



FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“APLICACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES ESPAÑOLAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA EN EL PUENTE SOBRE EL INTERCAMBIO VIAL HUAURA, LIMA.”

Modalidad de Suficiencia Profesional para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Carlos Arturo Andreu Salas

Asesor:

Ing. Paolo Macetas Porras

Lima – Perú

2018

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** el trabajo de suficiencia profesional desarrollado por el(la) Bachiller **Carlos Arturo Andreu Salas**, denominada:

“TÍTULO DE LA TRABAJO. “APLICACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES ESPAÑOLAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA EN EL PUENTE SOBRE EL INTERCAMBIO VIAL HUAURA, LIMA ”.

Ing. Paolo Macetas Porras
ASESOR

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO

DEDICATORIA

A mis padres Yoni y Waldo, por su inconmensurable apoyo y amor, por los consejos, paciencia, ser un ejemplo a seguir y por ser los directos responsables de mis éxitos.

A mi hermano Alberto, por estar siempre presente a mi lado dándome siempre ese aliento e impulso necesario cada que me empezaba a abatir.

A mi esposa Elizabeth, por ser mi pilar, sostén emocional y complemento de mi vida.

A mis hijos, por ser la razón de mi vida y el saber que todo esfuerzo por ellos es poco, además de demostrarme que no existe amor más puro que el de Uds. Alannis y Maximilian.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida dándome la salud y fuerzas para lograr mis metas.

Quiero agradecer a todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron en la elaboración de este trabajo de grado. Especialmente a mi asesor por compartir su tiempo y conocimientos durante la elaboración de esta tesis de grado.

A mis profesores por todos los conocimientos y experiencias transmitidas.

A Marcos, por el apoyo y asesoría en la elaboración de los planos.

A mis jefes, Nelson, Diego, Pedro y Carlos, por la confianza y todo el apoyo brindado en todo este tiempo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	3
1.3. <i>Objeto</i>	3
1.3.1. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3.1.1. <i>Objetivo específico 1:</i>	3
1.3.1.2. <i>Objetivo específico 2:</i>	3
1.3.1.3. <i>Objetivo específico 3:</i>	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Clasificación de puentes.....	5
2.2. Cargas en puentes	6
2.2.1. <i>Tipos de Cargas</i>	6
2.2.2. <i>Camión de Diseño</i>	7
2.2.3. <i>Combinaciones de Cargas</i>	8
2.3. Pruebas de Carga	9
2.3.1. <i>Definición de Prueba de Carga Estática</i>	9
2.3.2. <i>Normas Peruanas Aplicadas</i>	10
2.3.3. <i>Normas internacionales</i>	12
2.3.3.1. <i>Norma española:</i>	12
2.3.3.2. <i>Norma americana:</i>	12
2.3.3.3. <i>Norma francesa:</i>	13
2.4. Recomendaciones españolas para la realización de pruebas de carga	13
2.4.1. <i>Campo de aplicación.</i>	14
2.4.2. <i>Dirección y realización de la prueba.</i>	14
2.4.3. <i>Planteamiento de la prueba.</i>	14
2.4.3.1. <i>Proyecto de la prueba:</i>	14
2.4.3.2. <i>Sistema de medida:</i>	14
2.4.3.3. <i>Determinación del módulo de elasticidad del hormigón:</i>	15
2.4.3.4. <i>Efecto de las condiciones meteorológicas:</i>	15

2.4.3.5.	<i>Fecha de ejecución:</i>	15
2.4.4.	<i>Actuaciones complementarias.</i>	15
2.5.	<i>Definición de términos básicos</i>	18
2.5.1.	<i>Vigas.</i>	18
2.5.2.	<i>Deflexión en vigas.</i>	19
2.5.3.	<i>Momento Flector</i>	20
2.5.4.	<i>Líneas de influencia</i>	21
2.5.5.	<i>Periodo de Retorno</i>	22
CAPÍTULO 3. DESARROLLO		23
3.1.	<i>Desarrollo del Objetivo Especifico 1</i>	23
3.1.1.	<i>Actividades realizadas antes de la prueba</i>	24
3.1.1.1.	<i>Organización</i>	24
3.1.1.2.	<i>Inspección y evaluación preliminar:</i>	25
3.1.1.3.	<i>Marcar las posiciones del tren de cargas:</i>	25
3.1.2.	<i>Actividades realizadas durante la prueba</i>	26
3.1.2.1.	<i>Verificar medidas y peso de los camiones:</i>	26
3.1.2.2.	<i>Procedimiento de carga:</i>	27
3.1.2.3.	<i>Procedimiento de descarga:</i>	28
3.1.2.4.	<i>Criterios de remanencia:</i>	29
3.1.3.	<i>Obtención de datos de la prueba de carga.</i>	31
3.1.3.1.	<i>Instrumentación:</i>	31
3.1.3.2.	<i>Toma de Datos:</i>	31
3.1.4.	<i>Diagrama de flujo de la prueba de carga estática.</i>	32
3.1.4.1.	<i>Actividades realizadas antes de la prueba:</i>	32
3.1.4.2.	<i>Actividades realizadas durante de la prueba:</i>	33
3.2.	<i>Desarrollo del Objetivo Especifico 2</i>	36
3.2.1.	<i>Alcances de la prueba</i>	36
3.2.2.	<i>Descripción del puente</i>	36
3.2.2.1.	<i>Ubicación:</i>	36
3.2.2.2.	<i>Longitud:</i>	37
3.2.2.3.	<i>Condición Estructural:</i>	37
3.2.2.4.	<i>Materiales:</i>	41
3.2.3.	<i>Modelado estructural del puente</i>	41
3.2.3.1.	<i>Calculo de los factores de distribución para las vigas interna y externa</i>	41
3.2.3.2.	<i>Cálculo de momentos máximos originados con el Camión de Diseño HL 93</i>	46
3.2.3.3.	<i>Cálculo de momentos máximos originados con el Camión de Prueba</i>	49
3.3.	<i>Desarrollo del Objetivo Especifico 3</i>	56
3.3.1.	<i>Cálculo de las Cotas</i>	56
3.3.2.	<i>Cálculo de las Deflexiones máximas</i>	57
3.3.3.	<i>Cálculo de las Deflexiones remanentes</i>	57
3.3.4.	<i>Aceptación de las Deflexiones Máximas</i>	58
3.3.5.	<i>Aceptación de las Deflexiones Remanentes</i>	59
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		60

