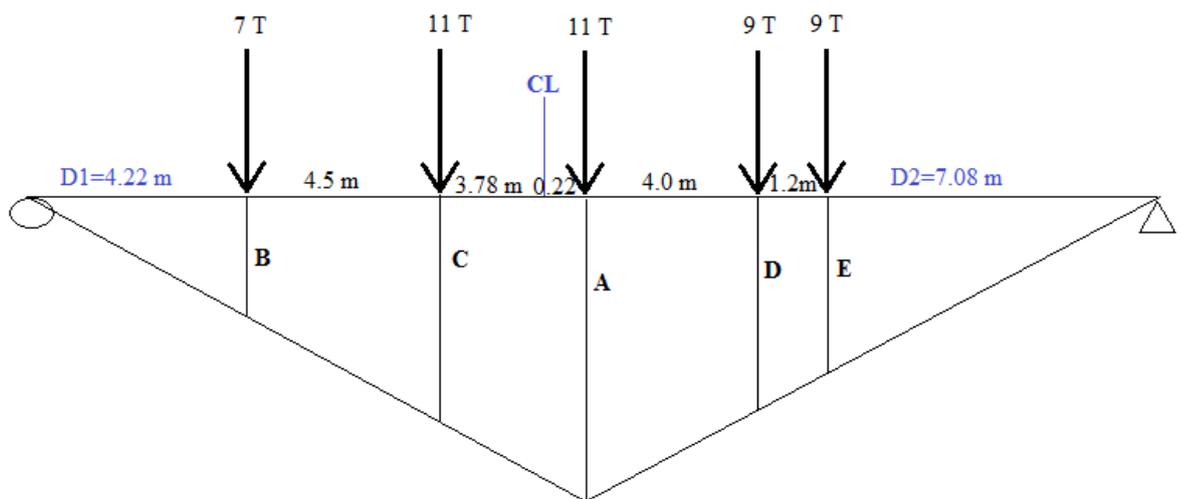
Fuente: Autoría Propia

$$e \text{ (m)} = 8.5 \text{ m} - 8.06 \text{ m} = 0.44 \text{ m}$$

$$e/2 \text{ (m)} = 0.44/2 = 0.22 \text{ m}$$

**Figura 26**

*Línea de influencia de momentos del vehículo C2R3 para luz de 25 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{12.72 \cdot 12.28}{25} = 6.248$$

$$B = \frac{4.22 \cdot 6.248}{12.72} = 2.073$$

$$C = \frac{8.72 \cdot 6.248}{12.72} = 4.2832$$

$$D = \frac{8.28 \cdot 6.248}{12.28} = 4.2128$$

$$E = \frac{7.08 \cdot 6.248}{12.28} = 3.6023$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 11 toneladas.

$$\text{Momento} = 6.248 \cdot 11 + 2.073 \cdot 7 + 4.2832 \cdot 11 + 4.2128 \cdot 9 + 3.6023 \cdot 9$$

$$\text{Momento} = 200.690 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 186.546 \cdot 1.33 = 266.918 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 25^2}{8} = 75 \text{ T-m}$$

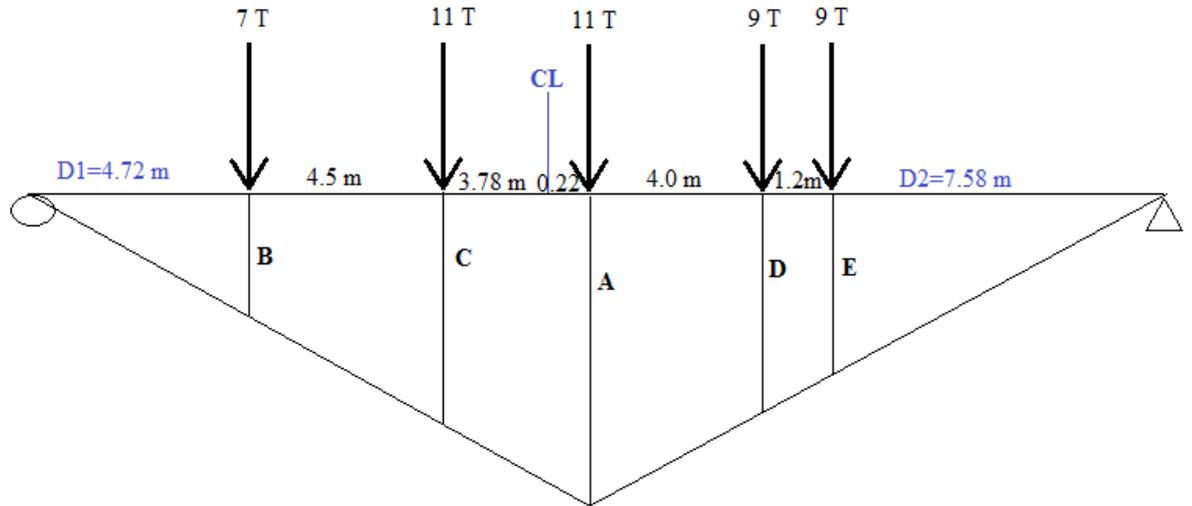
Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{\text{LL+IM+carril}} = 266.918 + 75 = 341.918 \text{ T-m}$$

- Para una longitud de puente de 26 metros

**Figura 27**

*Línea de influencia de momentos del vehículo C2R3 para luz de 26 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{13.22 \cdot 12.78}{26} = 6.498$$

$$B = \frac{4.72 \cdot 6.498}{13.22} = 2.320$$

$$C = \frac{9.22 \cdot 6.498}{13.22} = 4.5319$$

$$D = \frac{8.78 \cdot 6.498}{12.78} = 4.4642$$

$$E = \frac{7.58 \cdot 6.498}{12.78} = 3.8541$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 11 toneladas.

$$\text{Momento} = 6.498 \cdot 11 + 2.320 \cdot 7 + 4.5319 \cdot 11 + 4.4642 \cdot 9 + 3.8541 \cdot 9$$

$$\text{Momento} = 212.434 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 212.434 \cdot 1.33 = 282.537 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 26^2}{8} = 81.12 T - m$$

Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{LL} + IM + \text{carril} = 282.537 + 81.12 = 363.657 T - m$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 6**

*Momento máximo provocado por el vehículo C2R3 para luces de 25 a 50 metros*

L (m)	d1 (m)	d2 (m)	A	B	C	D	E	M (T-m)	M LL+IM (T-m)	M carril (T-m)	M LL+IM+carril
25	4.2200	7.0800	6.248	2.073	4.2832	4.2128	3.6023	200.69	266.918	75	<b>341.918</b>
26	4.7200	7.5800	6.498	2.32	4.5319	4.4642	3.8541	212.434	282.537	81.12	<b>363.657</b>
27	5.2200	8.0800	6.748	2.567	4.7807	4.7155	4.1057	224.176	298.154	87.48	<b>385.634</b>
28	5.7200	8.5800	6.998	2.815	5.0295	4.9667	4.3572	235.923	313.778	94.08	<b>407.858</b>
29	6.2200	9.0800	7.248	3.063	5.2784	5.2177	4.6087	247.669	329.4	100.92	<b>430.32</b>
30	6.7200	9.5800	7.498	3.311	5.5274	5.4688	4.86	259.416	345.023	108	<b>453.023</b>
31	7.2200	10.0800	7.748	3.559	5.7765	5.7197	5.1112	271.161	360.644	115.32	<b>475.964</b>
32	7.7200	10.5800	7.998	3.807	6.0256	5.9706	5.3624	282.906	376.265	122.88	<b>499.145</b>
33	8.2200	11.0800	8.249	4.055	6.2756	6.2222	5.6142	294.683	391.928	130.68	<b>522.608</b>
34	8.7200	11.5800	8.499	4.304	6.5248	6.473	5.8652	306.434	407.557	138.72	<b>546.277</b>
35	9.2200	12.0800	8.749	4.552	6.7741	6.7238	6.1162	318.178	423.177	147	<b>570.177</b>
36	9.7200	12.5800	8.999	4.801	7.0234	6.9745	6.3671	329.928	438.804	155.52	<b>594.324</b>
37	10.2200	13.0800	9.249	5.049	7.2727	7.2251	6.618	341.67	454.421	164.28	<b>618.701</b>
38	10.7200	13.5800	9.499	5.298	7.5221	7.4758	6.8688	353.42	470.049	173.28	<b>643.329</b>
39	11.2200	14.0800	9.749	5.547	7.7715	7.7264	7.1196	365.169	485.675	182.52	<b>668.195</b>
40	11.7200	14.5800	9.999	5.796	8.021	7.977	7.3703	376.918	501.301	192	<b>693.301</b>
41	12.2200	15.0800	10.249	6.045	8.2704	8.2275	7.6211	388.666	516.926	201.72	<b>718.646</b>
42	12.7200	15.5800	10.499	6.293	8.5199	8.478	7.8717	400.406	532.54	211.68	<b>744.22</b>
43	13.2200	16.0800	10.749	6.542	8.7694	8.7285	8.1224	412.155	548.166	221.88	<b>770.046</b>
44	13.7200	16.5800	10.999	6.791	9.019	8.979	8.373	423.903	563.791	232.32	<b>796.111</b>
45	14.2200	17.0800	11.249	7.041	9.2685	9.2294	8.6236	435.657	579.424	243	<b>822.424</b>
46	14.7200	17.5800	11.499	7.29	9.5181	9.4799	8.8741	447.404	595.047	253.92	<b>848.967</b>
47	15.2200	18.0800	11.749	7.539	9.7677	9.7303	9.1247	459.152	610.672	265.08	<b>875.752</b>
48	15.7200	18.5800	11.999	7.788	10.0173	9.9807	9.3752	470.898	626.294	276.48	<b>902.774</b>
49	16.2200	19.0800	12.249	8.037	10.267	10.231	9.6257	482.645	641.918	288.12	<b>930.038</b>
50	16.7200	19.5800	12.499	8.286	10.5166	10.4814	9.8761	494.391	657.54	300	<b>957.54</b>

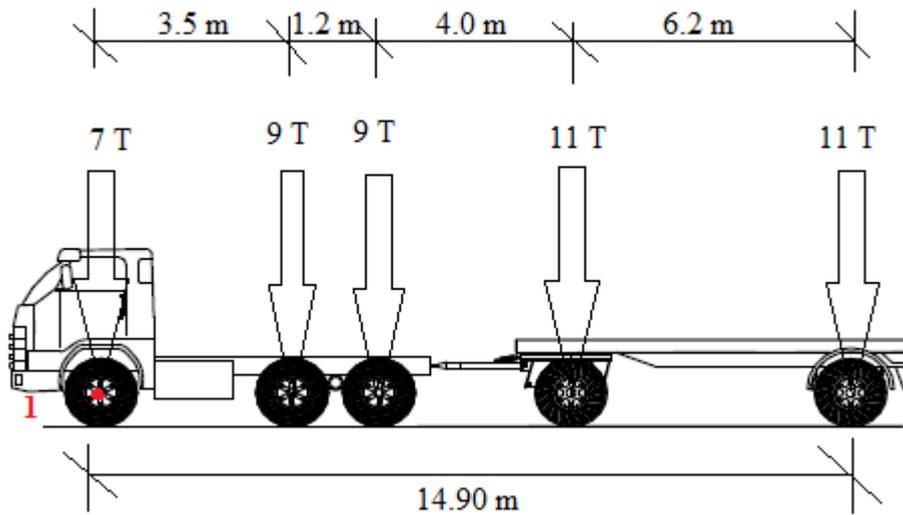
*Nota:* Autoría Propia

**d) Camión de diseño (C3R2)**

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 28**

*Vehículo C3R2 con sus cargas y distancia entre ejes*



*Fuente:* Reglamento nacional de vehículos-2018

Luego se calculará el momento respecto al punto 1

**Tabla 7**

*Momento respecto al punto 1 del vehículo C3R2*

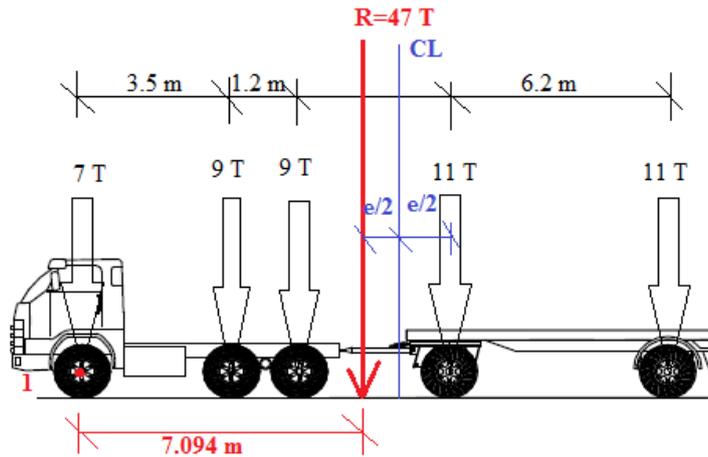
<b>i</b>	<b>P<sub>i</sub> (T)</b>	<b>D<sub>i</sub> (m)</b>	<b>M<sub>i</sub> (T-m)</b>
<b>1</b>	7	0	0
<b>2</b>	9	3.5	31.5
<b>3</b>	9	4.7	42.30
<b>4</b>	11	8.7	95.70
<b>5</b>	11	14.9	163.90
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>14.9</b>	<b>333.40</b>

*Nota:* Autoría Propia

$$x(m) = \frac{333.40 T-m}{47 T} = 7.094 m$$

**Figura 29**

*Distancia entre la resultante y la carga más próxima del vehículo C3R2*



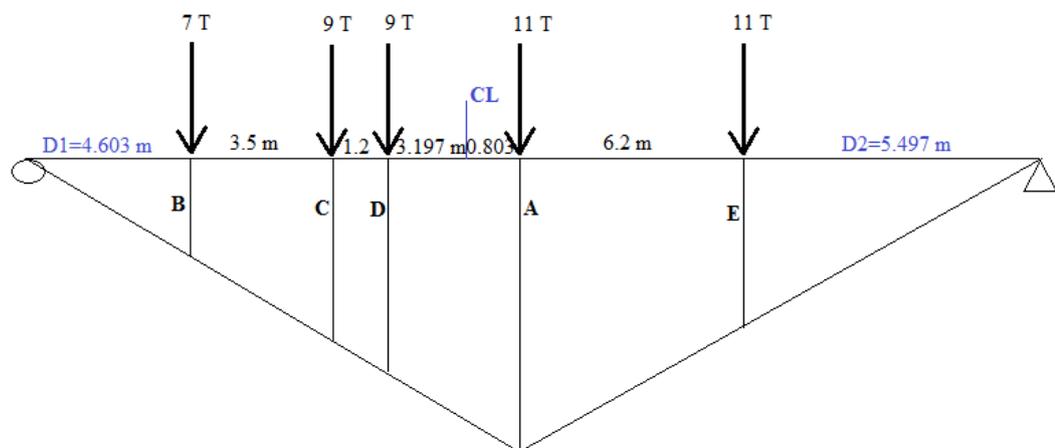
Fuente: Autoría Propia

$$e(m) = 8.7 m - 7.094 m = 1.606 m$$

$$e/2(m) = 1.606/2 = 0.803 m$$

**Figura 30**

*Línea de influencia de momentos del vehículo C3R2 para luz de 25 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{13.303 * 11.697}{25} = 6.224$$

$$B = \frac{4.603 * 6.224}{13.303} = 2.154$$

$$C = \frac{8.103 * 6.224}{13.303} = 3.7911$$

$$D = \frac{9.303 * 6.224}{13.303} = 4.3525$$

$$E = \frac{5.497 * 6.224}{11.697} = 2.925$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 11 toneladas.

$$\text{Momento} = 6.224 * 11 + 2.154 * 7 + 3.7911 * 9 + 4.3525 * 9 + 2.925 * 11$$

$$\text{Momento} = 189.009 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 189.009 * 1.33 = 251.382 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 * 25^2}{8} = 75 \text{ T - m}$$

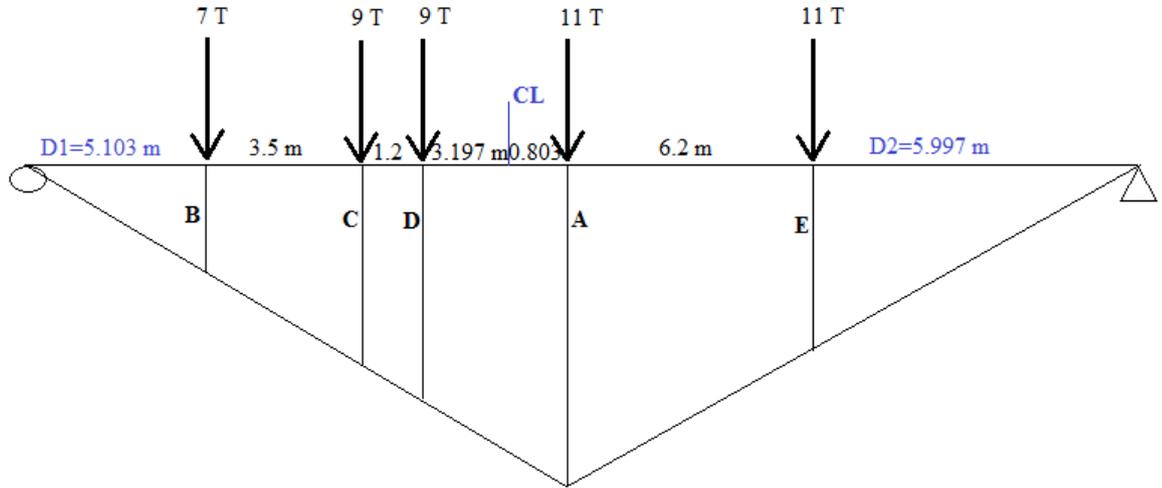
Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{\text{LL+IM+carril}} = 251.382 + 75 = 326.382 \text{ T-m}$$

- Para una longitud de puente de 26 metros

**Figura 31**

*Línea de influencia momentos del vehículo C3R2 para luz de 25 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{13.803 \cdot 12.197}{26} = 6.475$$

$$B = \frac{5.103 \cdot 6.475}{13.803} = 2.394$$

$$C = \frac{8.603 \cdot 6.475}{13.803} = 4.0357$$

$$D = \frac{9.803 \cdot 6.475}{13.803} = 4.5986$$

$$E = \frac{5.997 \cdot 6.475}{12.197} = 3.1836$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 11 toneladas.

$$\text{Momento} = 6.475 \cdot 11 + 2.394 \cdot 7 + 4.0357 \cdot 9 + 4.5986 \cdot 9 + 3.1836 \cdot 11$$

$$\text{Momento} = 200.711 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 200.711 \cdot 1.33 = 266.946 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 26^2}{8} = 81.12 T - m$$

Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{LL+IM+carril} = 266.946 + 81.12 = 348.066 T - m$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 8**

*Momento máximo provocado por el vehículo C3R2 para luces de 25 a 50 metros*

L (m)	d1 (m)	d2 (m)	A	B	C	D	E	M (T- m)	M LL+IM (T-m)	M carril (T- m)	M LL+IM+carril
25	4.603	5.497	6.224	2.154	3.7911	4.3525	2.9250	189.009	251.382	75	<b>326.382</b>
26	5.103	5.997	6.475	2.394	4.0357	4.5986	3.1836	200.711	266.946	81.12	<b>348.066</b>
27	5.603	6.497	6.726	2.635	4.2807	4.845	3.4417	212.421	282.52	87.48	<b>370</b>
28	6.103	6.997	6.977	2.876	4.5261	5.0917	3.6992	224.13	298.093	94.08	<b>392.173</b>
29	6.603	7.497	7.228	3.119	4.7719	5.3387	3.9562	235.855	313.687	100.92	<b>414.607</b>
30	7.103	7.997	7.479	3.362	5.018	5.5859	4.2128	247.579	329.28	108	<b>437.28</b>
31	7.603	8.497	7.729	3.604	5.2638	5.8327	4.4685	259.269	344.828	115.32	<b>460.148</b>
32	8.103	8.997	7.98	3.848	5.5104	6.0803	4.7244	271.001	360.431	122.88	<b>483.311</b>
33	8.603	9.497	8.23	4.092	5.7567	6.3274	4.9793	282.703	375.995	130.68	<b>506.675</b>
34	9.103	9.997	8.481	4.336	6.0038	6.5755	5.2346	294.437	391.601	138.72	<b>530.321</b>
35	9.603	10.497	8.732	4.581	6.2512	6.8237	5.4896	306.179	407.218	147	<b>554.218</b>
36	10.103	10.997	8.982	4.826	6.498	7.0712	5.7437	317.888	422.791	155.52	<b>578.311</b>
37	10.603	11.497	9.233	5.072	6.7457	7.3197	5.9983	329.637	438.417	164.28	<b>602.697</b>
38	11.103	11.997	9.483	5.317	6.9929	7.5675	6.2520	341.348	453.993	173.28	<b>627.273</b>
39	11.603	12.497	9.733	5.562	7.2402	7.8155	6.5055	353.059	469.568	182.52	<b>652.088</b>
40	12.103	12.997	9.984	5.809	7.4884	8.0643	6.7595	364.816	485.205	192	<b>677.205</b>
41	12.603	13.497	10.23	6.055	7.7359	8.3124	7.0127	376.533	500.789	201.72	<b>702.509</b>
42	13.103	13.997	10.49	6.301	7.9843	8.5614	7.2664	388.284	516.418	211.68	<b>728.098</b>
43	13.603	14.497	10.74	6.547	8.2321	8.8097	7.5192	400.001	532.001	221.88	<b>753.881</b>
44	14.103	14.997	10.99	6.794	8.48	9.0581	7.7720	411.728	547.598	232.32	<b>779.918</b>
45	14.603	15.497	11.24	7.041	8.7287	9.3073	8.0253	423.485	563.235	243	<b>806.235</b>
46	15.103	15.997	11.49	7.288	8.9768	9.5558	8.2778	435.211	578.831	253.92	<b>832.751</b>
47	15.603	16.497	11.74	7.535	9.2249	9.8044	8.5301	446.936	594.425	265.08	<b>859.505</b>
48	16.103	16.997	11.99	7.782	9.4739	10.054	8.7832	458.696	610.066	276.48	<b>886.546</b>
49	16.603	17.497	12.24	8.03	9.7222	10.303	9.0354	470.429	625.671	288.12	<b>913.791</b>
50	17.103	17.997	12.49	8.277	9.9705	10.551	9.2875	482.155	641.266	300	<b>941.266</b>

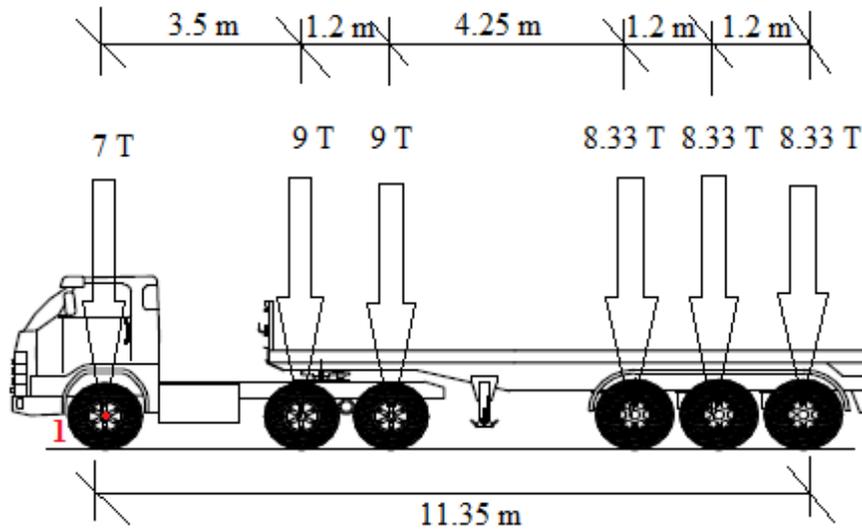
Nota: Autoría Propia

e) Camión de diseño (T3S3)

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 32**

*Distancia entre la resultante y la carga más próxima del vehículo T3S3*



Fuente: Reglamento nacional de vehículos-2018

**Tabla 9**

*Momento respecto al punto 1 del vehículo T3S3*

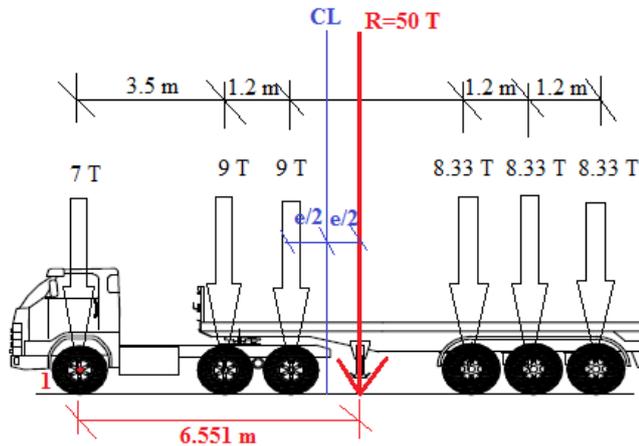
<b>i</b>	<b>Pi (T)</b>	<b>Di (m)</b>	<b>Mi (T-m)</b>
<b>1</b>	7	0	0
<b>2</b>	9	3.5	31.5
<b>3</b>	9	4.7	42.30
<b>4</b>	8.33	8.95	74.58
<b>5</b>	8.33	10.15	84.58
<b>6</b>	8.33	11.35	94.58
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>11.35</b>	<b>327.55</b>

Nota: Autoría Propia

$$x(m) = \frac{327.55 \text{ T-m}}{50 \text{ T}} = 6.551 \text{ m}$$

**Figura 33**

*Distancia entre la resultante y la carga más próxima del vehículo T3S3*



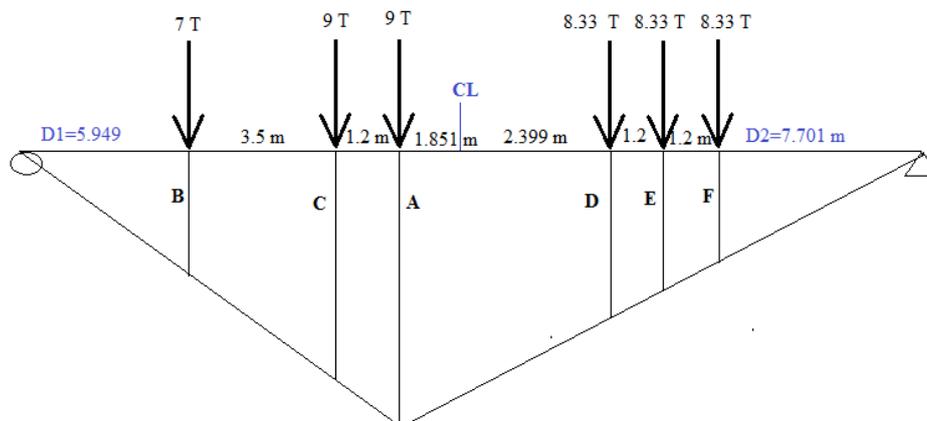
Fuente: Autoría Propia

$$e \text{ (m)} = 6.551 \text{ m} - 3.5 \text{ m} - 1.2 \text{ m} = 1.851 \text{ m}$$

$$e/2 \text{ (m)} = 1.851 / 2 = 0.9255 \text{ m}$$

**Figura 34**

*Línea de influencia momentos del vehículo T3S3 para luz de 25 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{10.649 \cdot 14.351}{25} = 6.113$$

$$B = \frac{5.949 \cdot 6.113}{10.649} = 3.415$$

$$C = \frac{8.449 \cdot 6.113}{10.649} = 5.4241$$

$$D = \frac{10.101 \cdot 6.113}{14.351} = 4.3027$$

$$E = \frac{8.901 \cdot 6.113}{14.351} = 3.7915$$

$$F = \frac{7.701 \cdot 6.113}{14.351} = 3.2803$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 9 toneladas.

$$\text{Momento} = 6.113 \cdot 9 + 3.415 \cdot 7 + 5.4241 \cdot 9 + 4.3027 \cdot 8.333 + 3.7915 \cdot 8.333 + 3.2803 \cdot 8.333$$

$$\text{Momento} = 222.526 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 222.526 \cdot 1.33 = 295.96 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 25^2}{8} = 75 \text{ T-m}$$

Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{\text{LL+IM+carril}} = 295.96 + 75 = 370.96 \text{ T-m}$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 10**
*Momento máximo provocado por el vehículo T3S3 para luces de 25 a 50 metros*

<b>L (m)</b>	<b>d1 (m)</b>	<b>d2 (m)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M (T- m)</b>	<b>M LL+IM (T-m)</b>	<b>M carril (T-m)</b>	<b>M LL+IM+carril</b>
25	5.949	7.701	6.113	3.415	5.4241	4.3027	3.7915	3.2803	222.526	295.96	75	<b>370.96</b>
26	6.449	8.201	6.368	3.683	5.6826	4.5456	4.0311	3.5165	235.013	312.567	81.12	<b>393.687</b>
27	6.949	8.701	6.623	3.951	5.9407	4.7894	4.2717	3.7539	247.522	329.204	87.48	<b>416.684</b>
28	7.449	9.201	6.878	4.217	6.1986	5.0339	4.5132	3.9925	260.038	345.851	94.08	<b>439.931</b>
29	7.949	9.701	7.132	4.482	6.4554	5.2782	4.7548	4.2314	272.531	362.466	100.92	<b>463.386</b>
30	8.449	10.201	7.386	4.746	6.7119	5.5232	4.9972	4.4712	285.033	379.094	108	<b>487.094</b>
31	8.949	10.701	7.639	5.009	6.9674	5.7679	5.2396	4.7113	297.511	395.69	115.32	<b>511.01</b>
32	9.449	11.201	7.893	5.271	7.2236	6.0138	5.4832	4.9526	310.026	412.335	122.88	<b>535.215</b>
33	9.949	11.701	8.146	5.532	7.4787	6.2594	5.7267	5.1941	322.515	428.945	130.68	<b>559.625</b>
34	10.449	12.201	8.399	5.793	7.7337	6.5054	5.9708	5.4361	335.014	445.569	138.72	<b>584.289</b>
35	10.949	12.701	8.652	6.053	7.9885	6.7518	6.2153	5.6787	347.517	462.198	147	<b>609.198</b>
36	11.449	13.201	8.905	6.313	8.2433	6.9985	6.4602	5.9219	360.031	478.841	155.52	<b>634.361</b>
37	11.949	13.701	9.157	6.572	8.4970	7.2447	6.7048	6.1648	372.509	495.437	164.28	<b>659.717</b>
38	12.449	14.201	9.41	6.831	8.7515	7.492	6.9504	6.4089	385.031	512.091	173.28	<b>685.371</b>
39	12.949	14.701	9.662	7.089	9.0051	7.7387	7.1957	6.6527	397.519	528.7	182.52	<b>711.22</b>
40	13.449	15.201	9.914	7.347	9.2585	7.9857	7.4413	6.8968	410.013	545.317	192	<b>737.317</b>
41	13.949	15.701	10.17	7.604	9.5119	8.233	7.6872	7.1414	422.509	561.937	201.72	<b>763.657</b>
42	14.449	16.201	10.42	7.861	9.7651	8.4804	7.9333	7.3862	435.007	578.559	211.68	<b>790.239</b>
43	14.949	16.701	10.67	8.118	10.0184	8.728	8.1797	7.6314	447.514	595.194	221.88	<b>817.074</b>
44	15.449	17.201	10.92	8.374	10.2715	8.9758	8.4263	7.8768	460.017	611.823	232.32	<b>844.143</b>
45	15.949	17.701	11.17	8.631	10.5246	9.2238	8.6731	8.1225	472.533	628.469	243	<b>871.469</b>
46	16.449	18.201	11.43	8.887	10.7777	9.4719	8.9202	8.3685	485.047	645.113	253.92	<b>899.033</b>
47	16.949	18.701	11.68	9.142	11.0297	9.7194	9.1667	8.6139	497.521	661.703	265.08	<b>926.783</b>
48	17.449	19.201	11.93	9.398	11.2827	9.9678	9.4141	8.8603	510.043	678.357	276.48	<b>954.837</b>
49	17.949	19.701	12.18	9.652	11.5347	10.216	9.6609	9.1062	522.519	694.95	288.12	<b>983.07</b>
50	18.449	20.201	12.43	9.907	11.7866	10.463	9.9079	9.3523	535.004	711.555	300	<b>1011.555</b>

Nota: Autoría Propia

**Tabla 11**
*Momento máximo provocado por el vehículo T2S3 para luces de 25 a 50 metros*

<b>Momento (T-m)</b>				
<b>Luz (m)</b>	<b>Camión T2S3</b>	<b>Efecto dinámico</b>	<b>S/c equivalente</b>	<b>M (LL+IM)</b>
25	186.546	248.106	75	<b>323.106</b>
26	197.187	262.259	81.12	<b>343.379</b>
27	207.813	276.391	87.48	<b>363.871</b>
28	218.484	290.584	94.08	<b>384.664</b>
29	229.131	304.744	100.92	<b>405.664</b>
30	239.791	318.922	108	<b>426.922</b>
31	250.464	333.117	115.32	<b>448.437</b>
32	261.141	347.318	122.88	<b>470.198</b>
33	271.803	361.498	130.68	<b>492.178</b>
34	282.495	375.718	138.72	<b>514.438</b>
35	293.166	389.911	147	<b>536.911</b>
36	303.875	404.154	155.52	<b>559.674</b>
37	314.556	418.359	164.28	<b>582.639</b>
38	325.245	432.576	173.28	<b>605.856</b>
39	335.968	446.837	182.52	<b>629.357</b>
40	346.669	461.07	192	<b>653.07</b>
41	357.367	475.298	201.72	<b>677.018</b>
42	368.071	489.534	211.68	<b>701.214</b>
43	378.78	503.777	221.88	<b>725.657</b>
44	389.493	518.026	232.32	<b>750.346</b>
45	400.211	532.281	243	<b>775.281</b>
46	410.889	546.482	253.92	<b>800.402</b>
47	421.613	560.745	265.08	<b>825.825</b>
48	432.335	575.006	276.48	<b>851.486</b>
49	443.059	589.268	288.12	<b>877.388</b>
50	453.789	603.539	300	<b>903.539</b>

*Nota: Autoría Propia*

**Tabla 12**
*Momento máximo provocado por el vehículo T3S2 para luces de 25 a 50 metros*

<b>Momento (T-m)</b>				
<b>Luz (m)</b>	<b>Camión T3S2</b>	<b>Efecto dinámico</b>	<b>S/c equivalente</b>	<b>M (LL+IM)</b>
<b>25</b>	199.702	265.604	75	<b>340.604</b>
<b>26</b>	210.454	279.904	81.12	<b>361.024</b>
<b>27</b>	221.176	294.164	87.48	<b>381.644</b>
<b>28</b>	231.901	308.428	94.08	<b>402.508</b>
<b>29</b>	242.658	322.735	100.92	<b>423.655</b>
<b>30</b>	253.383	336.999	108	<b>444.999</b>
<b>31</b>	264.112	351.269	115.32	<b>466.589</b>
<b>32</b>	274.878	365.588	122.88	<b>488.468</b>
<b>33</b>	285.604	379.853	130.68	<b>510.533</b>
<b>34</b>	296.339	394.131	138.72	<b>532.851</b>
<b>35</b>	307.068	408.4	147	<b>555.4</b>
<b>36</b>	317.839	422.726	155.52	<b>578.246</b>
<b>37</b>	328.572	437.001	164.28	<b>601.281</b>
<b>38</b>	339.307	451.278	173.28	<b>624.558</b>
<b>39</b>	350.044	465.559	182.52	<b>648.079</b>
<b>40</b>	360.782	479.84	192	<b>671.84</b>
<b>41</b>	371.514	494.114	201.72	<b>695.834</b>
<b>42</b>	382.293	508.45	211.68	<b>720.13</b>
<b>43</b>	393.027	522.726	221.88	<b>744.606</b>
<b>44</b>	403.769	537.013	232.32	<b>769.333</b>
<b>45</b>	414.506	551.293	243	<b>794.293</b>
<b>46</b>	425.243	565.573	253.92	<b>819.493</b>
<b>47</b>	435.988	579.864	265.08	<b>844.944</b>
<b>48</b>	446.728	594.148	276.48	<b>870.628</b>
<b>49</b>	457.505	608.482	288.12	<b>896.602</b>
<b>50</b>	468.245	622.766	300	<b>922.766</b>

*Nota: Autoría Propia*

**Tabla 13**

*Momento máximo provocado por el vehículo C2R3 para luces de 25 a 50 metros*

<b>Momento (T-m)</b>				
<b>Luz (m)</b>	<b>Camión C2R3</b>	<b>Efecto dinámico</b>	<b>S/c equivalente</b>	<b>M (LL+IM)</b>
<b>25</b>	200.69	266.918	75	<b>341.918</b>
<b>26</b>	212.434	282.537	81.12	<b>363.657</b>
<b>27</b>	224.176	298.154	87.48	<b>385.634</b>
<b>28</b>	235.923	313.778	94.08	<b>407.858</b>
<b>29</b>	247.669	329.4	100.92	<b>430.32</b>
<b>30</b>	259.416	345.023	108	<b>453.023</b>
<b>31</b>	271.161	360.644	115.32	<b>475.964</b>
<b>32</b>	282.906	376.265	122.88	<b>499.145</b>
<b>33</b>	294.683	391.928	130.68	<b>522.608</b>
<b>34</b>	306.434	407.557	138.72	<b>546.277</b>
<b>35</b>	318.178	423.177	147	<b>570.177</b>
<b>36</b>	329.928	438.804	155.52	<b>594.324</b>
<b>37</b>	341.67	454.421	164.28	<b>618.701</b>
<b>38</b>	353.42	470.049	173.28	<b>643.329</b>
<b>39</b>	365.169	485.675	182.52	<b>668.195</b>
<b>40</b>	376.918	501.301	192	<b>693.301</b>
<b>41</b>	388.666	516.926	201.72	<b>718.646</b>
<b>42</b>	400.406	532.54	211.68	<b>744.22</b>
<b>43</b>	412.155	548.166	221.88	<b>770.046</b>
<b>44</b>	423.903	563.791	232.32	<b>796.111</b>
<b>45</b>	435.657	579.424	243	<b>822.424</b>
<b>46</b>	447.404	595.047	253.92	<b>848.967</b>
<b>47</b>	459.152	610.672	265.08	<b>875.752</b>
<b>48</b>	470.898	626.294	276.48	<b>902.774</b>
<b>49</b>	482.645	641.918	288.12	<b>930.038</b>
<b>50</b>	494.391	657.54	300	<b>957.54</b>

*Nota:* Autoría Propia

**Tabla 14**
*Momento máximo provocado por el vehículo C3R2 para luces de 25 a 50 metros*

Luz (m)	Camión C3R2	Momento (T-m)		
		Efecto dinámico	S/c equivalente	M (LL+IM)
25	189.009	251.382	75	<b>326.382</b>
26	200.711	266.946	81.12	<b>348.066</b>
27	212.421	282.52	87.48	<b>370</b>
28	224.13	298.093	94.08	<b>392.173</b>
29	235.855	313.687	100.92	<b>414.607</b>
30	247.579	329.28	108	<b>437.28</b>
31	259.269	344.828	115.32	<b>460.148</b>
32	271.001	360.431	122.88	<b>483.311</b>
33	282.703	375.995	130.68	<b>506.675</b>
34	294.437	391.601	138.72	<b>530.321</b>
35	306.179	407.218	147	<b>554.218</b>
36	317.888	422.791	155.52	<b>578.311</b>
37	329.637	438.417	164.28	<b>602.697</b>
38	341.348	453.993	173.28	<b>627.273</b>
39	353.059	469.568	182.52	<b>652.088</b>
40	364.816	485.205	192	<b>677.205</b>
41	376.533	500.789	201.72	<b>702.509</b>
42	388.284	516.418	211.68	<b>728.098</b>
43	400.001	532.001	221.88	<b>753.881</b>
44	411.728	547.598	232.32	<b>779.918</b>
45	423.485	563.235	243	<b>806.235</b>
46	435.211	578.831	253.92	<b>832.751</b>
47	446.936	594.425	265.08	<b>859.505</b>
48	458.696	610.066	276.48	<b>886.546</b>
49	470.429	625.671	288.12	<b>913.791</b>
50	482.155	641.266	300	<b>941.266</b>