4.1.	Resultados del Objetivo Especifico 1	60
4.2.	Resultados del Objetivo Especifico 2	65
4.3.	Resultados del Objetivo Especifico 3	66
4.3.1.	<i>Deflexiones máximas:</i>	66
4.3.2.	<i>Deflexiones remanentes:</i>	70
CAPÍTULO 5.	DISCUSIÓN	74
5.1.	Discusión del Objetivo Especifico 1	74
5.2.	Discusión del Objetivo Especifico 2	75
5.3.	Discusión del Objetivo Especifico 3	78
5.3.1.	<i>Deflexiones máximas:</i>	78
5.3.2.	<i>Deflexiones máximas:</i>	79
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS	84
ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n.º 1.- Resumen de pesos de camiones de carga.	27
Tabla n.º 2.- Porcentaje de remanencia de acuerdo al material del puente.	29
Tabla n.º 3.- Tipo de material empleado.	41
Tabla n.º 4.- Pesos por eje del camión de prueba	51
Tabla n.º 5.- Resumen deflexiones teóricas.....	55
Tabla n.º 6.- Comparación de las deflexiones máximas con la teórica para el tramo I – Viga Interior.	58
Tabla n.º 7.- Porcentaje de remanencia de acuerdo al material del puente.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración n.º 1.- Características del Camión de Diseño HL 93	7
Ilustración n.º 2.- Combinación de cargas según AASHTO.....	9
Ilustración n.º 3.- Ubicación de Volquetes lado izquierdo para Prueba de Carga	10
Ilustración n.º 4.- Curva esfuerzo deformación del concreto.....	15
Ilustración n.º 5.- Tren de cargas en un puente.	17
Ilustración n.º 6.- Viga sección cajón.	19
Ilustración n.º 7.- Diagrama de deflexiones en una viga	20
Ilustración n.º 8.- Diagrama de una viga continua de 2 tramos.....	20
Ilustración n.º 9.- Diagrama de momento flector para la viga mostrada	21
Ilustración n.º 10.- Líneas de influencia para una viga de un tramo, en el punto medio.	22
Ilustración n.º 11.- Marcado de las ubicaciones de los trenes de carga.	26
Ilustración n.º 12.- Valores remanentes.	30
Ilustración n.º 13.- Micrómetro para la toma de datos.....	31
Ilustración n.º 14.- Diagrama de flujo de actividades antes de la prueba de carga estática	32
Ilustración n.º 15.- Diagrama de flujo del procedimiento para realizar la carga.	33
Ilustración n.º 16.- Diagrama de flujo del procedimiento para realizar la descarga.	34
Ilustración n.º 17.- Diagrama de flujo del procedimiento determinar el criterio remanente	35
Ilustración n.º 18.- Vista aérea del Intercambio Vial Huaura.....	36
Ilustración n.º 19.- Puente sobre el Intercambio Vial Huaura construido.	37
Ilustración n.º 20.- Vista en 3D del puente sobre el Intercambio Vial Huaura.	38
Ilustración n.º 21.- Plano de planta del Puente sobre el Intercambio Vial Huaura.....	38
Ilustración n.º 22.- Sección transversal del Puente sobre el Intercambio Vial Huaura.	39
Ilustración n.º 23.- Sección transversal de la viga cajón.	39
Ilustración n.º 24.- Estribos del Puente sobre el Intercambio Vial Huaura.....	40
Ilustración n.º 25.- Pilares del Puente sobre el Intercambio Vial Huaura.	40
Ilustración n.º 26.- Distribución de sobrecargas por carril para momento en vigas interiores y exteriores.....	42
Ilustración n.º 27.- Calculo de la relación R/P en viga exterior.	43
Ilustración n.º 28.- Calculo de la relación R/P en viga exterior, 2 carriles cargados.	43
Ilustración n.º 29.- Distribución de sobrecargas por carril para corte en vigas interiores y exteriores. 44	44
Ilustración n.º 30.- Calculo de la relación R/P en viga exterior.	45
Ilustración n.º 31.- Calculo de la relación R/P en viga exterior, 2 carriles cargados.	45
Ilustración n.º 32.- Resumen de factores de distribución para momentos y cortante. (las marcas son las consideradas en los cálculos).....	46
Ilustración n.º 33.- líneas de influencia en viga continua de 2 tramos iguales en 8.20m	46
Ilustración n.º 34.- líneas de influencia para el camión de diseño	47
Ilustración n.º 35.- líneas de influencia para el tándem de diseño.	47
Ilustración n.º 36.- reacciones de la carga distribuida	48
Ilustración n.º 37.- Momentos flectores debido a la carga distribuida.	48
Ilustración n.º 38.- Esquema del camión de prueba vacío.	49
Ilustración n.º 39.- Esquema de las reacciones debido al peso de la carga del camión de prueba. 50	50
Ilustración n.º 40.- líneas de influencia para el tren de cargas.....	50
Ilustración n.º 41.- Pesos en los ejes del camión de prueba.....	51
Ilustración n.º 42.- Distribución longitudinal del tren de prueba.	52
Ilustración n.º 43.- Ubicación del tren de carga para la viga interior.	52
Ilustración n.º 44.- Vista en 3D de la posición del tren de cargas para el Tramo I Viga interior. ...	53
Ilustración n.º 45.- Ubicación del tren de carga para la viga exterior.....	53
Ilustración n.º 46.- Vista en 3D de la posición del tren de cargas para el Tramo I Viga exterior. ...	54
Ilustración n.º 47.- modelado del puente en CSIBridge v20.1.0.....	55
Ilustración n.º 48.- Cálculo de cota inicial del lado izquierdo en el Tramo I – Viga Interior.....	56
Ilustración n.º 49.- Cálculo de deflexiones máximas del lado izquierdo para el Tramo I – Viga Interior. 57	57