*Nota: Autoría Propia*

**Tabla 15**
*Momento máximo provocado por el vehículo T3S3 para luces de 25 a 50 metros*

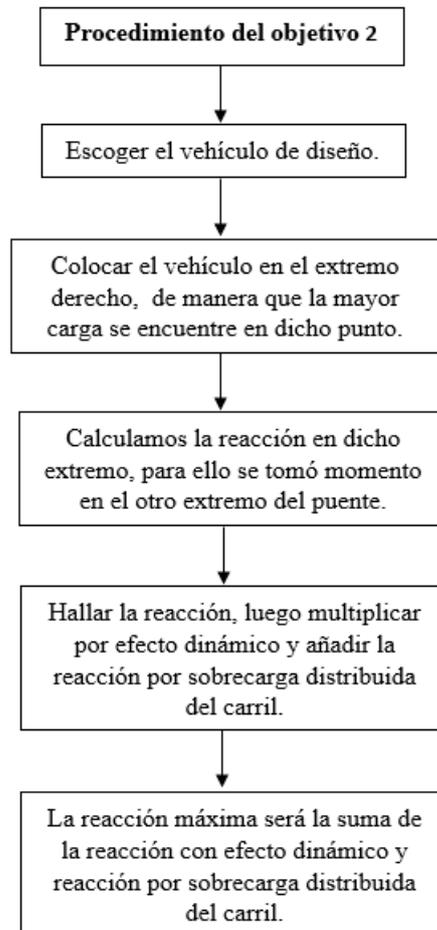
<b>Momento (T-m)</b>				
<b>Luz (m)</b>	<b>Camión T3S3</b>	<b>Efecto dinámico</b>	<b>S/c equivalente</b>	<b>M (LL+IM)</b>
<b>25</b>	222.526	295.96	75	<b>370.96</b>
<b>26</b>	235.013	312.567	81.12	<b>393.687</b>
<b>27</b>	247.522	329.204	87.48	<b>416.684</b>
<b>28</b>	260.038	345.851	94.08	<b>439.931</b>
<b>29</b>	272.531	362.466	100.92	<b>463.386</b>
<b>30</b>	285.033	379.094	108	<b>487.094</b>
<b>31</b>	297.511	395.69	115.32	<b>511.01</b>
<b>32</b>	310.026	412.335	122.88	<b>535.215</b>
<b>33</b>	322.515	428.945	130.68	<b>559.625</b>
<b>34</b>	335.014	445.569	138.72	<b>584.289</b>
<b>35</b>	347.517	462.198	147	<b>609.198</b>
<b>36</b>	360.031	478.841	155.52	<b>634.361</b>
<b>37</b>	372.509	495.437	164.28	<b>659.717</b>
<b>38</b>	385.031	512.091	173.28	<b>685.371</b>
<b>39</b>	397.519	528.7	182.52	<b>711.22</b>
<b>40</b>	410.013	545.317	192	<b>737.317</b>
<b>41</b>	422.509	561.937	201.72	<b>763.657</b>
<b>42</b>	435.007	578.559	211.68	<b>790.239</b>
<b>43</b>	447.514	595.194	221.88	<b>817.074</b>
<b>44</b>	460.017	611.823	232.32	<b>844.143</b>
<b>45</b>	472.533	628.469	243	<b>871.469</b>
<b>46</b>	485.047	645.113	253.92	<b>899.033</b>
<b>47</b>	497.521	661.703	265.08	<b>926.783</b>
<b>48</b>	510.043	678.357	276.48	<b>954.837</b>
<b>49</b>	522.519	694.95	288.12	<b>983.07</b>
<b>50</b>	535.004	711.555	300	<b>1011.555</b>

*Nota: Autoría Propia*

**Procedimiento para determinar la reacción máxima por sobrecarga incluido impacto  
provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente  
apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.**

**Figura 35**

*Esquema de procedimiento 2*



**Definiciones técnicas**

- Reacción máxima

La reacción máxima se obtiene al colocar el vehículo de diseño en uno de los extremos de la viga, teniendo en cuenta de que la posición del vehículo debe estar donde tenga la mayor carga posible en el extremo de la viga.

- Vehículos de carga pesada

Según el reglamento nacional de vehículos los clasifica de acuerdo con su configuración vehicular, N° de ejes, descripción gráfica de los vehículos, longitud máxima, peso en el eje delantero, peso de los ejes posteriores y peso bruto máximo.

### Consideraciones para la reacción máxima según el manual de puentes del MTC y AASTHO

- Se coloca el vehículo en un extremo del puente, teniendo en cuenta posicionándolo con la mayor carga en el extremo.
- Se calcula la reacción

Reacción =

$$\frac{\text{suma de momentos con respecto al punto opuesto del puente}}{\text{longitud del puente}} \dots\dots\dots \text{Ecuación(N°05)}$$

- Luego se multiplica por el efecto dinámico (1.33) quedando la reacción de carga viva con el impacto  $V_{LL+IM} = V_{LL} * 1.33 \dots\dots\dots \text{Ecuación(N°06)}$

- Se agrega la reacción por sobrecarga vehicular.

$$V_{\text{carril}} (T) = \frac{0.96 * \text{longitud}}{2} \dots\dots\dots \text{Ecuación(N°07)}$$

- La reacción máxima será la reacción de carga viva+ impacto +carga de carril.

$$\text{Reacción máxima} = V_{LL+IM} + \text{carga de carril} \dots\dots\dots \text{Ecuación(N°08)}$$

#### Software utilizado

- Hojas de cálculo (Excel)

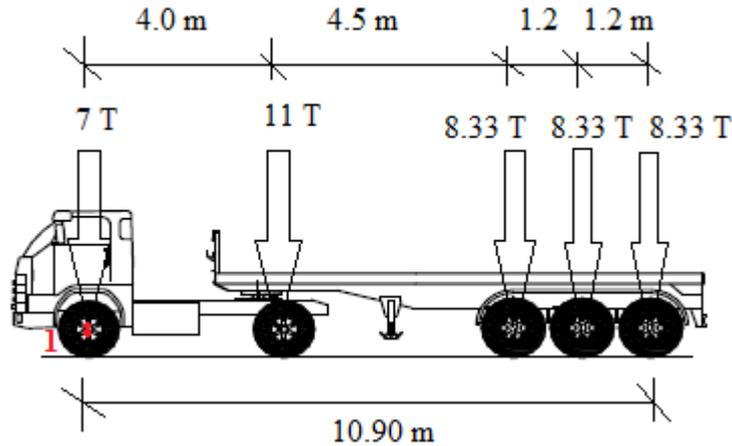
Reacción máxima de los vehículos más pesados

#### f) Camión de diseño (T2S3)

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 36**

*Vehículo T2S3 con sus cargas y distancia entre ejes*



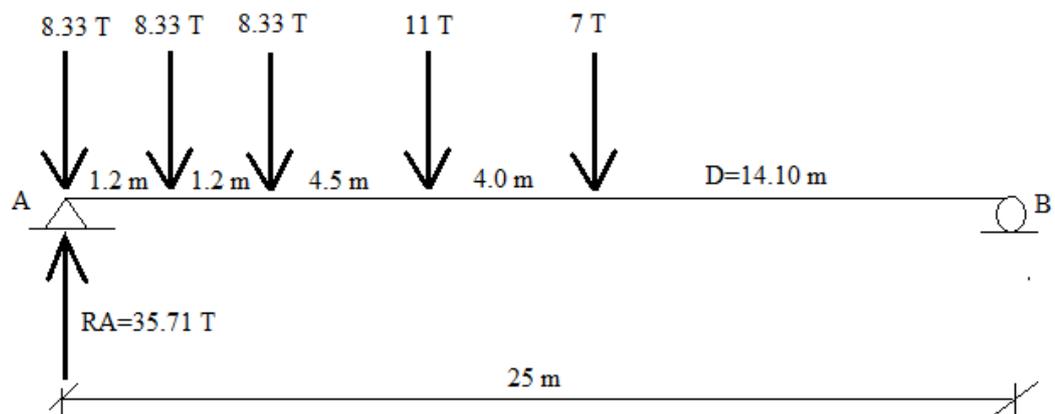
*Fuente:* Reglamento nacional de vehículos-2018

La máxima reacción ocurre posicionando el vehículo de la siguiente manera:

Distancia  $D=25-10.9=14.10$  m

**Figura 37**

*Reacción máxima en el punto A usando el vehículo T2S3 con luz de 25 m*



*Fuente:* autoría propia

Calcularemos la reacción en el punto A, tomamos momento en el punto B

$$R_A = \frac{(7 \cdot 14.1) + (11 \cdot 18.1) + (8.33 \cdot 22.6) + (8.33 \cdot 23.8) + (8.33 \cdot 25)}{25} = 35.71 \text{ T}$$

Reacción en el punto A=35.71 T

Luego por efecto dinámico

Reacción LL+IM=35.71\*1.33=47.49 T

Para la sobrecarga distribuida (carril)

$$S/c = \frac{0.96*25}{2} = 12 T$$

Por lo tanto, la reacción por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$V \text{ LL +IM +carril}=47.49+12=59.49T$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 16**

*Reacción máxima provocado por el vehículo T2S3 para luces de 25 a 50 metros*

<b>L (m)</b>	<b>D (m)</b>	<b>RA (T)</b>	<b>efecto dinámico (T)</b>	<b>S/c equivalente (T)</b>	<b>V (LL+IM)</b>
25	14.1	35.71	47.49	12	<b>59.49</b>
26	15.1	35.99	47.87	12.48	<b>60.35</b>
27	16.1	36.25	48.21	12.96	<b>61.17</b>
28	17.1	36.49	48.53	13.44	<b>61.97</b>
29	18.1	36.72	48.84	13.92	<b>62.76</b>
30	19.1	36.93	49.12	14.4	<b>63.52</b>
31	20.1	37.12	49.37	14.88	<b>64.25</b>
32	21.1	37.31	49.62	15.36	<b>64.98</b>
33	22.1	37.48	49.85	15.84	<b>65.69</b>
34	23.1	37.64	50.06	16.32	<b>66.38</b>
35	24.1	37.79	50.26	16.8	<b>67.06</b>
36	25.1	37.94	50.46	17.28	<b>67.74</b>
37	26.1	38.08	50.65	17.76	<b>68.41</b>
38	27.1	38.21	50.82	18.24	<b>69.06</b>
39	28.1	38.33	50.98	18.72	<b>69.7</b>
40	29.1	38.45	51.14	19.2	<b>70.34</b>
41	30.1	38.56	51.28	19.68	<b>70.96</b>
42	31.1	38.66	51.42	20.16	<b>71.58</b>
43	32.1	38.76	51.55	20.64	<b>72.19</b>
44	33.1	38.86	51.68	21.12	<b>72.8</b>
45	34.1	38.95	51.8	21.6	<b>73.4</b>
46	35.1	39.04	51.92	22.08	<b>74</b>

47	36.1	39.12	52.03	22.56	<b>74.59</b>
48	37.1	39.2	52.14	23.04	<b>75.18</b>
49	38.1	39.28	52.24	23.52	<b>75.76</b>
50	39.1	39.36	52.35	24	<b>76.35</b>

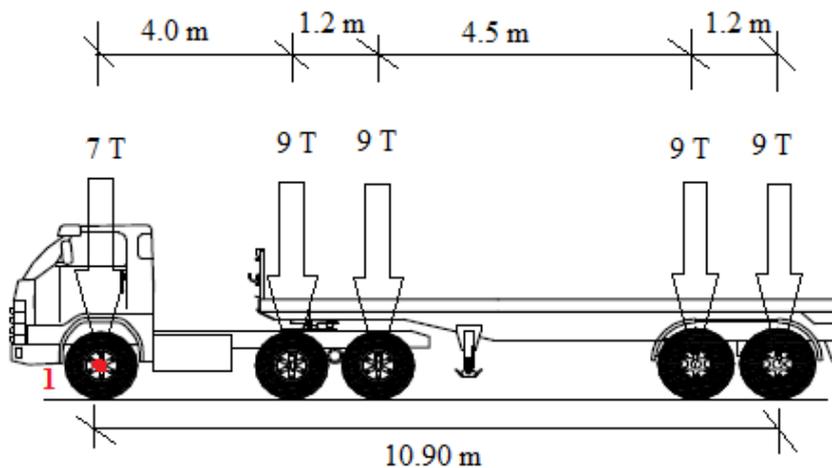
*Nota:* Autoría Propia

**g)** Camión de diseño (T3S2)

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 38**

*Vehículo T3S2 con sus cargas y distancia entre ejes*



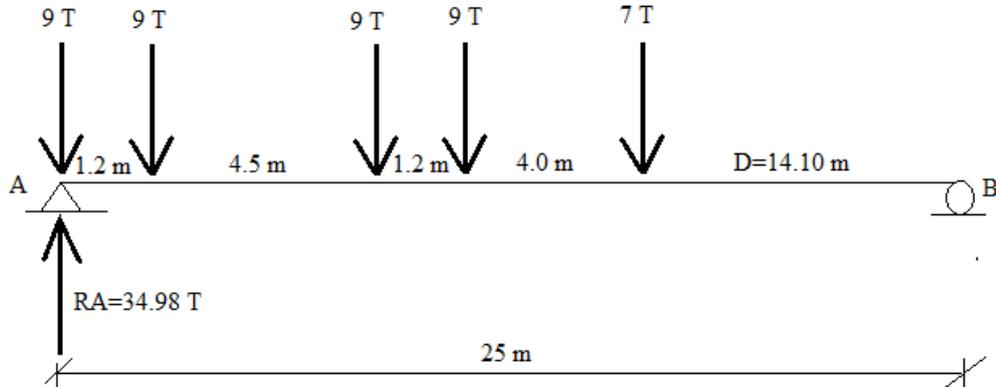
*Fuente:* Reglamento nacional de vehículos-2018

La máxima reacción ocurre posicionando el vehículo de la siguiente manera:

Distancia  $D=25-10.9=14.10$  m.

**Figura 39**

Reacción máxima en el punto A usando el vehículo T3S2 con luz de 25 m



Fuente: Autoría propia

Calcularemos la reacción en el punto A, tomamos momento en el punto B

$$R_A = \frac{(7 \cdot 14.1) + (9 \cdot 18.1) + (9 \cdot 19.3) + (9 \cdot 23.8) + (9 \cdot 25)}{25} = 34.98 \text{ T}$$

Reacción en el punto A = 34.98 T

Luego por efecto dinámico

$$\text{Reacción LL+IM} = 34.98 \cdot 1.33 = 46.52 \text{ T}$$

Para la sobrecarga distribuida (carril)

$$s/c = \frac{0.96 \cdot 25}{2} = 12 \text{ T}$$

Por lo tanto, la reacción por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$V_{LL+IM+carril} = 46.52 + 12 = 58.52 \text{ T}$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 17**
*Reacción máxima provocado por el vehículo T3S2 para luces de 25 a 50 metros*

<b>L (m)</b>	<b>D (m)</b>	<b>RA (T)</b>	<b>efecto dinámico (T)</b>	<b>S/c equivalente (T)</b>	<b>V (LL+IM)</b>
25	14.1	34.98	46.52	12	<b>58.52</b>
26	15.1	35.29	46.94	12.48	<b>59.42</b>
27	16.1	35.57	47.31	12.96	<b>60.27</b>
28	17.1	35.84	47.67	13.44	<b>61.11</b>
29	18.1	36.09	48	13.92	<b>61.92</b>
30	19.1	36.32	48.31	14.4	<b>62.71</b>
31	20.1	36.53	48.58	14.88	<b>63.46</b>
32	21.1	36.73	48.85	15.36	<b>64.21</b>
33	22.1	36.92	49.1	15.84	<b>64.94</b>
34	23.1	37.1	49.34	16.32	<b>65.66</b>
35	24.1	37.27	49.57	16.8	<b>66.37</b>
36	25.1	37.43	49.78	17.28	<b>67.06</b>
37	26.1	37.58	49.98	17.76	<b>67.74</b>
38	27.1	37.72	50.17	18.24	<b>68.41</b>
39	28.1	37.86	50.35	18.72	<b>69.07</b>
40	29.1	37.99	50.53	19.2	<b>69.73</b>
41	30.1	38.11	50.69	19.68	<b>70.37</b>
42	31.1	38.23	50.85	20.16	<b>71.01</b>
43	32.1	38.34	50.99	20.64	<b>71.63</b>
44	33.1	38.44	51.13	21.12	<b>72.25</b>
45	34.1	38.54	51.26	21.6	<b>72.86</b>
46	35.1	38.64	51.39	22.08	<b>73.47</b>
47	36.1	38.73	51.51	22.56	<b>74.07</b>
48	37.1	38.82	51.63	23.04	<b>74.67</b>
49	38.1	38.91	51.75	23.52	<b>75.27</b>
50	39.1	38.99	51.86	24	<b>75.86</b>

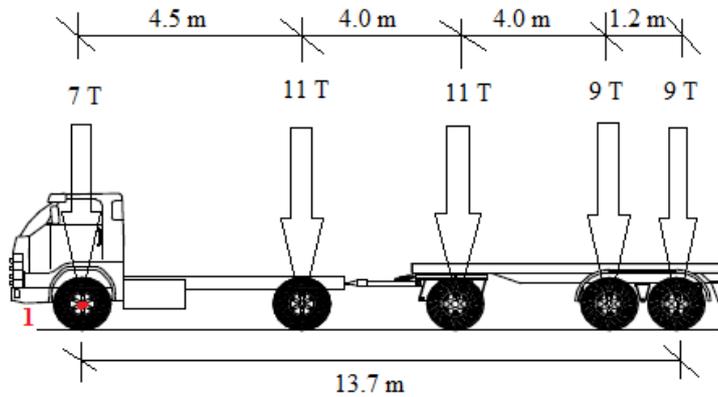
*Nota:* Autoría Propia

#### **h) Camión de diseño (C2R3)**

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 40**

*Vehículo C2R3 con sus cargas y distancia entre ejes*



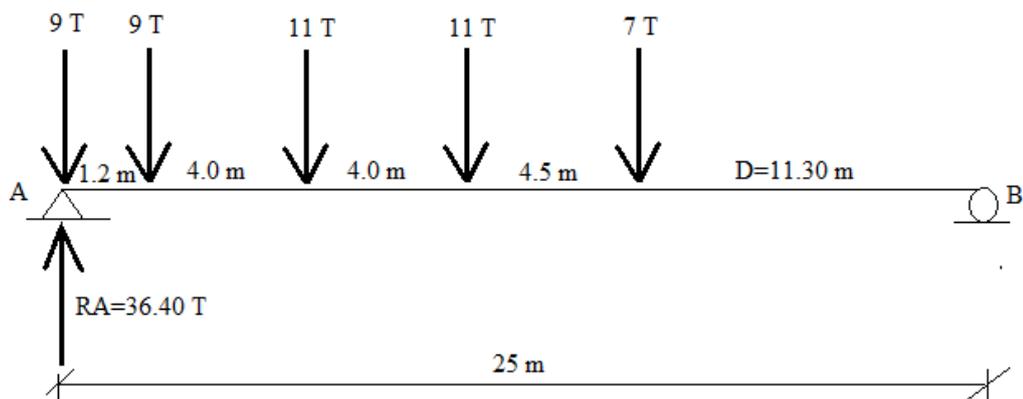
*Fuente:* Reglamento nacional de vehículos-2018

La máxima reacción ocurre posicionando el vehículo de la siguiente manera:

Distancia  $D=25-13.7=11.30$  m.

**Figura 41**

*Reacción máxima en el punto A usando el vehículo C2R3 con luz de 25 m*



*Fuente:* Autoría propia

Calcularemos la reacción en el punto A, tomamos momento en el punto B

$$R_A = \frac{(7*11.30)+(11*15.8)+(11*19.8)+(9*23.8)+(9*25)}{25} = 36.40 T$$

Reacción en el punto A=36.40 T

Luego por efecto dinámico

Reacción LL+IM=36.40\*1.33=48.41 T

Para la sobrecarga distribuida (carril)

$$S/c = \frac{0.96*25}{2} = 12 T$$

Por lo tanto, la reacción por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

V LL +IM +carril=48.41+12=60.41 T

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 18**

*Reacción máxima provocado por el vehículo C2R3 para luces de 25 a 50 metros*

L (m)	D (m)	RA (T)	efecto dinámico (T)	S/c equivalente (T)	V (LL+IM)
25	11.3	36.4	48.41	12	<b>60.41</b>
26	12.3	36.8	48.94	12.48	<b>61.42</b>
27	13.3	37.18	49.45	12.96	<b>62.41</b>
28	14.3	37.53	49.91	13.44	<b>63.35</b>
29	15.3	37.86	50.35	13.92	<b>64.27</b>
30	16.3	38.16	50.75	14.4	<b>65.15</b>
31	17.3	38.45	51.14	14.88	<b>66.02</b>
32	18.3	38.72	51.5	15.36	<b>66.86</b>
33	19.3	38.97	51.83	15.84	<b>67.67</b>
34	20.3	39.2	52.14	16.32	<b>68.46</b>
35	21.3	39.43	52.44	16.8	<b>69.24</b>
36	22.3	39.64	52.72	17.28	<b>70</b>
37	23.3	39.84	52.99	17.76	<b>70.75</b>
38	24.3	40.02	53.23	18.24	<b>71.47</b>
39	25.3	40.2	53.47	18.72	<b>72.19</b>
40	26.3	40.37	53.69	19.2	<b>72.89</b>

41	27.3	40.53	53.9	19.68	<b>73.58</b>
42	28.3	40.69	54.12	20.16	<b>74.28</b>
43	29.3	40.83	54.3	20.64	<b>74.94</b>
44	30.3	40.98	54.5	21.12	<b>75.62</b>
45	31.3	41.11	54.68	21.6	<b>76.28</b>
46	32.3	41.24	54.85	22.08	<b>76.93</b>
47	33.3	41.36	55.01	22.56	<b>77.57</b>
48	34.3	41.48	55.17	23.04	<b>78.21</b>
49	35.3	41.59	55.31	23.52	<b>78.83</b>
50	36.3	41.7	55.46	24	<b>79.46</b>

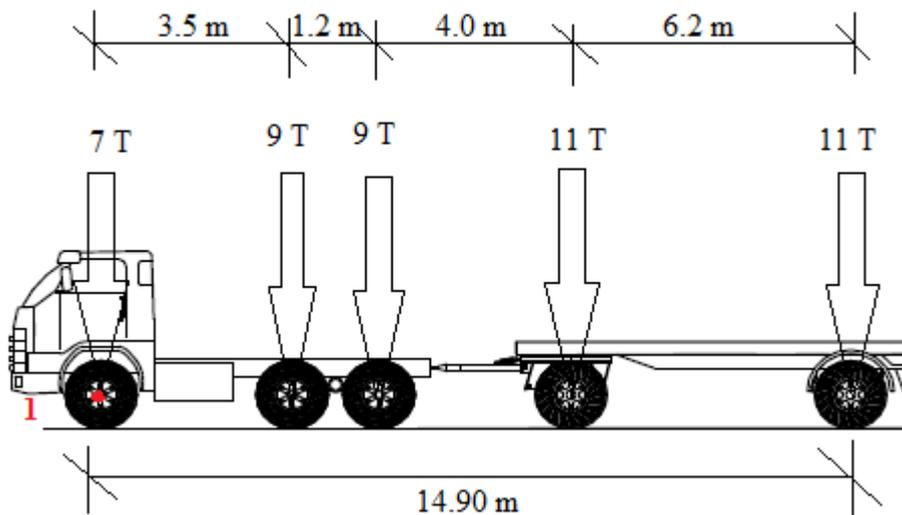
Nota: Autoría Propia

**i) Camión de diseño (C3R2)**

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 42**

*Vehículo C3R2 con sus cargas y distancia entre ejes*



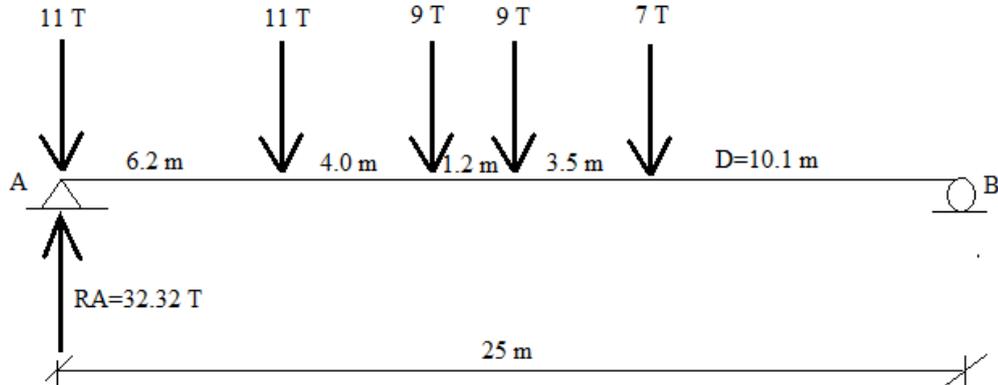
Fuente: Reglamento nacional de vehículos-2018

La máxima reacción ocurre posicionando el vehículo de la siguiente manera:

Distancia  $D=25-14.90=10.1$  m.

**Figura 43**

*Reacción máxima en el punto A usando el vehículo C3R2 con luz de 25 m*



*Fuente: Autoría propia*

Calcularemos la reacción en el punto A, tomamos momento en el punto B

$$R_A = \frac{(7 \cdot 10.1) + (9 \cdot 13.6) + (9 \cdot 14.8) + (11 \cdot 18.8) + (11 \cdot 25)}{25} = 32.32 \text{ T}$$

Reacción en el punto A = 32.32 T

Luego por efecto dinámico

$$\text{Reacción LL+IM} = 32.32 \cdot 1.33 = 42.99 \text{ T}$$

Para la sobrecarga distribuida (carril)

$$s/c = \frac{0.96 \cdot 25}{2} = 12 \text{ T}$$

Por lo tanto, la reacción por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$V \text{ LL +IM +carril} = 42.99 + 12 = 54.99 \text{ T}$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 19**

*Reacción máxima provocado por el vehículo C3R2 para luces de 25 a 50 metros*

<b>L (m)</b>	<b>D (m)</b>	<b>RA (T)</b>	<b>efecto dinámico (T)</b>	<b>S/c equivalente (T)</b>	<b>V (LL+IM)</b>
25	10.1	32.32	42.99	12	<b>54.99</b>
26	11.1	32.89	43.74	12.48	<b>56.22</b>
27	12.1	33.41	44.44	12.96	<b>57.4</b>
28	13.1	33.9	45.09	13.44	<b>58.53</b>
29	14.1	34.35	45.69	13.92	<b>59.61</b>
30	15.1	34.77	46.24	14.4	<b>60.64</b>
31	16.1	35.16	46.76	14.88	<b>61.64</b>
32	17.1	35.53	47.25	15.36	<b>62.61</b>
33	18.1	35.88	47.72	15.84	<b>63.56</b>
34	19.1	36.21	48.16	16.32	<b>64.48</b>
35	20.1	36.52	48.57	16.8	<b>65.37</b>
36	21.1	36.81	48.96	17.28	<b>66.24</b>
37	22.1	37.08	49.32	17.76	<b>67.08</b>
38	23.1	37.34	49.66	18.24	<b>67.9</b>
39	24.1	37.59	49.99	18.72	<b>68.71</b>
40	25.1	37.83	50.31	19.2	<b>69.51</b>
41	26.1	38.05	50.61	19.68	<b>70.29</b>
42	27.1	38.26	50.89	20.16	<b>71.05</b>
43	28.1	38.47	51.17	20.64	<b>71.81</b>
44	29.1	38.66	51.42	21.12	<b>72.54</b>
45	30.1	38.85	51.67	21.6	<b>73.27</b>
46	31.1	39.02	51.9	22.08	<b>73.98</b>
47	32.1	39.19	52.12	22.56	<b>74.68</b>
48	33.1	39.36	52.35	23.04	<b>75.39</b>
49	34.1	39.51	52.55	23.52	<b>76.07</b>
50	35.1	39.66	52.75	24	<b>76.75</b>

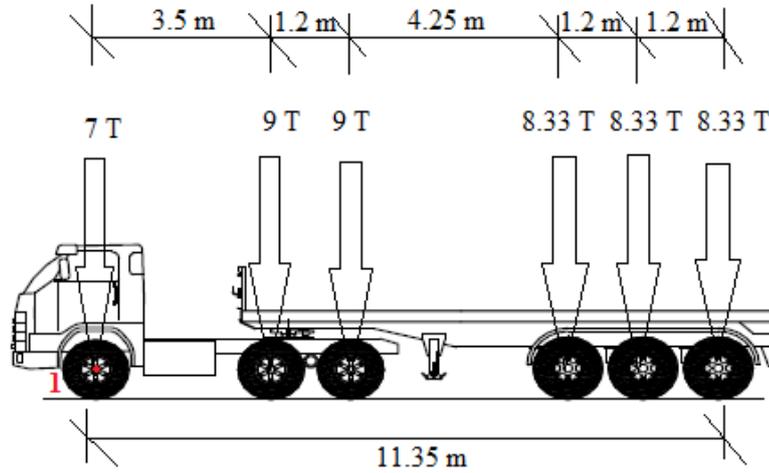
*Nota:* Autoría Propia

**j) Camión de diseño (T3S3)**

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 44**

*Vehículo T3S3 con sus cargas y distancia entre ejes*



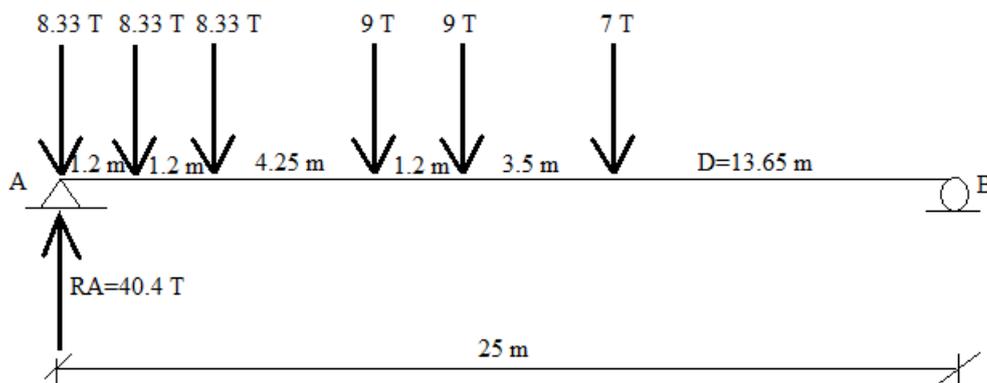
Fuente: Reglamento nacional de vehículos-2018

La máxima reacción ocurre posicionando el vehículo de la siguiente manera:

Distancia  $D=25-11.35=13.65$  m.

**Figura 45**

*Reacción máxima en el punto A usando el vehículo T3S3 con luz de 25 m*



Fuente: Autoría propia

Calcularemos la reacción en el punto A, tomamos momento en el punto B

$$R_A = \frac{(7*13.65)+(9*17.5)+(9*18.35)+(8.33*22.6)+(8.33*23.8)+(8.33*25)}{25} = 40.4 T$$

Reacción en el punto A=40.40 T

Luego por efecto dinámico

Reacción LL+IM=40.4\*1.33=53.73 T

Para la sobrecarga distribuida (carril)

$$S/c = \frac{0.96*25}{2} = 12 T$$

Por lo tanto, la reacción por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

V LL +IM +carril=53.73+12=65.73 T

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 20**

*Reacción máxima provocado por el vehículo T3S3 para luces de 25 a 50 metros*

<b>L (m)</b>	<b>D (m)</b>	<b>RA (T)</b>	<b>efecto dinámico (T)</b>	<b>S/c equivalente (T)</b>	<b>V (LL+IM)</b>
25	13.65	40.4	53.73	12	<b>65.73</b>
26	14.65	40.77	54.22	12.48	<b>66.7</b>
27	15.65	41.11	54.68	12.96	<b>67.64</b>
28	16.65	41.43	55.1	13.44	<b>68.54</b>
29	17.65	41.73	55.5	13.92	<b>69.42</b>
30	18.65	42	55.86	14.4	<b>70.26</b>
31	19.65	42.26	56.21	14.88	<b>71.09</b>
32	20.65	42.5	56.53	15.36	<b>71.89</b>
33	21.65	42.73	56.83	15.84	<b>72.67</b>
34	22.65	42.94	57.11	16.32	<b>73.43</b>
35	23.65	43.14	57.38	16.8	<b>74.18</b>
36	24.65	43.33	57.63	17.28	<b>74.91</b>
37	25.65	43.51	57.87	17.76	<b>75.63</b>
38	26.65	43.69	58.11	18.24	<b>76.35</b>
39	27.65	43.85	58.32	18.72	<b>77.04</b>
40	28.65	44	58.52	19.2	<b>77.72</b>
41	29.65	44.15	58.72	19.68	<b>78.4</b>

42	30.65	44.29	58.91	20.16	<b>79.07</b>
43	31.65	44.42	59.08	20.64	<b>79.72</b>
44	32.65	44.55	59.25	21.12	<b>80.37</b>
45	33.65	44.67	59.41	21.6	<b>81.01</b>
46	34.65	44.78	59.56	22.08	<b>81.64</b>
47	35.65	44.89	59.7	22.56	<b>82.26</b>
48	36.65	45	59.85	23.04	<b>82.89</b>
49	37.65	45.1	59.98	23.52	<b>83.5</b>
50	38.65	45.2	60.12	24	<b>84.12</b>

Nota: Autoría Propia

**Tabla 21**

*Reacción máxima provocado por el vehículo T2S3 para luces de 25 a 50 metros*

<b>Reacción (T)</b>				
<b>Luz (m)</b>	<b>Camión T2S3</b>	<b>Efecto dinámico</b>	<b>S/c equivalente</b>	<b>V (LL+IM)</b>
<b>25</b>	35.71	47.49	12	<b>59.49</b>
<b>26</b>	35.99	47.87	12.48	<b>60.35</b>
<b>27</b>	36.25	48.21	12.96	<b>61.17</b>
<b>28</b>	36.49	48.53	13.44	<b>61.97</b>
<b>29</b>	36.72	48.84	13.92	<b>62.76</b>
<b>30</b>	36.93	49.12	14.4	<b>63.52</b>
<b>31</b>	37.12	49.37	14.88	<b>64.25</b>
<b>32</b>	37.31	49.62	15.36	<b>64.98</b>
<b>33</b>	37.48	49.85	15.84	<b>65.69</b>
<b>34</b>	37.64	50.06	16.32	<b>66.38</b>
<b>35</b>	37.79	50.26	16.8	<b>67.06</b>
<b>36</b>	37.94	50.46	17.28	<b>67.74</b>
<b>37</b>	38.08	50.65	17.76	<b>68.41</b>
<b>38</b>	38.21	50.82	18.24	<b>69.06</b>
<b>39</b>	38.33	50.98	18.72	<b>69.7</b>
<b>40</b>	38.45	51.14	19.2	<b>70.34</b>
<b>41</b>	38.56	51.28	19.68	<b>70.96</b>
<b>42</b>	38.66	51.42	20.16	<b>71.58</b>
<b>43</b>	38.76	51.55	20.64	<b>72.19</b>
<b>44</b>	38.86	51.68	21.12	<b>72.8</b>
<b>45</b>	38.95	51.8	21.6	<b>73.4</b>
<b>46</b>	39.04	51.92	22.08	<b>74</b>
<b>47</b>	39.12	52.03	22.56	<b>74.59</b>
<b>48</b>	39.2	52.14	23.04	<b>75.18</b>
<b>49</b>	39.28	52.24	23.52	<b>75.76</b>
<b>50</b>	39.36	52.35	24	<b>76.35</b>

Nota: Autoría Propia

**Tabla 22**
*Reacción máxima provocado por el vehículo T3S2 para luces de 25 a 50 metros*

<b>Reacción (T)</b>				
<b>Luz (m)</b>	<b>Camión T3S2</b>	<b>Efecto dinámico</b>	<b>S/c equivalente</b>	<b>V (LL+IM)</b>
<b>25</b>	34.98	46.52	12	<b>58.52</b>
<b>26</b>	35.29	46.94	12.48	<b>59.42</b>
<b>27</b>	35.57	47.31	12.96	<b>60.27</b>
<b>28</b>	35.84	47.67	13.44	<b>61.11</b>
<b>29</b>	36.09	48	13.92	<b>61.92</b>
<b>30</b>	36.32	48.31	14.4	<b>62.71</b>
<b>31</b>	36.53	48.58	14.88	<b>63.46</b>
<b>32</b>	36.73	48.85	15.36	<b>64.21</b>
<b>33</b>	36.92	49.1	15.84	<b>64.94</b>
<b>34</b>	37.1	49.34	16.32	<b>65.66</b>
<b>35</b>	37.27	49.57	16.8	<b>66.37</b>
<b>36</b>	37.43	49.78	17.28	<b>67.06</b>
<b>37</b>	37.58	49.98	17.76	<b>67.74</b>
<b>38</b>	37.72	50.17	18.24	<b>68.41</b>
<b>39</b>	37.86	50.35	18.72	<b>69.07</b>
<b>40</b>	37.99	50.53	19.2	<b>69.73</b>
<b>41</b>	38.11	50.69	19.68	<b>70.37</b>
<b>42</b>	38.23	50.85	20.16	<b>71.01</b>
<b>43</b>	38.34	50.99	20.64	<b>71.63</b>
<b>44</b>	38.44	51.13	21.12	<b>72.25</b>
<b>45</b>	38.54	51.26	21.6	<b>72.86</b>
<b>46</b>	38.64	51.39	22.08	<b>73.47</b>
<b>47</b>	38.73	51.51	22.56	<b>74.07</b>
<b>48</b>	38.82	51.63	23.04	<b>74.67</b>
<b>49</b>	38.91	51.75	23.52	<b>75.27</b>
<b>50</b>	38.99	51.86	24	<b>75.86</b>

*Nota: Autoría Propia*

**Tabla 23**
*Reacción máxima provocado por el vehículo C2R3 para luces de 25 a 50 metros*

Luz (m)	Camión C2R3	Reacción (T)		
		Efecto dinámico	S/c equivalente	V (LL+IM)
25	36.4	48.41	12	<b>60.41</b>
26	36.8	48.94	12.48	<b>61.42</b>
27	37.18	49.45	12.96	<b>62.41</b>
28	37.53	49.91	13.44	<b>63.35</b>
29	37.86	50.35	13.92	<b>64.27</b>
30	38.16	50.75	14.4	<b>65.15</b>
31	38.45	51.14	14.88	<b>66.02</b>
32	38.72	51.5	15.36	<b>66.86</b>
33	38.97	51.83	15.84	<b>67.67</b>
34	39.2	52.14	16.32	<b>68.46</b>
35	39.43	52.44	16.8	<b>69.24</b>
36	39.64	52.72	17.28	<b>70</b>
37	39.84	52.99	17.76	<b>70.75</b>
38	40.02	53.23	18.24	<b>71.47</b>
39	40.2	53.47	18.72	<b>72.19</b>
40	40.37	53.69	19.2	<b>72.89</b>
41	40.53	53.9	19.68	<b>73.58</b>
42	40.69	54.12	20.16	<b>74.28</b>
43	40.83	54.3	20.64	<b>74.94</b>
44	40.98	54.5	21.12	<b>75.62</b>
45	41.11	54.68	21.6	<b>76.28</b>
46	41.24	54.85	22.08	<b>76.93</b>
47	41.36	55.01	22.56	<b>77.57</b>
48	41.48	55.17	23.04	<b>78.21</b>
49	41.59	55.31	23.52	<b>78.83</b>
50	41.7	55.46	24	<b>79.46</b>

*Nota: Autoría Propia*

**Tabla 24**
*Reacción máxima provocado por el vehículo C3R2 para luces de 25 a 50 metros*

Luz (m)	Camión C3R2	Reacción (T)		
		Efecto dinámico	S/c equivalente	V (LL+IM)
25	32.32	42.99	12	54.99
26	32.89	43.74	12.48	56.22
27	33.41	44.44	12.96	57.4
28	33.9	45.09	13.44	58.53
29	34.35	45.69	13.92	59.61
30	34.77	46.24	14.4	60.64
31	35.16	46.76	14.88	61.64
32	35.53	47.25	15.36	62.61
33	35.88	47.72	15.84	63.56
34	36.21	48.16	16.32	64.48
35	36.52	48.57	16.8	65.37
36	36.81	48.96	17.28	66.24
37	37.08	49.32	17.76	67.08
38	37.34	49.66	18.24	67.9
39	37.59	49.99	18.72	68.71
40	37.83	50.31	19.2	69.51
41	38.05	50.61	19.68	70.29
42	38.26	50.89	20.16	71.05
43	38.47	51.17	20.64	71.81
44	38.66	51.42	21.12	72.54
45	38.85	51.67	21.6	73.27
46	39.02	51.9	22.08	73.98
47	39.19	52.12	22.56	74.68
48	39.36	52.35	23.04	75.39
49	39.51	52.55	23.52	76.07
50	39.66	52.75	24	76.75