Ilustración n.º 50.- Cálculo de deflexiones remanentes del lado izquierdo para el Tramo I – Viga Interior.	58
Ilustración n.º 51.- Cálculo de deflexiones admisibles en el Tramo I – Viga Interior.....	59
Ilustración n.º 52.- Ubicación de los puntos a tomar medidas.	60
Ilustración n.º 53.- Control de nivelación del Tramo I – Viga Interna.	61
Ilustración n.º 54.- Control de nivelación del Tramo I – Viga Externa.	62
Ilustración n.º 55.- Control de nivelación del Tramo II – Viga Interna.	63
Ilustración n.º 56.- Control de nivelación del Tramo II – Viga Externa.	64
Ilustración n.º 57.- Cálculo de deflexiones máximas en el Tramo I – Viga Interior.	66
Ilustración n.º 58.- Cálculo de deflexiones máximas en el Tramo I – Viga Externa.	67
Ilustración n.º 59.- Cálculo de deflexiones máximas en el Tramo II – Viga Interna.	68
Ilustración n.º 60.- Cálculo de deflexiones máximas en el Tramo II – Viga Externa.	69
Ilustración n.º 61.- Cálculo de deflexiones remanentes en el Tramo I – Viga Interior.	70
Ilustración n.º 62.- Cálculo de deflexiones remanentes en el Tramo I – Viga Externa.	71
Ilustración n.º 63.- Cálculo de deflexiones remanentes en el Tramo II – Viga Interna.	72
Ilustración n.º 64.- Cálculo de deflexiones remanentes en el Tramo II – Viga Exterior.	73
Ilustración n.º 65.- Resumen de remanencias admisibles	73
Ilustración n.º 66.- Curva esfuerzo deformación indicando las regiones elástica y plástica.	76
Ilustración n.º 67.- Curva esfuerzo deformación del acero.	77
Ilustración n.º 68.- Curva esfuerzo deformación para el concreto	77
Ilustración n.º 69.- Curva esfuerzo deformación para el concreto	78
Ilustración n.º 70.- Ratio entre la deflexión máxima y la deflexión teórica.	79
Ilustración n.º 71.- Resumen de remanencias admisibles	79

RESUMEN

Si se trata de verificar las condiciones estructurales de un puente nuevo recién construido antes de la puesta en servicio es donde se requieren aplicar las pruebas de carga conforme a la normatividad nacional, dicha normativas obligan la aplicación de las pruebas de carga en puentes nuevos, pero no indica el procedimiento para realizar dichas pruebas.

Es en este sentido que recurrimos a las recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera del Ministerio de Fomento de España, documento que detalla el procedimiento para realizar las pruebas de carga estáticas y dinámicas.

Se presenta en esta tesis la aplicación de las recomendaciones españolas para la realización de pruebas de carga estática en el puente sobre el Intercambio vial Huaura del tramo Huacho – Pativilca de la Red Vial 5 de la Panamericana Norte.

Para mejor entendimiento de la presente tesis, el desarrollo se realizó mediante tres objetivos específicos:

Se presenta el procedimiento para realizar la prueba de carga estática basándose en las recomendaciones españolas para la realización de pruebas de carga estática de recepción de puentes en carretera.

Desarrollar la Memoria de Cálculo de la prueba de carga estática.

Determinar las deflexiones máximas y remanentes así como también comparar con las obtenidas teóricamente.

Una vez obtenidos y evaluados los datos, se analizan los resultados concluyendo la conformidad de la construcción del puente y asegurando que este es capaz de soportar las cargas con las que el puente fue diseñado recomendando que el puente puede ser puesto en servicio.

ABSTRACT

If it is a question of verifying the structural conditions of a newly constructed bridge before commissioning, it is necessary to apply load tests in accordance with national regulations, which require the application of load tests on new bridges, but it does not indicate the procedure to perform such tests.

It is in this sense that we resort to the “recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera” of the Ministry of Public Works of Spain, a document that details the procedure to perform the static and dynamic load tests.

This thesis presents the application of the Spanish recommendations for the realization of static load tests on the bridge over the Huaura road interchange of the Huacho - Pativilca section of the Red Vial 5 of the Panamericana Norte.

For a better understanding of this thesis, the development was made through three specific objectives:

The procedure to carry out the static load test is presented, based on the Spanish recommendations for carrying out static load tests for the reception of bridges on the road.

Develop the Calculation Memory of the static load test.

Determine the maximum and remaining deflections as well as compare them with those obtained theoretically.

Once the data has been obtained and evaluated, the results are analyzed by concluding the construction of the bridge and ensuring that it is capable of supporting the loads with which the bridge was designed, recommending that the bridge can be put into service.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Los puentes son estructuras imprescindibles para la interconexión de pueblos, por lo que una falla o colapso en este tipo de estructuras puede acarrear pérdidas que no solo se limitaría al costo de la estructura propia del puente sino que va más allá de lo económico remontándose al tema social, cultural, político y hasta ambiental.