*Nota: Autoría Propia*

**Tabla 25**
*Reacción máxima provocado por el vehículo T3S3 para luces de 25 a 50 metros*

Luz (m)	Camión T3S3	Reacción (T)		
		Efecto dinámico	S/c equivalente	V (LL+IM)
25	40.4	53.73	12	<b>65.73</b>
26	40.77	54.22	12.48	<b>66.7</b>
27	41.11	54.68	12.96	<b>67.64</b>
28	41.43	55.1	13.44	<b>68.54</b>
29	41.73	55.5	13.92	<b>69.42</b>
30	42	55.86	14.4	<b>70.26</b>
31	42.26	56.21	14.88	<b>71.09</b>
32	42.5	56.53	15.36	<b>71.89</b>
33	42.73	56.83	15.84	<b>72.67</b>
34	42.94	57.11	16.32	<b>73.43</b>
35	43.14	57.38	16.8	<b>74.18</b>
36	43.33	57.63	17.28	<b>74.91</b>
37	43.51	57.87	17.76	<b>75.63</b>
38	43.69	58.11	18.24	<b>76.35</b>
39	43.85	58.32	18.72	<b>77.04</b>
40	44	58.52	19.2	<b>77.72</b>
41	44.15	58.72	19.68	<b>78.4</b>
42	44.29	58.91	20.16	<b>79.07</b>
43	44.42	59.08	20.64	<b>79.72</b>
44	44.55	59.25	21.12	<b>80.37</b>
45	44.67	59.41	21.6	<b>81.01</b>
46	44.78	59.56	22.08	<b>81.64</b>
47	44.89	59.7	22.56	<b>82.26</b>
48	45	59.85	23.04	<b>82.89</b>
49	45.1	59.98	23.52	<b>83.5</b>
50	45.2	60.12	24	<b>84.12</b>

*Nota: Autoría Propia*

**Procedimiento para analizar los resultados de comparación del momento máximo y reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 con el vehículo HL-93 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.**

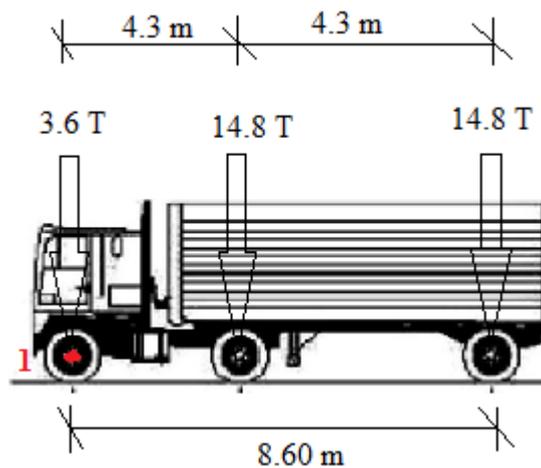
Sobrecarga vehicular- carga viva- método líneas de influencia

Camión de diseño (HL-93)

- Para una longitud de puente de 25 metros

**Figura 46**

*Camión de diseño (HL-93)*



Fuente: Normas americanas AASHTO LRFD-2014

Luego se calculará el momento respecto al punto 1

**Tabla 26**

*Momento respecto al punto 1 del vehículo HL-93*

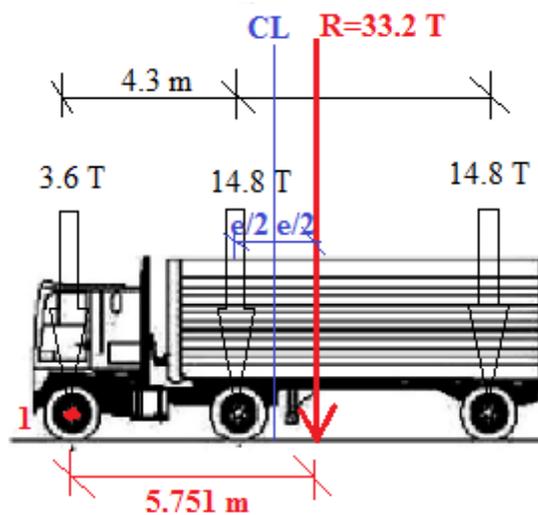
<b>i</b>	<b>Pi (T)</b>	<b>Di (m)</b>	<b>Mi (T-m)</b>
<b>1</b>	3.6	0	0
<b>2</b>	14.8	4.3	63.64
<b>3</b>	15	8.6	127.28
<b>Total</b>	<b>33.2</b>	<b>8.6</b>	<b>190.92</b>

*Nota: Autoría Propia*

$$x(m) = \frac{190.92 \text{ T-m}}{33.2 \text{ T}} = 5.751 \text{ m}$$

**Figura 47**

*Distancia entre la resultante y la carga más próxima del vehículo HL-93*



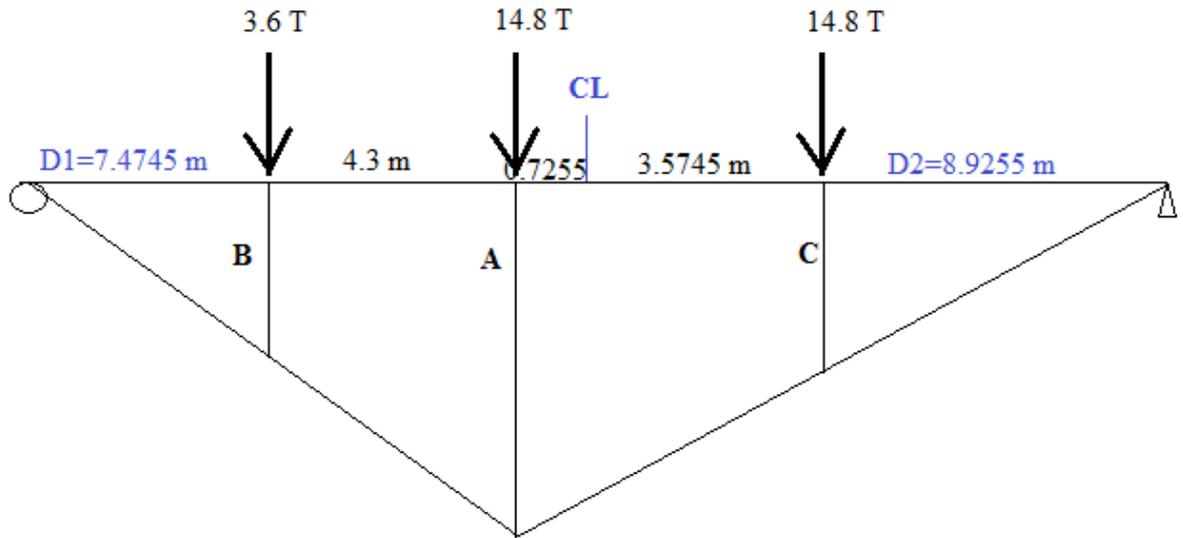
*Fuente: Autoría Propia*

$$e(m) = 5.751 \text{ m} - 4.3 \text{ m} = 1.451 \text{ m}$$

$$e/2(m) = 1.451/2 = 0.7255 \text{ m}$$

**Figura 48**

*Línea de influencia de momentos del vehículo HL-93 para luz de 25 metros*



Fuente: Autoría Propia

$$A = \frac{11.7745 \cdot 13.2255}{25} = 6.229$$

$$B = \frac{7.4745 \cdot 6.229}{11.7745} = 3.954$$

$$C = \frac{8.9255 \cdot 6.229}{13.2255} = 4.2038$$

Para la línea de momentos a la carga más cercana al centro de luz, es decir al de 14.8 toneladas.

$$\text{Momento} = 6.229 \cdot 14.8 + 3.954 \cdot 3.6 + 4.2038 \cdot 14.8$$

$$\text{Momento} = 168.640 \text{ T-m}$$

Luego por efecto dinámico

$$\text{Momento LL+IM} = 168.64 \cdot 1.33 = 224.291 \text{ T-m}$$

Para la sobrecarga vehicular

$$M_{\text{carril}} = \frac{0.96 \cdot 25^2}{8} = 75 \text{ T-m}$$

Por lo tanto, el momento por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$M_{LL+IM+carril}=224.291+75=299.291 \text{ T-m}$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 27**

*Momento máximo provocado por el vehículo HL-93 para luces de 25 a 50 metros*

<b>L (m)</b>	<b>d1 (m)</b>	<b>d2 (m)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>M (T-m)</b>	<b>M LL+IM (T-m)</b>	<b>M carril (T-m)</b>	<b>M LL+IM+carril</b>
<b>25</b>	7.4745	8.9255	6.229	3.954	4.2038	168.64	224.291	75	<b>299.291</b>
<b>26</b>	7.9745	9.4255	6.48	4.21	4.4499	176.919	235.302	81.12	<b>316.422</b>
<b>27</b>	8.4745	9.9255	6.731	4.465	4.6964	185.2	246.316	87.48	<b>333.796</b>
<b>28</b>	8.9745	10.4255	6.981	4.72	4.9425	193.46	257.302	94.08	<b>351.382</b>
<b>29</b>	9.4745	10.9255	7.232	4.974	5.1895	201.745	268.321	100.92	<b>369.241</b>
<b>30</b>	9.9745	11.4255	7.482	5.228	5.4361	210.009	279.312	108	<b>387.312</b>
<b>31</b>	10.4745	11.9255	7.733	5.482	5.6836	218.301	290.34	115.32	<b>405.66</b>
<b>32</b>	10.9745	12.4255	7.984	5.736	5.9314	226.598	301.375	122.88	<b>424.255</b>
<b>33</b>	11.4745	12.9255	8.234	5.989	6.1785	234.865	312.37	130.68	<b>443.05</b>
<b>34</b>	11.9745	13.4255	8.485	6.243	6.4266	243.166	323.411	138.72	<b>462.131</b>
<b>35</b>	12.4745	13.9255	8.735	6.496	6.6741	251.44	334.415	147	<b>481.415</b>
<b>36</b>	12.9745	14.4255	8.985	6.748	6.9217	259.712	345.417	155.52	<b>500.937</b>
<b>37</b>	13.4745	14.9255	9.236	7.002	7.1703	268.02	356.467	164.28	<b>520.747</b>
<b>38</b>	13.9745	15.4255	9.486	7.254	7.4181	276.295	367.472	173.28	<b>540.752</b>
<b>39</b>	14.4745	15.9255	9.737	7.507	7.6669	284.603	378.522	182.52	<b>561.042</b>
<b>40</b>	14.9745	16.4255	9.987	7.759	7.915	292.882	389.533	192	<b>581.533</b>
<b>41</b>	15.4745	16.9255	10.24	8.011	8.1631	301.161	400.544	201.72	<b>602.264</b>
<b>42</b>	15.9745	17.4255	10.49	8.263	8.4114	309.443	411.559	211.68	<b>623.239</b>
<b>43</b>	16.4745	17.9255	10.74	8.515	8.6605	317.752	422.61	221.88	<b>644.49</b>
<b>44</b>	16.9745	18.4255	10.99	8.767	8.9089	326.035	433.627	232.32	<b>665.947</b>
<b>45</b>	17.4745	18.9255	11.24	9.019	9.1574	334.32	444.646	243	<b>687.646</b>
<b>46</b>	17.9745	19.4255	11.49	9.271	9.4067	342.632	455.701	253.92	<b>709.621</b>
<b>47</b>	18.4745	19.9255	11.74	9.523	9.6553	350.918	466.721	265.08	<b>731.801</b>
<b>48</b>	18.9745	20.4255	11.99	9.774	9.904	359.203	477.74	276.48	<b>754.22</b>
<b>49</b>	19.4745	20.9255	12.24	10.025	10.1527	367.487	488.758	288.12	<b>776.878</b>
<b>50</b>	19.9745	21.4255	12.49	10.277	10.4015	375.777	499.783	300	<b>799.783</b>

*Nota:* Autoría Propia

**Tabla 28**
*Momento máximo provocado por el vehículo HL-93 para luces de 25 a 50 metros*

<b>Momento (T-m)</b>				
<b>Luz (m)</b>	<b>Camión HL-93</b>	<b>Efecto dinámico</b>	<b>S/c equivalente</b>	<b>M (LL+IM)</b>
<b>25</b>	168.64	224.291	75	<b>299.291</b>
<b>26</b>	176.919	235.302	81.12	<b>316.422</b>
<b>27</b>	185.2	246.316	87.48	<b>333.796</b>
<b>28</b>	193.46	257.302	94.08	<b>351.382</b>
<b>29</b>	201.745	268.321	100.92	<b>369.241</b>
<b>30</b>	210.009	279.312	108	<b>387.312</b>
<b>31</b>	218.301	290.34	115.32	<b>405.66</b>
<b>32</b>	226.598	301.375	122.88	<b>424.255</b>
<b>33</b>	234.865	312.37	130.68	<b>443.05</b>
<b>34</b>	243.166	323.411	138.72	<b>462.131</b>
<b>35</b>	251.44	334.415	147	<b>481.415</b>
<b>36</b>	259.712	345.417	155.52	<b>500.937</b>
<b>37</b>	268.02	356.467	164.28	<b>520.747</b>
<b>38</b>	276.295	367.472	173.28	<b>540.752</b>
<b>39</b>	284.603	378.522	182.52	<b>561.042</b>
<b>40</b>	292.882	389.533	192	<b>581.533</b>
<b>41</b>	301.161	400.544	201.72	<b>602.264</b>
<b>42</b>	309.443	411.559	211.68	<b>623.239</b>
<b>43</b>	317.752	422.61	221.88	<b>644.49</b>
<b>44</b>	326.035	433.627	232.32	<b>665.947</b>
<b>45</b>	334.32	444.646	243	<b>687.646</b>
<b>46</b>	342.632	455.701	253.92	<b>709.621</b>
<b>47</b>	350.918	466.721	265.08	<b>731.801</b>
<b>48</b>	359.203	477.74	276.48	<b>754.22</b>
<b>49</b>	367.487	488.758	288.12	<b>776.878</b>
<b>50</b>	375.777	499.783	300	<b>799.783</b>

*Nota:* Autoría Propia

La máxima reacción ocurre posicionando el vehículo de la siguiente manera:

Camión de diseño (HL-93)

- Para una longitud de puente de 25 metros

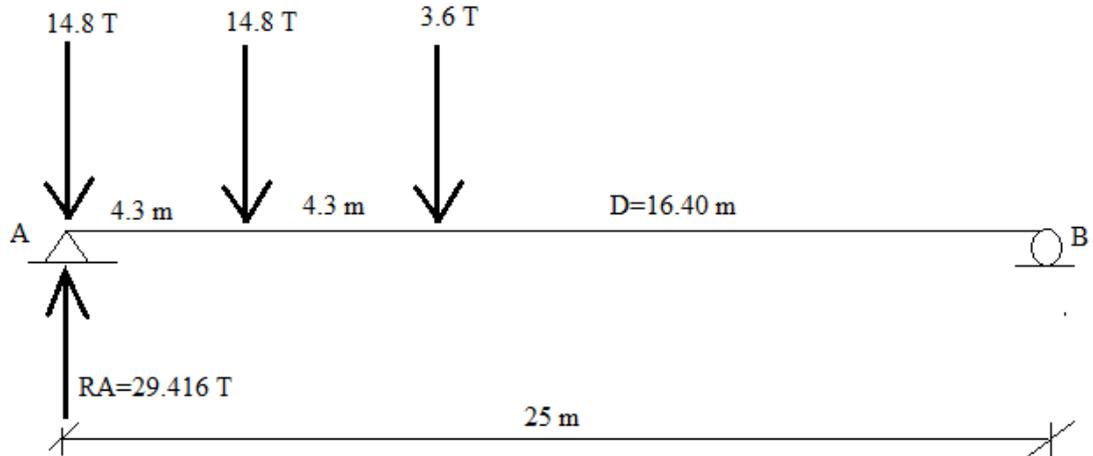
Distancia  $D=25-4.3-4.3=16.40$  m

Calcularemos la reacción en el punto A, tomamos momento en el punto B

$$R_A = \frac{(3.6 \cdot 16.40) + (14.8 \cdot 20.7) + (14.8 \cdot 25)}{25} = 29.42 \text{ T}$$

**Figura 49**

Reacción máxima en el punto A usando el vehículo HL-93 con luz de 25 m



Fuente: Autoría propia

Reacción en el punto A=29.42 T

Luego por efecto dinámico

Reacción LL+IM=29.42\*1.33=39.13 T

Para la sobrecarga distribuida (carril)

$$s/c = \frac{0.96 \cdot 25}{2} = 12 \text{ T}$$

Por lo tanto, la reacción por sobrecarga vehicular por vía incluido impacto es:

$$V \text{ LL+IM+carril} = 39.13 + 12 = 51.13 \text{ T}$$

El cálculo es similar para las longitudes siguientes, por lo cual se ha elaborado una tabla para mejor proceso y organización.

**Tabla 29**

*Reacción máxima provocado por el vehículo HL-93 para luces de 25 a 50 metros*

<b>L (m)</b>	<b>D (m)</b>	<b>RA (T)</b>	<b>efecto dinámico (T)</b>	<b>S/c equivalente (T)</b>	<b>V (LL+IM)</b>
<b>25</b>	16.4	29.42	39.13	12	<b>51.13</b>
<b>26</b>	17.4	29.56	39.31	12.48	<b>51.79</b>
<b>27</b>	18.4	29.7	39.5	12.96	<b>52.46</b>
<b>28</b>	19.4	29.82	39.66	13.44	<b>53.1</b>
<b>29</b>	20.4	29.94	39.82	13.92	<b>53.74</b>
<b>30</b>	21.4	30.05	39.97	14.4	<b>54.37</b>
<b>31</b>	22.4	30.15	40.1	14.88	<b>54.98</b>
<b>32</b>	23.4	30.24	40.22	15.36	<b>55.58</b>
<b>33</b>	24.4	30.33	40.34	15.84	<b>56.18</b>
<b>34</b>	25.4	30.42	40.46	16.32	<b>56.78</b>
<b>35</b>	26.4	30.5	40.57	16.8	<b>57.37</b>
<b>36</b>	27.4	30.57	40.66	17.28	<b>57.94</b>
<b>37</b>	28.4	30.64	40.75	17.76	<b>58.51</b>
<b>38</b>	29.4	30.71	40.84	18.24	<b>59.08</b>
<b>39</b>	30.4	30.77	40.92	18.72	<b>59.64</b>
<b>40</b>	31.4	30.84	41.02	19.2	<b>60.22</b>
<b>41</b>	32.4	30.89	41.08	19.68	<b>60.76</b>
<b>42</b>	33.4	30.95	41.16	20.16	<b>61.32</b>
<b>43</b>	34.4	31	41.23	20.64	<b>61.87</b>
<b>44</b>	35.4	31.05	41.3	21.12	<b>62.42</b>
<b>45</b>	36.4	31.1	41.36	21.6	<b>62.96</b>
<b>46</b>	37.4	31.14	41.42	22.08	<b>63.5</b>
<b>47</b>	38.4	31.19	41.48	22.56	<b>64.04</b>
<b>48</b>	39.4	31.23	41.54	23.04	<b>64.58</b>
<b>49</b>	40.4	31.27	41.59	23.52	<b>65.11</b>
<b>50</b>	41.4	31.31	41.64	24	<b>65.64</b>

*Nota:* Autoría Propia

**Tabla 30**

*Reacción máxima provocado por el vehículo HL-93 para luces de 25 a 50 metros*

<b>Reacción (T)</b>				
<b>Luz (m)</b>	<b>Camión HL-93</b>	<b>Efecto dinámico</b>	<b>S/c equivalente</b>	<b>V (LL+IM)</b>
<b>25</b>	29.42	39.13	12	<b>51.13</b>
<b>26</b>	29.56	39.31	12.48	<b>51.79</b>
<b>27</b>	29.7	39.5	12.96	<b>52.46</b>

<b>28</b>	29.82	39.66	13.44	<b>53.1</b>
<b>29</b>	29.94	39.82	13.92	<b>53.74</b>
<b>30</b>	30.05	39.97	14.4	<b>54.37</b>
<b>31</b>	30.15	40.1	14.88	<b>54.98</b>
<b>32</b>	30.24	40.22	15.36	<b>55.58</b>
<b>33</b>	30.33	40.34	15.84	<b>56.18</b>
<b>34</b>	30.42	40.46	16.32	<b>56.78</b>
<b>35</b>	30.5	40.57	16.8	<b>57.37</b>
<b>36</b>	30.57	40.66	17.28	<b>57.94</b>
<b>37</b>	30.64	40.75	17.76	<b>58.51</b>
<b>38</b>	30.71	40.84	18.24	<b>59.08</b>
<b>39</b>	30.77	40.92	18.72	<b>59.64</b>
<b>40</b>	30.84	41.02	19.2	<b>60.22</b>
<b>41</b>	30.89	41.08	19.68	<b>60.76</b>
<b>42</b>	30.95	41.16	20.16	<b>61.32</b>
<b>43</b>	31	41.23	20.64	<b>61.87</b>
<b>44</b>	31.05	41.3	21.12	<b>62.42</b>
<b>45</b>	31.1	41.36	21.6	<b>62.96</b>
<b>46</b>	31.14	41.42	22.08	<b>63.5</b>
<b>47</b>	31.19	41.48	22.56	<b>64.04</b>
<b>48</b>	31.23	41.54	23.04	<b>64.58</b>
<b>49</b>	31.27	41.59	23.52	<b>65.11</b>
<b>50</b>	31.31	41.64	24	<b>65.64</b>

*Nota:* Autoría Propia

### **Aspectos éticos**

En la realización de la presente investigación, se ha cumplido con la ética profesional, desde su punto de vista especulativo con los pilares de la moral personal y social; y desde el punto de vista práctico, a través de normas y reglas de conducta para satisfacer el bien común, con juicio de valor que se atribuye a las cosas por su fin existencial y a las personas por su naturaleza racional, enmarcadas en la ética de quienes formamos parte de la Universidad Privada del Norte (UPN).