Dada a la gran importancia de los puentes, un puente nuevo antes de ponerlas en servicio es necesario que estos sean sometidos a pruebas para poder garantizar las hipótesis de diseño y capacidades de carga que podrá soportan los puentes, es por lo que se plantean las pruebas de carga estática en puentes antes de la puesta de servicio.

La normatividad peruana obliga a realizar las pruebas de carga en puentes recién construidos, pero no se determina el procedimiento para realizarlo, por lo que se recurre a las “*Recomendaciones Para La Realización De Pruebas De Carga De Recepción En Puentes De Carretera*” que es un documento emitido por el Ministerio de Fomento de España en la cual detalla los procedimientos y criterios para la aceptación de dicha prueba.

En la presente tesis se presenta en forma detallada y descriptiva los procedimientos para la realización de la prueba de carga estática para el puente construido en el Intercambio Vial Huaura de la Red Vial n.º 5.

1.1. Antecedentes

Los puentes carreteros son estructuras esenciales para interconectar ciudades, más aún en estos tiempos de globalización e interconexión en que vivimos, estas estructuras nos permiten atravesar los accidentes geográficos como ríos, Furgang & Hernandez, (2011) plantearon que “los primeros puentes del mundo probablemente fueron troncos colocados a través de arroyos” (p. 2).

El hombre primitivo contaba principalmente con tres materiales para construir sus puentes: las cuerdas naturales, la madera y la piedra. Estos materiales se asocian fácilmente con las tres tipologías fundamentales con las que se construyen los puentes:

Las cuerdas para las estructuras colgantes, trabajando solo a tracción.

La madera para las estructuras flexionadas, trabajando a tracción y compresión.

La piedra para los arcos, trabajando fundamentalmente a compresión.”

Somenson, (2015), p. 15.

Posteriormente los puentes fueron evolucionando tomando mayores luces y desarrollando estructuras más confiables y duraderas en la época del Imperio Romano.

A pesar de los avances que en materia de puentes se había tenido, el cúmulo de conocimientos adquiridos fue, por mucho tiempo, en forma puramente empírica; no fue sino con el Renacimiento, cuando nace la ciencia moderna, que poco a poco se fue eliminando el empirismo en la construcción de puentes.

A medida que la concepción de los puentes se volvió más sofisticada, fue necesario garantizar de alguna manera que éstos cumplieran satisfactoriamente con las funciones para las cuales fueron proyectados y que a la vez fueran seguros para los usuarios. Una de las formas de verificar el comportamiento de los puentes (ya sea antes y/o después de su puesta en servicio) fue mediante la ejecución de pruebas de carga. Efectivamente, en el siglo XIX, cuando los métodos de cálculo eran todavía rudimentarios, las pruebas se consideraban como una comprobación de la seguridad.

Actualmente, la realización de pruebas de carga en puentes nuevos es un requisito obligatorio en muchos países, los cuales tienen sus propias normas para la realización de dichas pruebas tales como el caso de Estados Unidos de América, Francia, España, y a nivel de Sudamérica Colombia posee “El Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes”, del Ministerio de Transportes, Instituto Nacional de Vías y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica del año 1995 presenta en su sección C.2.11, titulada “Prueba de Carga”

En el ámbito nacional, en el “Manual de Puentes” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Perú (2016), se indican las consideraciones mínimas a ser tomadas en cuenta y la verificación de la estructura mediante la prueba de carga, pero sin mayores detalles de la realización de dicha prueba.

En la Red Vial N° 5, se construyó el Intercambio Vial Huaura, en la cual se encuentra el puente a evaluar mediante la prueba de carga, en el presente trabajo se pretende exponer la realización de la prueba de carga estática en el puente sobre el Intercambio vial Huaura.

Para realizar la prueba de carga estática, se tomaron en cuenta las normas españolas, así como también lo descrito en las normas AASHTO.

1.2. Justificación

Los puentes son estructuras esenciales para el desarrollo local, regional y nacional del país, por lo que se debe tener especial cuidado al momento de diseñar y construir, es necesario contar con un buen método para verificar que dicha estructura cumpla con lo diseñado por lo cual son utilizadas las pruebas de carga, se justifica este estudio para poder determinar los parámetros y condiciones al momento de efectuar las pruebas de carga al puente vehicular sobre el Intercambio Vial Huaura construido en el tramo Huacho Pativilca de la Red Vial n° 5.

En el ámbito nacional, la RD 09-2016-MTC/14 – Manual de Puentes obliga a realizar una prueba de carga a los puentes nuevos recién construido para verificar que la obra terminada cumple con lo especificado en el proyecto, pero no existe un procedimiento normado para realizar dicha prueba de carga estática en puentes.

El contar con procedimientos claros y detallados para realizar las pruebas de carga colabora en mejorar la calidad de puentes.

El tener una guía de consulta para todos los constructores, académicos y público en general que requiera conocimientos respecto a los procedimientos de realización de una prueba de carga estática justifica realizar esta investigación de pruebas de carga en puentes vehiculares.

1.3. Objetivo

Aplicar las recomendaciones españolas para la realización de pruebas de carga estática de recepción en el puente sobre el Intercambio vial Huaura de la Red Vial n.º 5.

1.3.1. Objetivos Específicos

1.3.1.1. Objetivo específico 1:

Presentar el procedimiento para realizar la prueba de carga estática basándose en las recomendaciones españolas para la realización de pruebas de carga estática de recepción de puentes en carretera.

1.3.1.2. Objetivo específico 2:

Desarrollar la Memoria de Cálculo de la prueba de carga estática del puente sobre el Intercambio Vial Huaura de la Red Vial n.º 5.

1.3.1.3. Objetivo específico 3:

Determinar las deflexiones máximas y remanentes así como también comparar con las obtenidas teóricamente de la prueba de carga estática del puente sobre el Intercambio Vial Huaura de la Red Vial n.º 5.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Para una mayor comprensión del tema, se indica a continuación algunos conceptos básicos utilizados para ejecutar y evaluar una prueba de carga estática para puentes.

2.1. Clasificación de puentes

De acuerdo al Capítulo 1.10 Clasificación de Puentes, del Manual de Puentes publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), los puentes se clasifican en:

a) Según la naturaleza de la vía soportada.

Se distinguen puentes para carretera, para ferrocarril, para trenes eléctricos de pasajeros, para acueductos, puentes para peatones y los puentes para aviones que existen en los aeropuertos; también existen puentes de uso múltiple.

b) Según el material

Existen puentes de piedra, madera, sogas, hierro, acero, concreto armado, concreto preesforzado, y últimamente de materiales compuestos (fibras de vidrio, fibras de carbón, etc.). La clasificación se hace considerando el material constitutivo de los elementos portantes principales.

c) Según el sistema estructural principal

Los puentes pueden ser de tipo viga, puentes en arco y los puentes suspendidos.

d) Según la forma de la geometría en planta

Los puentes pueden ser rectos, esviados o curvos.

e) Según su posición respecto a la vía considerada Se

clasifican como pasos superiores y pasos inferiores

f) Según el tiempo de vida previsto

Los puentes se clasifican en puentes definitivos y en puentes temporales

g) Según la Demanda de Tránsito y Clase de la Carretera

En el Manual de Diseño Geométrico para Carreteras DG-2013, Sección 101 se clasifica las carreteras en función de la demandad de tránsito como: Autopistas de Primera Clase (Índice Medio Diario Anual IMDA > 6000) veh/día), Autopistas de Segunda Clase (4001 < IMDA < 6000), carreteras de 1ra. Clase (2001 < IMDA < 4000), de 2da. Clase (400 < IMDA < 2000), de 3ra. Clase (400 < IMDA), y Trochas Carrosables.

h) Clasificación de acuerdo a la Importancia Operativa

Para el diseño del puente, el propietario debe asignar la importancia operativa del puente, estos pueden ser Puentes Importantes, Puentes Típicos y Puentes relativamente menos importantes.

i) Clasificación para fines del Diseño Sísmico

Para fines del diseño sísmico de los puentes, el propietario deberá clasificar el puente en Puente Críticos, Puentes Esenciales u Otros puentes.

j) Según el sistema de construcción

Estos puentes pueden ser Puentes Segmentales, Puentes Lanzados, Puente sobre Obra Falsa y Puente Prefabricado.

2.2. Cargas en puentes

2.2.1. Tipos de Cargas

De acuerdo al Capítulo 2.4.1 Clasificación y Definición de Cargas, del Manual de Diseño de puentes del MTC (2016), las cargas a considerar para el análisis estructural de puentes se clasifican de la siguiente manera:

a) Cargas permanentes

También denominado carga muerta, es el peso propio de la superestructura del puente, incluye concreto, acero, veredas, barandas, accesorios, etc., es decir son aquellas cargas que no varían significativamente durante la vida útil del puente.

b) Cargas variables

La definición de cargas variables según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016) indica que dichas cargas “Son aquellas para las que se observan variaciones frecuentes y significativas en términos relativos a su valor medio. Las cargas variables incluyen los pesos de los vehículos y personas, así como los correspondientes efectos dinámicos”, (P. 55).

Es decir son todas las fuerzas que pueden ser aplicadas mientras dicho puente este en servicio.

c) Cargas excepcionales

Son las cargas cuya fuerza puede aplicarse sobre la estructura en forma excepcional, es decir que la probabilidad de que suceda dicho evento es muy baja, por ejemplo incendios, explosiones o choques.

2.2.2. Camión de Diseño

Para los diseños de puentes se consideran camiones de diseño de diferentes dimensiones y pesos, estos se deben de tomar en cuenta de acuerdo a las características propias de cada puente, según la Norma (American Association of State Highway and Transportation Officials) AASHTO, (2014) se utilizan para el diseño las siguientes consideraciones:

“Camión de Diseño.

Tándem de Diseño.

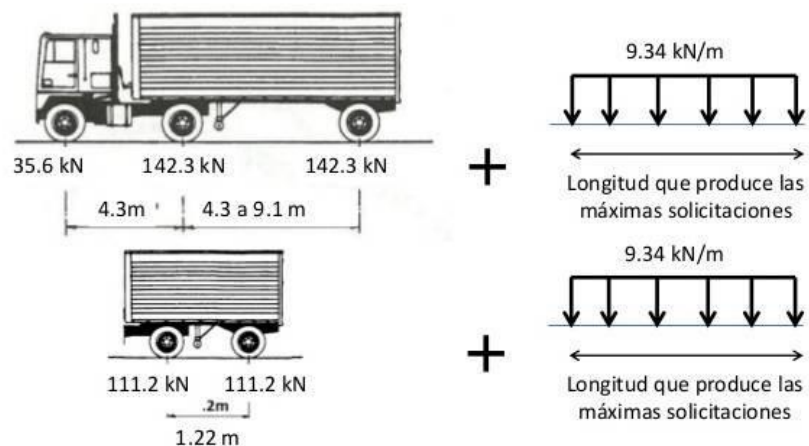
Sobrecarga Distribuida (Carga del Carril de

Diseño). Área de Contacto de los neumáticos.