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

**Momentos máximo-obtenidos por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.**

De acuerdo con los procedimientos detallados anteriormente se consideró las tablas donde se indica la luz del puente simplemente apoyado desde los 25 a 50 metros de longitud, también el momento del camión de diseño en T-m, el efecto dinámico correspondiente a 1.33, y el factor equivalente o sobrecarga que se general con el camión o vehículo de diseño y por último el momento máximo generado el camión de diseño ya con el factor dinámico y la sobre carga de impacto M(LL+IM).

Luego se realizó un cuadro donde solamente este el momento máximo de cada vehículo es decir el M (LL+IM)

**Tabla 31**

*Momento máximo provocado por el vehículo T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3*

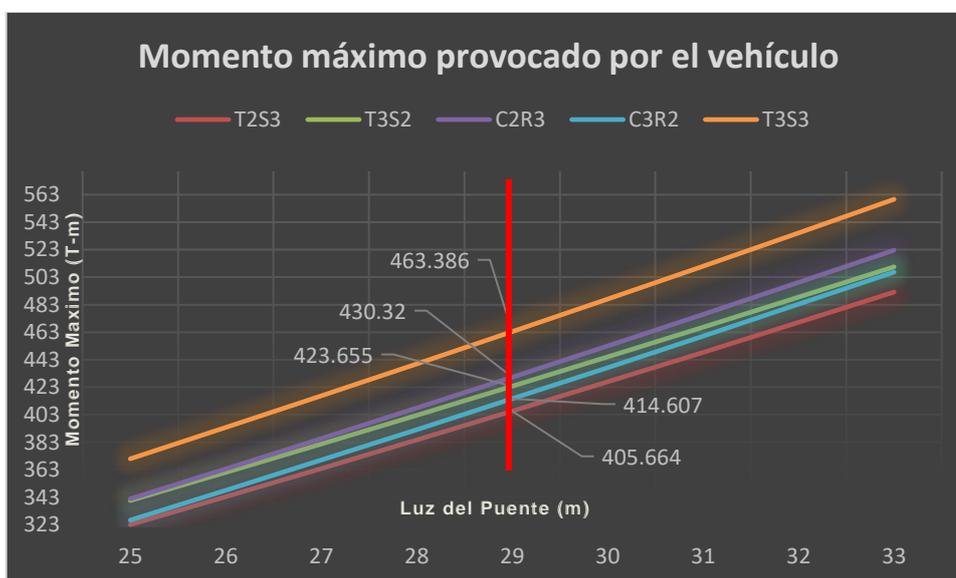
Luz (m)	M(LL+IM) T-m				
	T2S3	T3S2	C2R3	C3R2	T3S3
25	323.106	340.604	341.918	326.382	370.96
26	343.379	361.024	363.657	348.066	393.687
27	363.871	381.644	385.634	370	416.684
28	384.664	402.508	407.858	392.173	439.931
29	405.664	423.655	430.32	414.607	463.386
30	426.922	444.999	453.023	437.28	487.094
31	448.437	466.589	475.964	460.148	511.01
32	470.198	488.468	499.145	483.311	535.215
33	492.178	510.533	522.608	506.675	559.625
34	514.438	532.851	546.277	530.321	584.289
35	536.911	555.4	570.177	554.218	609.198
36	559.674	578.246	594.324	578.311	634.361
37	582.639	601.281	618.701	602.697	659.717
38	605.856	624.558	643.329	627.273	685.371
39	629.357	648.079	668.195	652.088	711.22
40	653.07	671.84	693.301	677.205	737.317
41	677.018	695.834	718.646	702.509	763.657

<b>42</b>	701.214	720.13	744.22	728.098	790.239
<b>43</b>	725.657	744.606	770.046	753.881	817.074
<b>44</b>	750.346	769.333	796.111	779.918	844.143
<b>45</b>	775.281	794.293	822.424	806.235	871.469
<b>46</b>	800.402	819.493	848.967	832.751	899.033
<b>47</b>	825.825	844.944	875.752	859.505	926.783
<b>48</b>	851.486	870.628	902.774	886.546	954.837
<b>49</b>	877.388	896.602	930.038	913.791	983.07
<b>50</b>	903.539	922.766	957.54	941.266	1011.555

Nota: Autoría Propia

### Figura 50

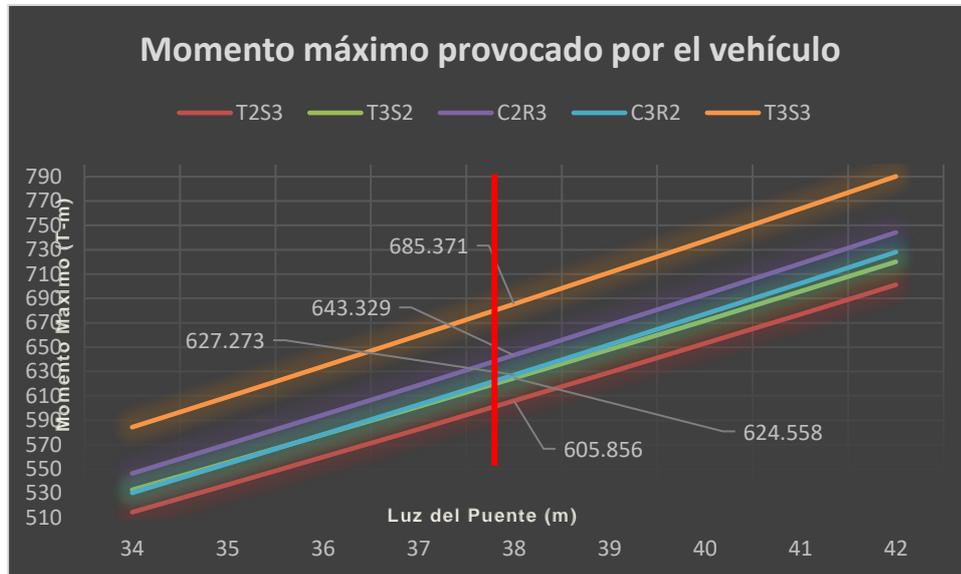
Momento Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio 29m)



Fuente: Autoría Propia

**Figura 51**

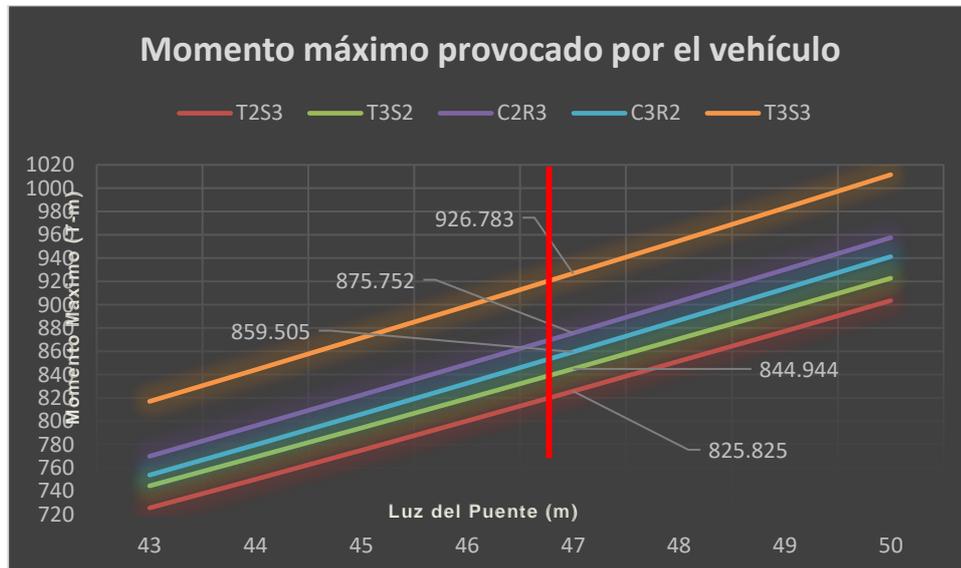
*Momento Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio 38m)*



Fuente: Autoría Propia

**Figura 52**

*Momento Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio 47m)*



Fuente: Autoría Propia

Como podemos observar el vehículo que genera más momento es el T3S3 con 1011.55 toneladas-metro para una luz de 50 metros y luego el C2R3 con un momento de 957.54 T-m

**Figura 53**

*Estadística por columnas de los momentos máximos de los vehículos más pesados*



*Fuente: Autoría Propia*

**Reacciones máximas obtenidas por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022**

De acuerdo con los procedimientos detallados anteriormente se consideró las tablas donde se indica la luz del puente simplemente apoyado desde los 25 a 50 metros de longitud, también la reacción del camión de diseño en T, el efecto dinámico correspondiente a 1.33, y el factor equivalente o sobrecarga que se general con el camión o vehículo de diseño y por último el momento máximo generado el camión de diseño ya con el factor dinámico y la sobre carga de impacto V (LL+IM).

Luego se realizó un cuadro donde solamente este las reacciones máximas de cada vehículo es decir el V (LL+IM)

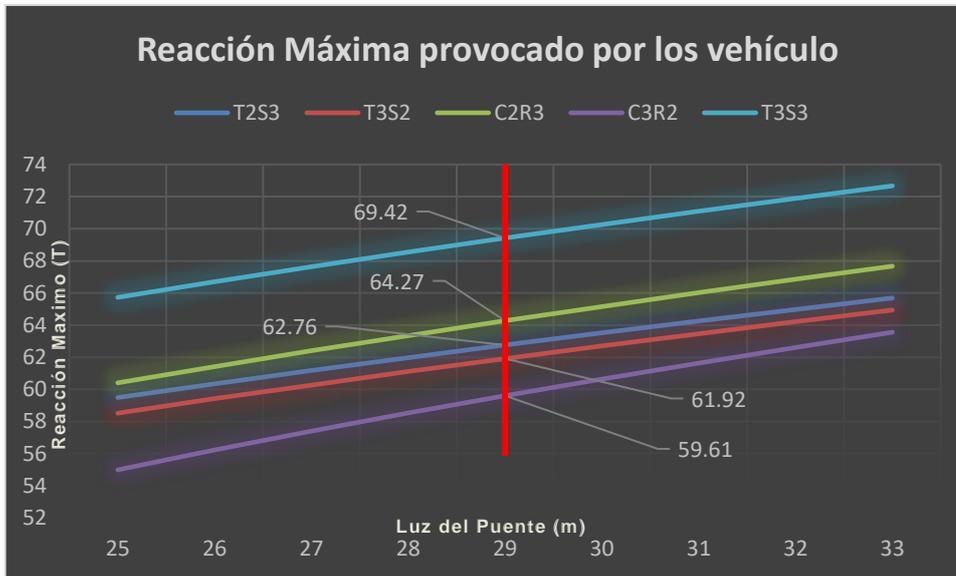
**Tabla 32**
*Reacción Máxima provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3*

<b>V(LL+IM) T</b>					
<b>Luz (m)</b>	<b>T2S3</b>	<b>T3S2</b>	<b>C2R3</b>	<b>C3R2</b>	<b>T3S3</b>
25	59.49	58.52	60.41	54.99	65.73
26	60.35	59.42	61.42	56.22	66.7
27	61.17	60.27	62.41	57.4	67.64
28	61.97	61.11	63.35	58.53	68.54
29	62.76	61.92	64.27	59.61	69.42
30	63.52	62.71	65.15	60.64	70.26
31	64.25	63.46	66.02	61.64	71.09
32	64.98	64.21	66.86	62.61	71.89
33	65.69	64.94	67.67	63.56	72.67
34	66.38	65.66	68.46	64.48	73.43
35	67.06	66.37	69.24	65.37	74.18
36	67.74	67.06	70	66.24	74.91
37	68.41	67.74	70.75	67.08	75.63
38	69.06	68.41	71.47	67.9	76.35
39	69.7	69.07	72.19	68.71	77.04
40	70.34	69.73	72.89	69.51	77.72
41	70.96	70.37	73.58	70.29	78.4
42	71.58	71.01	74.28	71.05	79.07
43	72.19	71.63	74.94	71.81	79.72
44	72.8	72.25	75.62	72.54	80.37
45	73.4	72.86	76.28	73.27	81.01
46	74	73.47	76.93	73.98	81.64
47	74.59	74.07	77.57	74.68	82.26
48	75.18	74.67	78.21	75.39	82.89
49	75.76	75.27	78.83	76.07	83.5
50	76.35	75.86	79.46	76.75	84.12

*Nota: Autoría Propia*

**Figura 54**

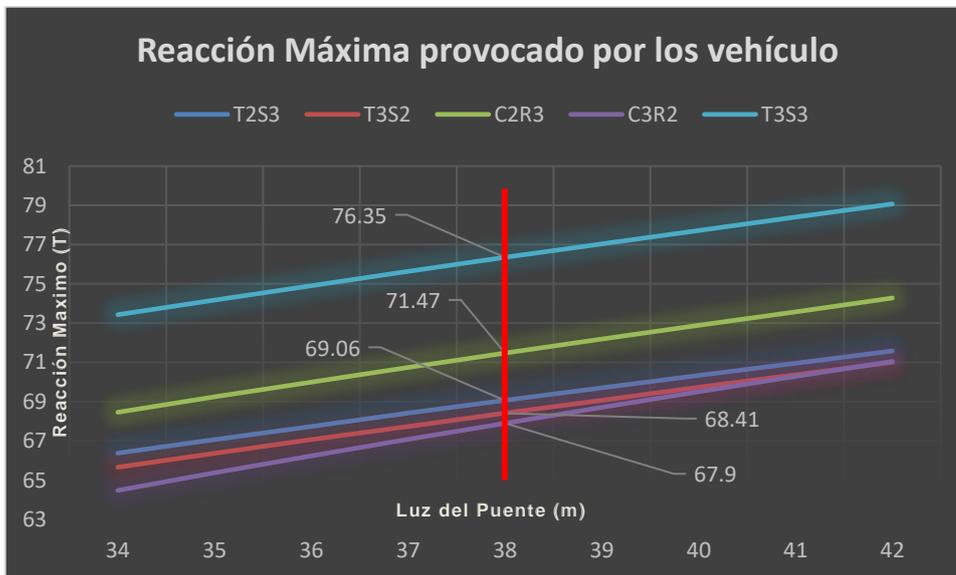
*Reacción Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 29m)*



Fuente: Autoría Propia

**Figura 55**

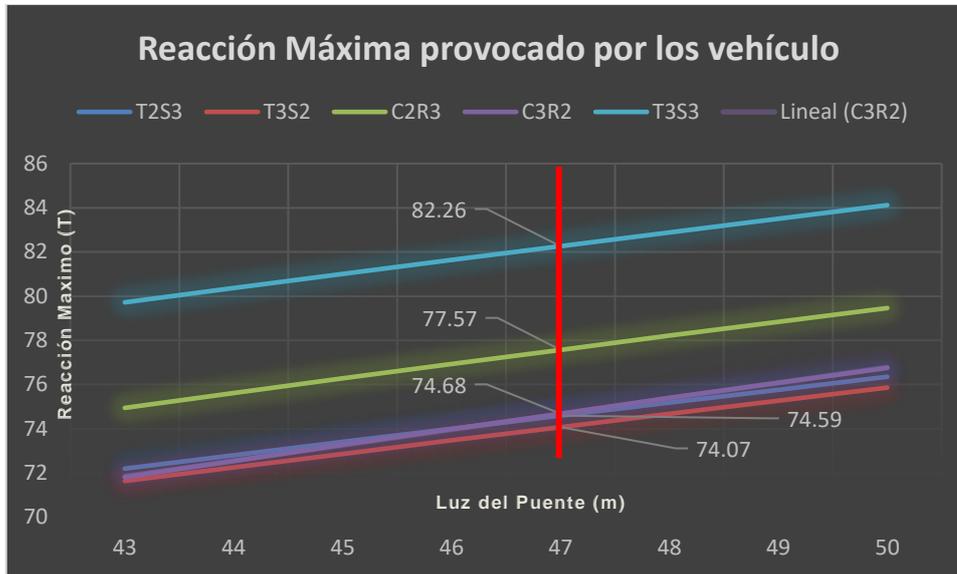
*Reacción Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 38m)*



Fuente: Autoría Propia

**Figura 56**

*Reacción Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 47m)*



*Fuente: Autoría Propia*

Como podemos observar el vehículo que genera más reacción es el T3S3 con 84.12 toneladas para una luz de 50 metros y luego el C2R3 con una reacción de 79.46 T

**Resultados de comparación del momento máximo y reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 con el vehículo HL-93 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022**

De acuerdo con los procedimientos detallados anteriormente se consideró las tablas donde se indica la luz del puente simplemente apoyado desde los 25 a 50 metros de longitud, también el momento del camión de diseño en T-m, el efecto dinámico correspondiente a 1.33, y el factor equivalente o sobrecarga que se general con el camión o vehículo de diseño y por último el momento máximo generado el camión de diseño ya con el factor dinámico y la sobrecarga de impacto  $M(LL+IM)$ .