Presencia múltiple de sobrecargas” (pp. 3-23 - 3-24)

Ilustración n°. 1.- Características del Camión de Diseño HL 93

AASHTO LRFD HL93:



Fuente: Reyes, Sanchez-Silva, Castro, Sequera, & PeDelta y Santander Asociados (2015)

2.2.3. Combinaciones de Cargas

La verificación de la capacidad de los elementos estructurales se basó en un procedimiento de cargas factoradas, conforme al Manual de Puentes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

$$\text{Resistencia I : } U = 1.25 \text{ DC} + 1.75 \text{ PL} + 1.2 \text{ TU}$$

$$\text{Resistencia II : } U = 1.25 \text{ DC} + 1.35 \text{ PL} + 1.2 \text{ TU}$$

$$\text{Resistencia III : } U = 1.25 \text{ DC} + 1.4 \text{ WS}$$

$$\text{Resistencia IV : } U = 1.5 \text{ DC} + 1.2 \text{ TU}$$

$$\text{Resistencia V : } U = 1.25 \text{ DC} + 1.35 \text{ PL} + 0.4 \text{ WS} + 1.2 \text{ TU}$$

$$\text{Evento Extremo I : } U = 1.25 \text{ DC} + 0.5 \text{ PL} + 1.0 \text{ EQ}$$

$$\text{Evento Extremo II : } U = 1.25 \text{ DC} + 0.5 \text{ PL}$$

$$\text{Servicio I : } U = 1.0 \text{ DC} + 1.0 \text{ PL} + 0.3 \text{ WS} + 1.2 \text{ TU}$$

$$\text{Servicio II : } U = 1.0 \text{ DC} + 1.3 \text{ PL} + 1.2 \text{ TU}$$

$$\text{Servicio III : } U = 1.0 \text{ DC} + 0.8 \text{ PL} + 1.2 \text{ TU}$$

Dónde:

DC = Carga muerta de los componentes y auxiliares

PL = Carga viva de peatones

TU = Temperatura uniforme

WS = Efecto de viento sobre estructura

EQ = Efecto de sismo

En las Normas AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, de American Association of State Highway and Transportation Officials (2014), en su tabla Table 3.4.1-1—Load Combinations and Load Factors Indica lo siguiente:

Ilustración n.º 2.- Combinación de cargas según AASHTO

Combinación de Cargas	DC DD DW EH EV ES EL	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Usar uno de estos por vez			
										EQ	IC	CT	CV
RESISTENCIA I (a menos que se especifique lo contrario)	Y_p	1,75	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{SE}	-	-	-	-
RESISTENCIA II	Y_p	1,35	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{SE}	-	-	-	-
RESISTENCIA III	Y_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{SE}	-	-	-	-
RESISTENCIA IV Sólo EH, EV, ES, DW, DC	Y_p 1,5	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-	-
RESISTENCIA V	Y_p	1,35	1,00	0,40	1,0	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{SE}	-	-	-	-
EVENTO EXTREMO I	Y_p	Y_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-	-
EVENTO EXTREMO II	Y_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00	1,00
SERVICIO I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,0	1,00	1,00/1,20	Y_{TG}	Y_{SE}	-	-	-	-
SERVICIO II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-	-
SERVICIO III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	Y_{TG}	Y_{SE}	-	-	-	-
FATIGA Sólo LL, IM y CE	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: AASHTO (2014)

2.3. Pruebas de Carga

2.3.1. Definición de Prueba de Carga Estática

Los tesisistas Marvin Cardoza y José Villalovos (2005) definen la prueba de carga como:

El control que se realiza sobre una obra, estructuralmente terminada, con el objeto de determinar si su concepción y ejecución han sido adecuadas, sometiendo a la misma a las acciones producidas por el tren de carga de la prueba. Para ello se reproducen los efectos del tren de carga de cálculo mediante un tren de carga real (camiones, por ejemplo) tal que las solicitaciones a que de lugar el tren de carga estén en torno al 70% - 80% de los valores teóricos producidos por el mismo adoptando sus valores característicos sin factorar. (P. 140).

A través de las pruebas de carga se pretenden confirmar en campo las hipótesis de diseño asumidas para el puente, así también se desea verificar el comportamiento estructural del mismo como resultado del proceso constructivo llevado a cabo. Esta prueba se basa en la comparación de las deflexiones teóricas y las medidas en campo por efecto de la aplicación de cargas vehiculares las cuales deberán producir

momentos y esfuerzos similares a los requeridos en la etapa de diseño en condiciones de Servicio.

Ilustración n.º 3.- Ubicación de Volquetes lado izquierdo para Prueba de Carga



Fuente: Andreu. (2016).

2.3.2. Normas Peruanas Aplicadas

En la normatividad peruana no existe mucha información referente a la realización de las pruebas de carga, la mención a esta se da en la Directiva N° 01-2006-MTC/14 “GUÍA PARA INSPECCIÓN DE PUENTES” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2006) en la que indica textualmente:

6.11. PRUEBAS DE CARGAS

La mayoría de los métodos de medición de capacidad de un elemento de un puente, predicen el esfuerzo que puede producirse en ese elemento por el peso de un vehículo.

La predicción se basa en una simple aplicación de la teoría estructural, combinada con factores experimentales. Las lecturas de los medidores de

deformación, aplicados en ciertos puntos de la estructura, son convertidas a esfuerzos, registrando los producidos por diferentes cargas.

Este método es aplicable en caso que exista duda del estado de un puente y debe realizarse con un proceso específico y aprobado. (P.80)”

El decreto anterior se complementó con el Manual de Puentes 2016 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016), en cual indica:

2.12.11 Prueba de Carga de Puentes Recién Construidos

Si se trata de un puente nuevo recién construido, el objetivo de la prueba debe ser verificar que la obra terminada cumple con el proyecto, en consecuencia, en ese caso, la prueba se debe hacer para verificar mediante mediciones, que los cálculos teóricos previstos antes de la prueba, coinciden aproximadamente con las mediciones que se hagan durante la prueba de carga. La carga de prueba debe corresponder al nivel de la carga de diseño y ubicado en el puente de tal manera de producir las máximas solicitaciones.

El responsable de la Ingeniería de la Construcción del puente deberá elaborar el Expediente de la Prueba de Carga del Puente, definiendo la carga de prueba, el procedimiento de la prueba, el método para la medición de deflexiones y/o deformaciones y los criterios para analizar y evaluar los resultados de la prueba de carga.

El Supervisor deberá revisar el Expediente de Prueba de Carga y aprobar de ser el caso. P(536).

Debido a la poca información al respecto se recurre a normas internacionales que regulen los procedimientos de aplicación de pruebas de carga.

2.3.3. Normas internacionales

Distintos países contemplan las pruebas de carga dentro de su normativa específica para diseño de puentes o, como en el caso de Estados Unidos, consideran la evaluación de la condición de puentes a partir de datos de campo.

Entre las Normas más utilizadas a nivel mundial se tienen las siguientes:

2.3.3.1. Norma española:

En España, la institución que norma este tipo de pruebas es la Dirección General de Carreteras – Ministerio de Fomento, (1999) mediante el documento titulado “Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera”, esta es la normatividad más utilizada en el ámbito nacional.

Esta Norma está dedicada a las pruebas de recepción de obra nueva, aun así, algunos de los criterios mostrados en dicha Norma pueden ser aplicables en pruebas de carga de obras en servicio.

Se indican los tipos de prueba estática y dinámica para las obras nuevas, siendo obligatoria la aplicación de las pruebas estáticas a todo tipo de puentes con luces mayores o iguales de 12m, quedando a criterio del Director del Proyecto el poder utilizar estas pruebas en puentes de luces menores.

Las pruebas de carga dinámicas son obligatorias en los puentes con luces mayores de 60m, o en aquellos cuyo diseño sea inusual o se utilicen nuevos materiales, así como en el caso de pasarelas y zonas de tránsito en las que se prevea que las vibraciones puedan ocasionar molestias a los usuarios.

2.3.3.2. Norma americana:

Las Normas americanas para la realización de pruebas de carga estática está regida por la American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2011), en el “Manual for bridge evaluation (2nd edition)”.

Esta Norma contempla dos tipos de ensayos:

Ensayo de diagnóstico:

El ensayo de diagnóstico es utilizado generalmente cuando no se tienen los datos de diseño dados por el constructor, lo cual se necesita para poder realizar un modelo analítico que permita identificar el

comportamiento aproximado del puente, o simplemente para corroborar su correcta construcción.

Ensayo de prueba:

Un ensayo de prueba es la acción mediante la cual se intenta predecir la capacidad máxima segura, mediante la implementación de un vehículo de evaluación dado por la norma. Este es utilizado al igual que en el ensayo diagnóstico cuando no existe un historial o una documentación de la construcción del puente, es decir cuando no hay planos de diseño. También se utiliza cuando la estructura posee un uso considerable, lo que genera un desgaste en sus componentes estructurales los cuales no pueden ser asimilados o reflejados en el modelo analítico, al igual que en el caso de que la estructura tenga daños, bien sea por uso o por factores externos como son accidentes, agentes climáticos, ríos, etc.

2.3.3.3. Norma francesa:

La Norma francesa para la realización de prueba de carga está regida por Loading tests on road bridges and footbridges.

El nivel de servicio del puente es determinado con base en las cargas de tráfico que representan sus acciones con un periodo de retorno entre una semana y un año. La intensidad de estas cargas no representará peligro alguno a la estructura. En la práctica, los efectos de la carga de tráfico en la prueba deben estar entre el efecto de las cargas de tráfico frecuentes y las tres cuartas partes de los efectos de las cargas de tráfico definidas en el Eurocódigo EN1991-2.

2.4. Recomendaciones españolas para la realización de pruebas de carga

A continuación, se presenta un resumen de las *Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera*, Norma española que fue utilizada en la realización de prueba de recepción del puente sobre el Intercambio Vial Huaura de la Segunda Etapa de la Red Vial N° 05, Tramo Huacho – Pativilca.

Es válido recordar que este tipo de normatividad está dedicada a las pruebas de recepción de obra nueva.

2.4.1. Campo de aplicación.

Esta norma es de aplicación para las obras de paso de carreteras y puentes peatonales, en caso de puentes con funciones diversas (férreos, acueductos o combinación de estos con carreteros, etc.) se requerirán de un tratamiento especial.

Las pruebas de carga pueden ser estáticas o dinámicas, la aplicación de cada uno de estas pruebas depende de lo siguiente: las pruebas estáticas son obligatorias para puentes con luces mayores de 12 m. y las pruebas dinámicas son obligatorias para luces mayores de 60m, o en caso de puentes especiales o las vibraciones puedan ocasionar molestia a los usuarios.

Cuando se realizó una ampliación y/o rehabilitación de una estructura en servicio, se deberá de aplicar la prueba de carga.

2.4.2. Dirección y realización de la prueba.

Esta prueba será realizada por personal cualificado, estará a cargo de un Ingeniero especializado, el cual será nombrado como Director de Obra, el cual deberá de estar presente durante el desarrollo de la misma.

2.4.3. Planteamiento de la prueba.

2.4.3.1. Proyecto de la prueba:

El proyecto de la prueba de carga deberá estar incluido en el proyecto de la obra, y debe de tener memoria, planos, pliego de prescripciones técnicas particulares y presupuesto.

Deberá de tener definido los trenes y estados de carga, instrumentación, medios auxiliares (en su caso) y valorización económica.