Luego se realizó un cuadro donde solamente este el momento máximo de cada vehículo es decir el M (LL+IM)

**Tabla 33**

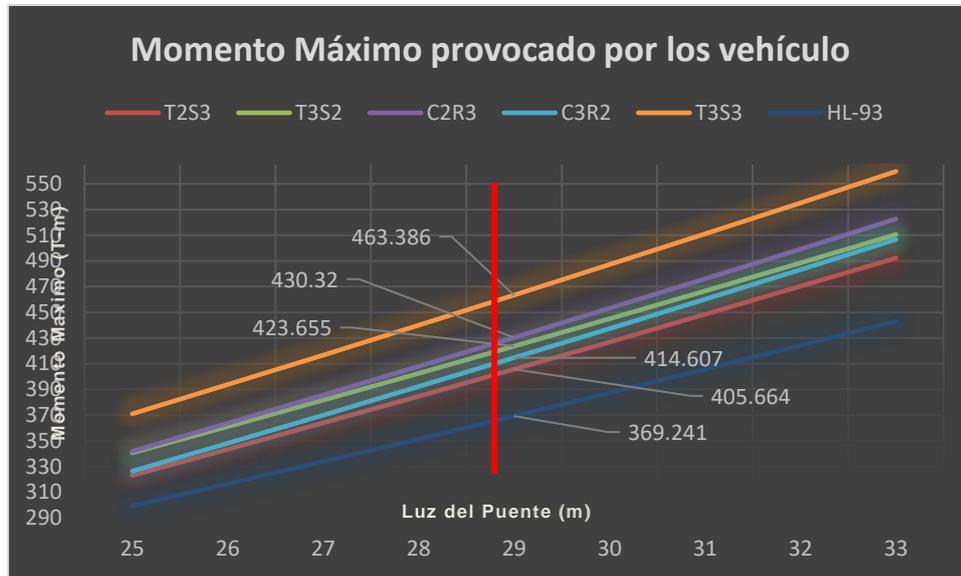
*Momento Máximo provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 y HL-93*

<b>M(LL+IM) T-m</b>						
<b>Luz (m)</b>	<b>T2S3</b>	<b>T3S2</b>	<b>C2R3</b>	<b>C3R2</b>	<b>T3S3</b>	<b>HL-93</b>
<b>25</b>	323.106	340.604	341.918	326.382	370.96	299.291
<b>26</b>	343.379	361.024	363.657	348.066	393.687	316.422
<b>27</b>	363.871	381.644	385.634	370	416.684	333.796
<b>28</b>	384.664	402.508	407.858	392.173	439.931	351.382
<b>29</b>	405.664	423.655	430.32	414.607	463.386	369.241
<b>30</b>	426.922	444.999	453.023	437.28	487.094	387.312
<b>31</b>	448.437	466.589	475.964	460.148	511.01	405.66
<b>32</b>	470.198	488.468	499.145	483.311	535.215	424.255
<b>33</b>	492.178	510.533	522.608	506.675	559.625	443.05
<b>34</b>	514.438	532.851	546.277	530.321	584.289	462.131
<b>35</b>	536.911	555.4	570.177	554.218	609.198	481.415
<b>36</b>	559.674	578.246	594.324	578.311	634.361	500.937
<b>37</b>	582.639	601.281	618.701	602.697	659.717	520.747
<b>38</b>	605.856	624.558	643.329	627.273	685.371	540.752
<b>39</b>	629.357	648.079	668.195	652.088	711.22	561.042
<b>40</b>	653.07	671.84	693.301	677.205	737.317	581.533
<b>41</b>	677.018	695.834	718.646	702.509	763.657	602.264
<b>42</b>	701.214	720.13	744.22	728.098	790.239	623.239
<b>43</b>	725.657	744.606	770.046	753.881	817.074	644.49
<b>44</b>	750.346	769.333	796.111	779.918	844.143	665.947
<b>45</b>	775.281	794.293	822.424	806.235	871.469	687.646
<b>46</b>	800.402	819.493	848.967	832.751	899.033	709.621
<b>47</b>	825.825	844.944	875.752	859.505	926.783	731.801
<b>48</b>	851.486	870.628	902.774	886.546	954.837	754.22
<b>49</b>	877.388	896.602	930.038	913.791	983.07	776.878
<b>50</b>	903.539	922.766	957.54	941.266	1011.555	799.783

*Nota: Autoría Propia*

**Figura 57**

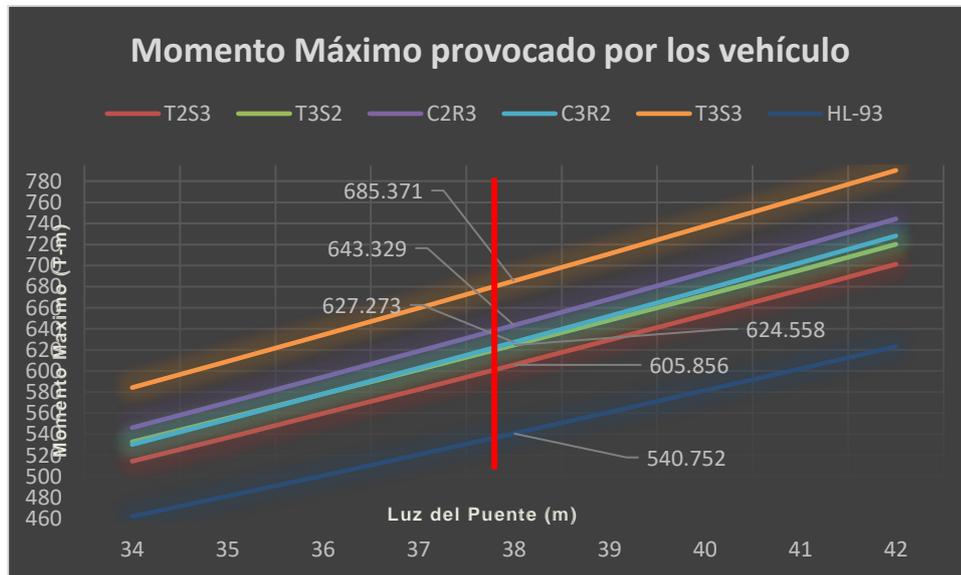
*Momento Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 29m)*



Fuente: Autoría Propia

**Figura 58**

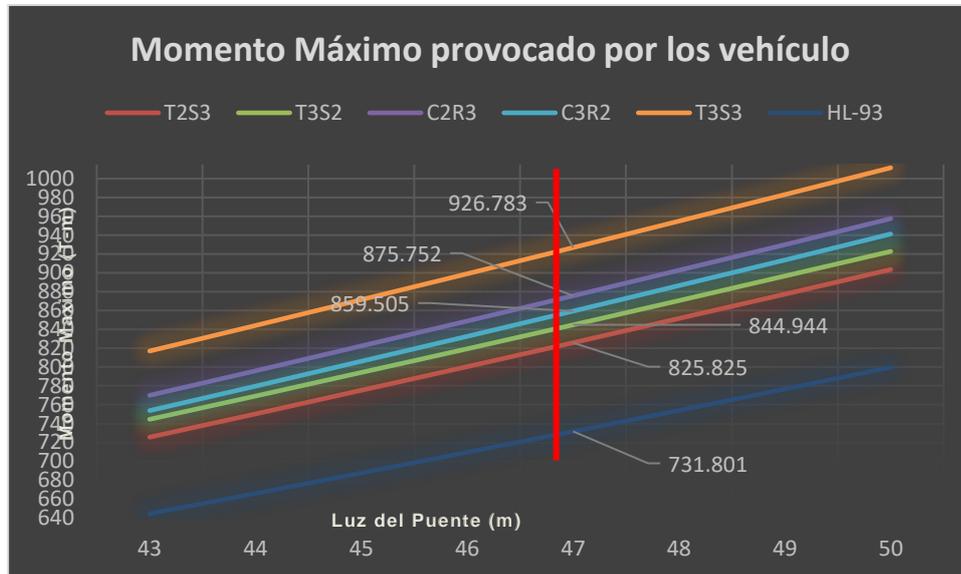
*Momento Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 38m)*



Fuente: Autoría Propia

**Figura 59**

*Momento Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 47m)*



Fuente: Autoría Propia

De acuerdo con los procedimientos detallados anteriormente se consideró las tablas donde se indica la luz del puente simplemente apoyado desde los 25 a 50 metros de longitud, también la reacción del camión de diseño en T, el efecto dinámico correspondiente a 1.33, y el factor equivalente o sobrecarga que se general con el camión o vehículo de diseño y por último la reacción máxima generado el camión de diseño ya con el factor dinámico y la sobre carga de impacto V (LL+IM).

Luego se realizó un cuadro donde solamente estén las reacciones máximo de cada vehículo es decir el V (LL+IM)

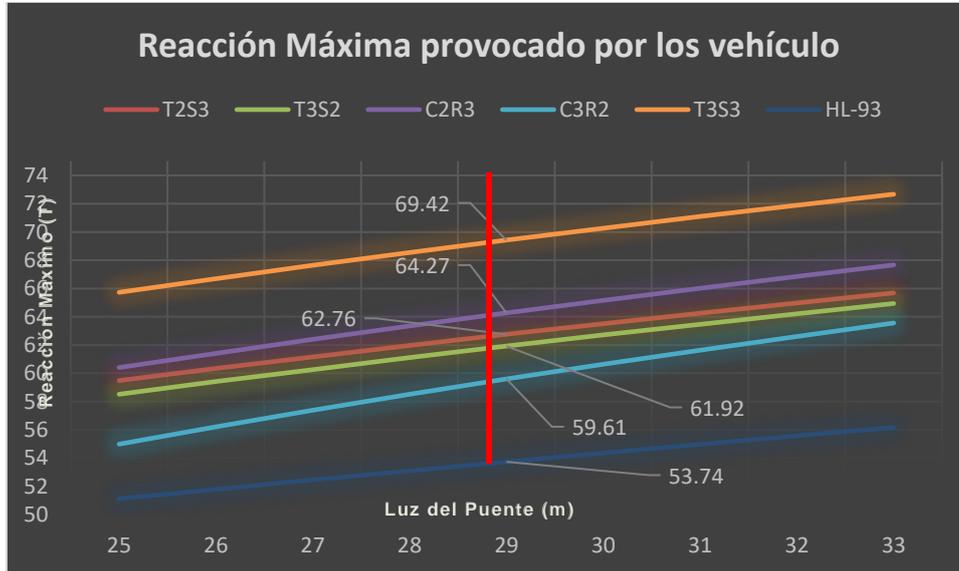
**Tabla 34**
*Reacción Máxima provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 y HL-93*

<b>V(LL+IM) T</b>						
<b>Luz (m)</b>	<b>T2S3</b>	<b>T3S2</b>	<b>C2R3</b>	<b>C3R2</b>	<b>T3S3</b>	<b>HL-93</b>
<b>25</b>	59.49	58.52	60.41	54.99	65.73	51.13
<b>26</b>	60.35	59.42	61.42	56.22	66.7	51.79
<b>27</b>	61.17	60.27	62.41	57.4	67.64	52.46
<b>28</b>	61.97	61.11	63.35	58.53	68.54	53.1
<b>29</b>	62.76	61.92	64.27	59.61	69.42	53.74
<b>30</b>	63.52	62.71	65.15	60.64	70.26	54.37
<b>31</b>	64.25	63.46	66.02	61.64	71.09	54.98
<b>32</b>	64.98	64.21	66.86	62.61	71.89	55.58
<b>33</b>	65.69	64.94	67.67	63.56	72.67	56.18
<b>34</b>	66.38	65.66	68.46	64.48	73.43	56.78
<b>35</b>	67.06	66.37	69.24	65.37	74.18	57.37
<b>36</b>	67.74	67.06	70	66.24	74.91	57.94
<b>37</b>	68.41	67.74	70.75	67.08	75.63	58.51
<b>38</b>	69.06	68.41	71.47	67.9	76.35	59.08
<b>39</b>	69.7	69.07	72.19	68.71	77.04	59.64
<b>40</b>	70.34	69.73	72.89	69.51	77.72	60.22
<b>41</b>	70.96	70.37	73.58	70.29	78.4	60.76
<b>42</b>	71.58	71.01	74.28	71.05	79.07	61.32
<b>43</b>	72.19	71.63	74.94	71.81	79.72	61.87
<b>44</b>	72.8	72.25	75.62	72.54	80.37	62.42
<b>45</b>	73.4	72.86	76.28	73.27	81.01	62.96
<b>46</b>	74	73.47	76.93	73.98	81.64	63.5
<b>47</b>	74.59	74.07	77.57	74.68	82.26	64.04
<b>48</b>	75.18	74.67	78.21	75.39	82.89	64.58
<b>49</b>	75.76	75.27	78.83	76.07	83.5	65.11
<b>50</b>	76.35	75.86	79.46	76.75	84.12	65.64

*Nota: Autoría Propia*

**Figura 60**

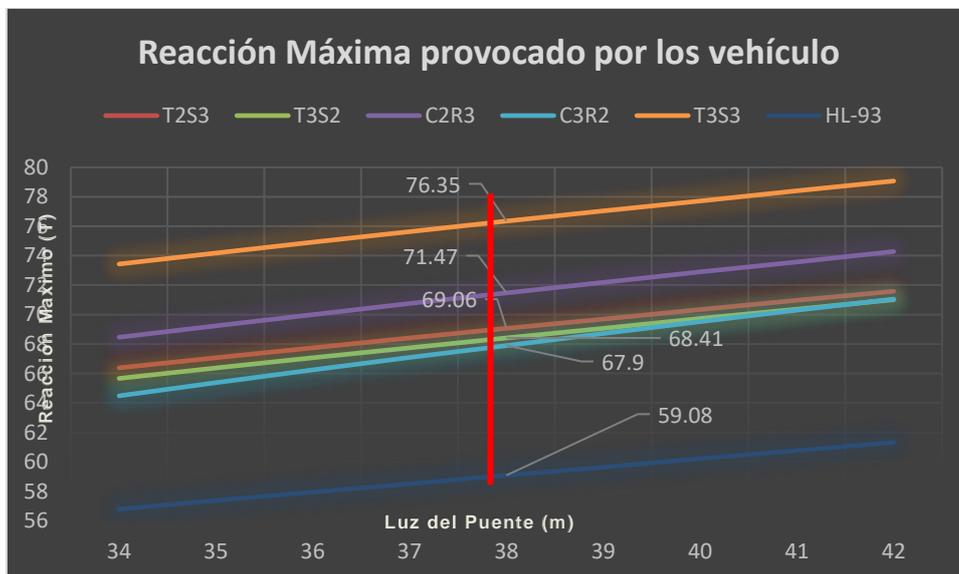
*Reacción Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 29m)*



Fuente: Autoría Propia

**Figura 61**

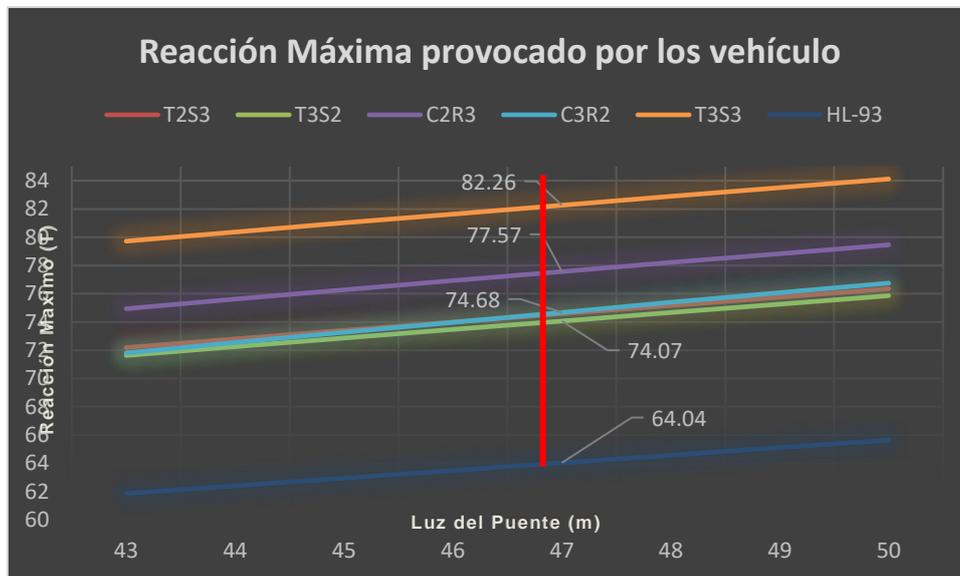
*Reacción Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 38m)*



Fuente: Autoría Propia

**Figura 62**

*Reacción Máxima provocado por los vehículos (Luz promedio de 47m)*



Fuente: Autoría Propia

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Según García y Hernández (2017), en su investigación concluyó con respecto al momento máximo por la línea de influencia para una luz de puente de 17 metros para el vehículo T3S2R4 tipo II fue de 127.08 T-m y para el T3S3 tipo II de 110.74 T-m y el HS-20 de 100.89 T-m.

En nuestra investigación el momento máximo por la línea de influencia para una luz de 25 metros para el vehículo T2S3 es de 323.106 T-m, para el T3S2 es de 340.604 T-m, para el C2R3 es de 341.382 T-m, para el C3R2 es de 326.382 T-m y para el T3S3 de 370.96 T-m.

Con respecto a los valores de momento máximo en la investigación de García y Hernández (2017) para una luz de 17 m, es menor a nuestra investigación; ya que el rango de luz de nuestra investigación es de 25m a 50 m de luz, entre los vehículos la comparativa se da en el modelo T3S3 con una diferencia de 260 T-m.

Según Altamirano (2018) en su investigación concluyó con respecto a la reacción máxima para una luz de 47 metros para el vehículo HL-93 fue de 54.03 T

En nuestra investigación la reacción máxima para una luz de 47 metros para el vehículo T2S3 es de 74.59 T, para el T3S2 es de 74.07 T, para el C2R3 es de 77.57 T, para el C3R2 es de 74.68 T y para el T3S3 es de 82.26 T, tomando el vehículo T2S3 excede en 20.56 T en comparación con lo investigado por Altamirano.

Según Altamirano (2018) en su investigación concluyó con respecto al momento máximo para una luz de 47 metros para el vehículo HL-93 fue de 403.67 T-m y para la reacción máxima de 54.03 T

En nuestra investigación el momento máximo para una luz de 47 metros para el vehículo T2S3 es de 825.825 T-m, para el T3S2 es de 844.944 T-m, para el C2R3 de 875.752 T-m, para el C3R2 de 859.505 T-m, para el T3S3 de 926.783 T-m y para el HL-93 de 731.801 T-m.

En nuestra investigación la reacción máxima para una luz de 47 metros para el vehículo T2S3 de 74.59 T, para el T3S2 de 74.07 T, para el C2R3 de 77.57 T, para el C3R2 es de 74.68 T, para el T3S3 es de 82.26 T y para el HL-93 es de 64.04 T.

Dando la mayor diferencia con respecto al momento máximo con el vehículo T3S3 es de 523.113 T-m de diferencia y la menor diferencia con el vehículo HL-93 es de 328.131 T-m.

La mayor diferencia con respecto a la reacción máxima con el vehículo T3S3 es de 28.23 T de diferencia y la menor diferencia con el vehículo HL-93 es de 10.01 T.

### **Limitaciones**

Dentro de las limitaciones podemos indicar que la investigación solo se dio en puentes simplemente apoyados; ya que en la actualidad existen diferentes tipos de puentes, como son los puentes continuos, colgantes, atirantados, arcos, mixtos y cada uno de ellos tiene un rango de luces y material de construcción, solo se analizó la superestructura del puente.

Se investigó solo para luces entre 25 a 50 metros, ya que en la actualidad existen diferentes luces de puentes, debido a que si aumentamos la luz se necesitaría un material de concreto pretensado o postensado, y si el rango de luz aumenta se necesitará otro tipo de estructura de puente, ya sea de tipo arco, atirantado, reticulado y colgante, dichas estructuras tienen rango desde 51 metros a 2000 metros.

### **Implicancias**

Dentro de la implicancia práctica podemos mencionar que sugerimos nuevos vehículos de diseño, escogiendo el vehículo con mayor momento y reacción máxima, esto implica mejor

diseño en el área de acero para las vigas longitudinales, mejor área de acero para los estribos, menor costo de mantenimiento de los puentes, menor fisura y grietas.

En las implicancias teóricas se establece una tabla donde estarán los momentos y reacción máxima de los 5 nuevos vehículos de diseño más pesados del reglamento nacional de vehículos de acuerdo con la luz del puente entre 25 a 50 metros, donde se puede incorporar como guía para diseños de puentes en el Perú.

Se recomienda usar otros modelamientos como SAP y ETABS.

Se recomienda usar el vehículo T3S3 como un nuevo vehículo de diseño; ya que tiene el mayor momento y reacción máxima.

Tener en cuenta el modelo de vehículo T2S3 cuenta con 5 ejes, siendo su longitud de 10.90 metros, con un peso de 7 toneladas en el eje delantero y conjuntos de ejes posteriores de 11 y 25 toneladas, siendo un total de 43 toneladas. El modelo T3S2 cuenta con 5 ejes, siendo su longitud de 10.90 metros, con un peso de 7 toneladas en el eje delantero y conjuntos de ejes posteriores de 18 y 18 toneladas, siendo un total de 43 toneladas. El modelo C2R3 cuenta con 5 ejes, siendo su longitud de 13.70 metros, con un peso de 7 toneladas en el eje delantero y conjuntos de ejes posteriores de 11,11 y 18 toneladas, siendo un total de 47 toneladas. El modelo C3R2 cuenta con 5 ejes, siendo su longitud de 14.90 metros, con un peso de 7 toneladas en el eje delantero y conjuntos de ejes posteriores de 18,11 y 11 toneladas, siendo un total de 47 toneladas. El modelo T3S3 cuenta con 6 ejes, siendo su longitud de 11.35 metros, con un peso de 7 toneladas en el eje delantero y conjuntos de ejes posteriores de 18 y 25 toneladas, siendo un total de 50 toneladas.

Usar siempre la ficha técnica de los modelos de vehículos propuestos donde indique la cantidad de ejes, longitud total y entre ejes, pesos en los ejes delanteros y posteriores.

Se recomienda usar el modelo más pesado el vehículo T3S3; ya que las carreteras de nuestro país sufren alto tránsito y alta carga pesada.

### **Conclusiones**

De acuerdo con los resultados, para una luz promedio de 38 metros el momento máximo para el vehículo T2S3 de 605.856 T-m, para el T3S2 de 624.558 T-m, para el C2R3 de 643.329 T-m, para el C3R2 de 627.273 T-m y para el T3S3 de 685.371 T-m. Y para la reacción máxima el vehículo T2S3 de 69.06 T, para el T3S2 de 68.41 T, para el C2R3 de 71.47 T, para el C3R2 de 67.90 T y para el T3S3 de 76.35 T. Por los resultados obtenidos podemos decir que según nuestra hipótesis general el impacto provocado por los 5 vehículos de diseño influye significativamente en el momento y reacción máxima por sobrecarga incluido impacto puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud.

De acuerdo con los resultados, para una luz de 25 metros, el vehículo T2S3 de 323.106 T-m, para el T3S2 de 340.604 T-m, para el C2R3 de 341.382 T-m, para el C3R2 de 326.382 T-m y para el T3S3 de 370.96 T-m. Para una luz de 50 metros el vehículo T2S3 de 903.539 T-m, para el T3S2 de 922.766 T-m, para el C2R3 de 957.766 T-m, para el C3R2 de 941.266 T-m y para el T3S3 de 1011.555 T-m. Siendo el Vehículo T3S3 que genera mayor momento, esto se debe que tiene 50 toneladas con 6 ejes. Por los resultados obtenidos podemos decir que el impacto provocado por los 5 vehículos de diseño influye positivamente en el momento máximo por sobrecarga incluido impacto para una luz de 25 metros a 50 metros influye positivamente.

De acuerdo con los resultados, para una luz de 25 metros, el vehículo T2S3 de 59.49 T, para el T3S2 de 58.52 T, para el C2R3 de 60.41 T, para el C3R2 de 54.99 T y para el T3S3 de 65.73 T. Para una luz de 50 metros el vehículo T2S3 de 76.35 T, para el T3S2 de 75.86 T, para el C2R3 de 79.46 T, para el C3R2 de 76.75 T y para el T3S3 de 84.12 T. Siendo el Vehículo T3S3 que genera mayor reacción o fuerza cortante, también podemos indicar que los valores

están en un rango de diferencia de 16.86 T a 18.39 T. Por los resultados obtenidos podemos decir que el impacto provocado por los 5 vehículos de diseño influye positivamente en la reacción máxima por sobrecarga incluido impacto para una luz de 25 metros a 50 metros influye positivamente.

De acuerdo con los resultados, para una luz de 25 metros, el vehículo HL-93 tiene un momento máximo de 299.291 T-m y para 50 m de 799.783 T-m y para la reacción máxima de una luz de 25 m de 51.13 T y para 50 m de 65.64 T, podemos decir que todos los vehículos de la investigación superan en valor al HL-93 en comparación del T3S3 para una luz de 50 m, la diferencia de momento es de 211.772 T-m y con respecto a la reacción es de 18.48 T, lo cual influirá en el cálculo de acero de la viga longitudinal y de los estribos. Por los resultados obtenidos podemos decir que la comparación del momento y reacción máxima por sobrecarga, incluido impacto provocado por los 5 vehículos de diseño, con respecto al vehículo HL-93 influye positivamente para una luz de 25 a 50 metros.

## REFERENCIAS

- Altamirano Requejo, J. (2018). *Análisis y diseño del puente vehicular sobre el río Yuracyacu, en el sector Monterrey, distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, departamento de San Martín*. Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial.
- Coba, B., Pág, L. E., De Ingeniería, F., Becerra Coba, L. E., Angel, I. M., & Moreno, M. (s/f). *Estimación del índice de confiabilidad ( $\beta$ ) de las vigas de los puentes venecia, los shilcos y shudal-cajamarca, usando conteos de tráfico real mediante simulación*. Edu.pe. Recuperado a partir de:  
<http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28617/Becerra%20Coba%2C%20Luis%20Edgardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chavez Cachay, S. (2018). *Análisis y diseño del puente vehicular sobre el río Yuracyacu, en el sector Monterrey, distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, departamento de San Martín*. Universidad Nacional de San Martín. Recuperado a partir de:  
<https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3028>
- Dávila, B., & del Rosario, V. (2017). *Verificación estructural de un puente carretero con vigas postensadas de 114 m de luz bajo la sobrecarga HL-93*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- De Ingeniería y Candidato a Licenciado en Ingeniería Civil, A., de Puentes, U., Lanamme, U. C. R., & Rica, C. (s/f). *Luis Guillermo Álvarez Sánchez*. Ucr.ac.cr. Recuperado el 24 de mayo de 2023,. Recuperado a partir de:  
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/583/Evaluaci%C3%B3n%20de%20Capacidad%20de%20Carga%20Viva%20en%20Puentes%20de%20Costa%20Rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De La Comunidad Andina, L. A. C. (s/f). DECISION 491- Reglamento Técnico Andino sobre Límites de Pesos y Dimensiones de los Vehículos destinados al Transporte Internacional de Pasajeros y Mercancías por Carretera. Gob.pe. Recuperado a partir de:

<https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/DECISION-491-Reglamento-T%C3%A9cnico-Andino-sobre-L%C3%ADmites-de-Pesos-y-Dimensiones-de-los-Veh%C3%ADculos-destinados-al-Transporte-Internacional.pdf>

De Postgrado, E., Antolín, B., & Quispe, A. (s/f). UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.

Edu.pe. Recuperado a partir de

<https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1703/Apaza-Quispe-Antolin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Delgado-Castro, C. G., Rodríguez-Rivas, R. A., Verá-Ávila, W. A., Delgado Castro, C. G., Rivas, R. A. R., & Ávila, W. A. V. (s/f). *Proposta de ponte de laje aplicando o método de projeto AASHTO LRFD para a cidade de Manta*. Recuperado a partir de:

<https://doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.4.3.julio.189-210>

Duarte Di Rosa, A. (2018). *Análisis de la gestión de tránsito para la mitigación del congestionamiento en la avenida Circunvalación el Golf en el tramo comprendido por las avenidas Javier Prado Este y La Fontana*. Universidad San Ignacio de Loyola. Recuperado a partir de:

<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/d4f47294-a8f1-4199-8028-6d42f8344fb1>

El, P., De, L. A., & Que, L. (n.d.). *Reglamento Nacional de Vehículos -Decreto Supremo N° 058-2003-MTC*. Gob.Pe. Retrieved May 24, 2023, Recuperado a partir de:

<https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/Reglamento-Nacional-de-Veh%C3%ADculos-%E2%80%93-DS-N%C2%BA-058-2003-MTC.pdf>

Fernández, E. (2016). *Obtención de un modelo de cargas vivas a partir de acciones reales de vehículos sobre puente del río Mayarí, Holguín [Grado inédita]*. Universidad Oscar Lucero Moya. Recuperado a partir de:

<https://www.redalyc.org/journal/1813/181351125001/>

García Rojas, R. (2021). *Verificación de la superestructura del puente Riecito aplicando el manual de diseño de puentes del MTC Edición 2016*. Universidad Nacional de Piura.

Recuperado a partir de:

<https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3120?locale-attribute=es>

Generales, 1. 0. Características. (s/f). *PUENTE IPAL L = 17.60m SUPERESTRUCTURA*.

Gob.pe. Recuperado el 24 de mayo de 2023, Recuperado a partir de:

<http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2012/Saldo%20alfamayo/CD2/8.1-Estructuras-Puentes/Ipal/mem%20calculo/superestructura/Tablero%20Ipal.pdf>

Manrique, E. S. (s/f). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE PUENTES CON VIGAS Y LOSAS*. Edu.pe.

Recuperado a partir de:

[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1364/ICI\\_112.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1364/ICI_112.pdf?sequence=1)

Martínez Rodríguez, D. (2015). *Impacto del control de pesos por eje de vehículos pesados sobre la estructura de los pavimentos [Grado de Título inédita]*. Universidad Ricardo Palma. Recuperado a partir de:

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2404>

Matheus, Xavier. (s/f). Edu.ve. Recuperado el 24 de mayo de 2023, Recuperado a partir de:

<https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/2891/2518>

Montes De Oca, H. (2017). *Evaluación del factor de seguridad en las pilas de puentes vehiculares de concreto reforzado sujeto a sismo y carga viva [Grado de Título inédita]*. Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado a partir de:

<http://hdl.handle.net/20.500.11799/68806>

N.d.. Imt.Mx. Retrieved May 24, 2023, Recuperado a partir de:

<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt8.pdf>

(N.d.-b). Wordpress.com. Retrieved May 24, 2023, Recuperado a partir de:

<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/clasificacion-mti-y-tablas.pdf>

Ortiz, D., Reinoso, E., & Calderón, M. (2021). *Impacto socioeconómico derivado del cierre vehicular por los daños en el puente corpac de tingo maría, Huánuco en febrero de 2020*. Revista Internacional De Ingeniería De Estructuras, 26(2), 313–329. Recuperado a partir de:

<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/d4f47294-a8f1-4199-8028-6d42f8344fb1>

Pinto, A., & Torres, R. (2015). *Incidencia de la norma AASHTO LRFD bridge design specifications en el análisis y diseño de tableros de puentes de concreto reforzado*. Ciencia e Ingeniería, 36(3), 131-140. Recuperado a partir de:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550629002>

Que, L., & Toledo, A. (s/f). *Aprueban el Reglamento Nacional de Vehículos*. Gob.pe. Recuperado a partir de:

[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_70.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_70.pdf)

Ramírez García, M., & Hernández Martínez, A. (2017). *Diseño y evaluación de trabes de concreto presforzado para puentes carreteros*. Jóvenes en la ciencia, 3(2), 2495–2499. Recuperado a partir de:

<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2034>

Rodríguez, M., & Steve, D. (2015). *Impacto del control de pesos por eje de vehículos pesados sobre la estructura de los pavimentos*. Universidad Ricardo Palma.

Saúl, E., Crespo, S., Daniel, R., Naranjo, F., Carrión, V., & Juan, A. (s/f). *Análisis de efectos longitudinales y transversales en puentes debidos a cargas vivas vehiculares*. Imt.mx. Recuperado a partir de:

<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt398.pdf>

Sigcha, S. (2010). *Diseño y simulación de un puente metálico tubular de un carril, para vehículos hasta 50 ton, longitud de 15m y ancho de 8m. [Grado inédita]*.

Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado a partir de:

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16832>

Tarazona Álvarez, E. M. (s/f). “*El Reglamento Nacional de Vehículos y el control de los Pesos y Medidas Vehiculares*” (Decreto Supremo N° 058-2003-MTC). Org.pe. Recuperado a partir de:

<https://aap.org.pe/descarga/conferencias/1-AAP-RENAV-PyM.pdf>

(S/f-a). Imt.mx. Recuperado a partir de:

<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt8.pdf>

(S/f-b). Wordpress.com. Recuperado a partir de:

<https://sinavarro.files.wordpress.com/2008/08/clasificacion-mti-y-tablas.pdf>

(S/f-c). Imt.mx. Recuperado a partir de:

<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt541.pdf>

## ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia.....	121
<b>Anexo 2</b> Operacionalización de las variables.....	123
<b>Anexo 3</b> Pesos y medidas del vehículo T2S3.....	125
<b>Anexo 4</b> Pesos y medidas del vehículo T3S2.....	126
<b>Anexo 5</b> Pesos y medidas del vehículo C2R3 .....	127
<b>Anexo 6</b> Pesos y medidas del vehículo C3R2 .....	128
<b>Anexo 7</b> Pesos y medidas del vehículo T3S3.....	129
<b>Anexo 8</b> Pesos y medidas del vehículo HL-93.....	130

**Anexo 1 Matriz de consistencia.**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA	POBLACION Y MUESTRA
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿De qué manera se puede mejorar el momento y reacción máxima por sobrecarga incluido el impacto provocado por los vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022?</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Es posible mejorar el momento máximo por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022?</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Determinar el análisis de mejora del momento y reacción máxima por sobrecarga incluido el impacto provocado por los vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>Determinar el momento máximo por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Los vehículos más pesados de 40 a 48 toneladas influyen significativamente en el momento y reacción máxima por sobrecarga incluido el impacto, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>El impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 influye positivamente en el momento máximo, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.</p>	<p><b>Variable independiente (X):</b> Vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas.</p> <p><b>Variable dependiente (Y):</b></p> <p>Y1: Momento máxima por sobrecarga, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud.</p> <p>Y2: Reacción máxima por sobrecarga, para</p>	<p>Sobrecarga vehicular.</p> <p>Carga de carril o sobrecarga distribuida</p> <p>Momento máximo</p> <p>Reacción máxima</p>	<p>Reglamento nacional de vehículos</p> <p>Camión de diseño.</p> <p>Pesos en toneladas en sus ejes delanteros y posteriores.</p> <p>Distancia entre ejes.</p> <p>Peso por tonelada/metro</p> <p>Momento del carril.</p> <p>Luz de puente.</p> <p>Efecto dinámico.</p>	<p><b>Investigación</b></p> <p>Por modelado</p> <p><b>Enfoque de investigación:</b></p> <p>Cuantitativo</p> <p><b>Nivel de investigación</b></p> <p>Descriptivo</p>	<p>Nuestra <b>población</b> se delimitó con los puentes simplemente apoyados, la cual es un factor importante de la infraestructura vial en nuestra capital.</p> <p>La <b>muestra</b> que se empleó para la investigación está conformada por los puentes simplemente apoyados desde los 25 a 50 metros de longitud, ya que si la luz es mayor de 50 metros se necesitaría de un tipo de estructura de puente o un material de concreto pretensado o postensado.</p> <p><b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN</b></p> <p>Observación directa.</p> <p>Fórmulas indicadas en las normas vigentes del MTC.</p>

<p>¿Es posible mejorar la reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022?</p> <p>¿Es posible comparar los resultados del momento máximo y reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 con el vehículo HL-93 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022?</p>	<p>Determinar la reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.</p> <p>Analizar los resultados de comparación del momento máximo y reacción máxima por sobrecarga incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 con el vehículo HL-93 para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.</p>	<p>El impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2 y T3S3 influye positivamente en la reacción máxima, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.</p> <p>Los resultados de comparación del momento máximo y reacción máxima por sobrecarga, incluido impacto provocado por los vehículos T2S3, T3S2, C2R3, C3R2, T3S3 con el vehículo HL-93 influye positivamente para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, Lima-Perú 2022.</p>	<p>puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud.</p> <p>Y3: Momento y reacción máxima combinada por sobrecarga, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, comparada con el modelo HL-93</p>		<p>Norma AASHTO LRFD y diseño de puentes del MTC.</p> <p>Puentes simplemente apoyados.</p> <p>Líneas de influencia.</p> <p>Cargas vivas+impacto+carga de carril</p> <p>Excel</p>		<p>Uso de hojas de cálculo y modelado.</p> <p>Ordenar los datos obtenidos mediante tablas y gráficas.</p> <p>Revisión bibliográfica similar al objetivo de investigación.</p> <p><b>INSTRUMENTOS</b></p> <p>Hojas de cálculo (Excel)</p> <p>Fórmulas indicadas en las normas vigentes del reglamento del manual de puentes del MTC.</p> <p>Software de análisis e interpretación de resultados.</p>
--	--	--	--	--	--	--	---

## Anexo 2 Operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
X: Vehículos más pesados de los 40 a 48 toneladas.	<p>La sobrecarga de diseño está regida por reglamentos establecidos bajo estudios realizados a lo largo de los años, en los cuales los elementos de hipótesis de carga son camiones estándares y trenes de carga.</p> <p>En el Perú, contamos con un Manual de Diseño de Puentes, basado fundamentalmente en el Reglamento Americano AASHTO y su propuesta LRFD</p> <p>“Diseño por Factores de Carga y Resistencia “. (Rojas, 2016)</p>	<p>Sobrecarga vehicular.</p> <p>Carga de carril o sobrecarga distribuida</p>	<p>Reglamento nacional de vehículos</p> <p>Camión de diseño.</p> <p>Pesos en toneladas en sus ejes delanteros y posteriores.</p> <p>Distancia entre ejes.</p>

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Y1: Momento máxima por sobrecarga, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud.	Cuando hay más de una carga sobre un elemento simplemente apoyado, el momento máximo se produce casi siempre bajo la carga más próxima a la resultante y al centro de luz, de tal manera que el centro de luz es equidistante de la resultante. (Teorema de Barré)	Momento máximo	Peso por tonelada/metro Momento del carril. Luz de puente. Efecto dinámico.
Y2: Reacción máxima por sobrecarga, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud.		Reacción máxima	Norma AASHTO LRFD y diseño de puentes del MTC. Puentes simplemente apoyados. Líneas de influencia.
Y3: Momento y reacción máxima combinada por sobrecarga, para puentes simplemente apoyados de 25 a 50 metros de longitud, comparada con el modelo HL-93			Cargas vivas +impacto+ carga de carril Excel

*Nota:* Autoría Propia

**Anexo 3 Pesos y medidas del vehículo T2S3**

Configuración Vehicular	N° de ejes	Descripción gráfica del vehículo	Longitud (m)	Peso máximo (T)				Peso bruto máximo (T)	
				Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				
					1°	2°	3°		4°
T2S3	5	<p>Diagrama de un camión T2S3 con especificaciones de peso y longitud. El camión tiene una longitud total de 10.90 m. El eje delantero soporta 7 T. El eje posterior soporta 11 T. Hay tres ejes adicionales en el eje posterior con pesos de 8.33 T cada uno. Las distancias entre ejes son: 4.0 m entre el eje delantero y el primer eje posterior, 4.5 m entre el primer y segundo eje posterior, y 1.2 m entre el segundo y tercer eje posterior.</p>	10.90	7	11	25	-	-	43

**Anexo 4 Pesos y medidas del vehículo T3S2**

Configuración Vehicular	N° de ejes	Descripción gráfica del vehículo	Longitud (m)	Peso máximo (T)				Peso bruto máximo (T)	
				Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				
					1°	2°	3°		4°
T3S2	5		10.90	7	18	18	-	-	43

**Anexo 5 Pesos y medidas del vehículo C2R3**

Configuración Vehicular	N° de ejes	Descripción gráfica del vehículo	Longitud (m)	Peso máximo (T)				Peso bruto máximo (T)	
				Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				
					1°	2°	3°		4°
<b>C2R3</b>	<b>5</b>	<p>Diagrama de un camión C2R3 con 5 ejes. El eje delantero está a 4.5 m del eje posterior más cercano. Los ejes posteriores están separados por 4.0 m, 4.0 m y 1.2 m. Los pesos máximos por eje son 7 T, 11 T, 11 T, 9 T y 9 T. La longitud total es de 13.7 m.</p>	<b>13.70</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>47</b>

**Anexo 6 Pesos y medidas del vehículo C3R2**

Configuración Vehicular	N° de ejes	Descripción gráfica del vehículo	Longitud (m)	Peso máximo (T)				Peso bruto máximo (T)	
				Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				
					1°	2°	3°		4°
<b>C3R2</b>	<b>5</b>	<p>Diagrama de un camión C3R2 con 5 ejes. El eje delantero tiene un peso de 7T. Los ejes posteriores tienen pesos de 9T, 9T, 11T y 11T. Las distancias entre ejes son 3.5m, 1.2m, 4.0m y 6.2m. La longitud total es de 14.90m.</p>	<b>14.90</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>-</b>	<b>47</b>

**Anexo 7 Pesos y medidas del vehículo T3S3**

Configuración Vehicular	N° de ejes	Descripción gráfica del vehículo	Longitud (m)	Peso máximo (T)				Peso bruto máximo (T)	
				Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				
					1°	2°	3°		4°
<b>T3S3</b>	<b>6</b>		<b>11.35</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>50</b>

**Anexo 8 Pesos y medidas del vehículo HL-93**

Configuración Vehicular	N° de ejes	Descripción gráfica del vehículo	Longitud (m)	Peso máximo (T)				Peso bruto máximo (T)	
				Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				
					1°	2°	3°		4°
<b>HL-93</b>	<b>3</b>	<p>Diagrama de un camión HL-93 con especificaciones de peso y longitud. El camión tiene un eje delantero y dos ejes posteriores. El eje delantero soporta 3.6 T. Los ejes posteriores soportan 14.8 T cada uno. La longitud total es de 8.60 m, con 4.3 m entre el eje delantero y el primer eje posterior, y 4.3 m entre el primer y el segundo eje posterior.</p>	<b>8.60</b>	<b>3.60</b>	<b>14.8</b>	<b>14.8</b>	-	-	<b>33.2</b>