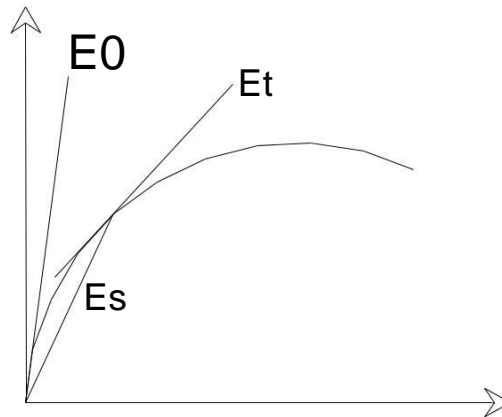
2.4.3.2. Sistema de medida:

Las magnitudes a medir y la localización de los puntos de medida serán los especificados en el Proyecto de la prueba. Las medidas deberán efectuarse en posición y cantidad suficiente para permitir la correcta evaluación del comportamiento de la obra.

2.4.3.3. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón:

En puentes de hormigón (léase concreto armado), para poder conocer las características del material en el momento de la prueba de carga, se recomienda efectuar algún ensayo a compresión de probetas reservadas a tal fin durante la ejecución de la obra.

Ilustración n.º 4.- Curva esfuerzo deformación del concreto



Fuente: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, (2007)

2.4.3.4. Efecto de las condiciones meteorológicas:

Se recomienda instrumentar una sección del tablero con dos sensores de temperatura (uno en la cara superior y otro en la cara inferior).

2.4.3.5. Fecha de ejecución:

La prueba de carga de recepción se realizará antes de la puesta en servicio de la estructura.

2.4.4. Actuaciones complementarias.

Antes de realizar cualquier prueba de carga, se efectuará una inspección de la obra que incluirá, además de la estructura resistente, los aparatos de apoyo (contacto del apoyo con la cara inferior del tablero, deformación, etc.), juntas y otros elementos singulares, en la medida que lo permitan las condiciones de accesibilidad de la obra.

Durante la prueba se realizará un seguimiento de los elementos más característicos de la obra, realizándose una última inspección al finalizar la prueba. En las estructuras de hormigón se controlará el posible proceso de fisuración.

En caso de que se haga una nivelación general de la obra para servir de referencia en futuras inspecciones de la estructura, ésta deberá realizarse una vez concluida la prueba de carga.

a) Desarrollo de la prueba.

Materialización del tren de carga

Se empleará un tren de carga constituido por camiones, cuyo número y características estarán definidos en el Proyecto de la prueba.

Se considera adecuado alcanzar un nivel de carga correspondiente a un período de retorno próximo a 5 años. De acuerdo con esto, se aconseja que las solicitaciones a que dé lugar el tren de carga real estén en torno al 60% de los valores teóricos producidos por el tren de carga definido en la “Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP)”, adoptando sus valores característicos sin mayorar. En ningún caso las solicitaciones producidas por el tren de carga real serán superiores al 70% de dichos esfuerzos teóricos.

Antes de comenzar la prueba, se comprobará mediante pesaje en báscula el peso total real de cada uno de los vehículos, debiendo quedar garantizado que su valor no se desvía en más de un 5% del considerado en el Proyecto de la prueba.

La posición de todos los vehículos en cada estado de carga deberá marcarse previamente sobre el tablero, de forma que pueda realizarse su colocación con suficiente precisión.

Ilustración n.º 5.- Tren de cargas en un puente.



Fuente: Leña, (2013)

Estados de carga

Los estados de carga se definirán en el Proyecto de la prueba de forma que, cargando convenientemente distintas zonas de la estructura, se alcancen los porcentajes deseados de los esfuerzos máximos producidos por el tren de carga de la Instrucción en las secciones críticas.

En el caso de vanos simplemente apoyados, se cargará todo el vano. En el caso de puentes continuos, en general será suficiente con cargar parejas de vanos contiguos y de vanos alternos, de forma que, en todas las secciones de apoyo y de centro de vano, se alcancen los porcentajes de esfuerzos indicados en el capítulo 2.2.3 Combinaciones de Cargas del presente documento.

Como norma general, la carga se aplicará solamente en la calzada y arcenes, sin que sea necesario someter a prueba las aceras, distribuyendo uniformemente los vehículos de carga en el ancho de la plataforma.

También pueden definirse estados de carga en los que ésta se distribuya Únicamente en la mitad izquierda o derecha de la plataforma. Se recomienda disponer este tipo de estados asimétricos en el caso de puentes de planta curva en los que el efecto de la torsión pueda ser significativo, en puentes con esviaje importante, en puentes con doble arco, etc.

Forma de aplicación de la carga

Los movimientos de los vehículos en cualquier fase del proceso de carga o de descarga se efectuarán con la lentitud necesaria para no provocar efectos dinámicos no deseados, y se organizarán de forma que no se produzcan sobre otras partes de la estructura sollicitaciones superiores a las previstas.

Será necesario proceder a la descarga total de la estructura antes de materializar cada nuevo estado de carga. Únicamente en el caso de puentes formados por vanos simplemente apoyados, se podrán materializar los distintos estados de carga mediante el avance del tren de carga sucesivamente de vano en vano.

2.5. Definición de términos básicos

2.5.1. Vigas.

Según la Real Academia Española (2014) se define viga como un madero largo y grueso que sirve por lo regular, para formar los techos en los edificios y sostener y asegurar las fábricas, también puede ser definido como estructura de hierro o concreto destinado en la construcción moderna a los usos que la viga de madera.

Técnicamente hablando, las vigas son los elementos estructurales encargadas de recibir todas las cargas situadas en la superestructura de los puentes y distribuirlos en los pilares y estribos.

Los tipos de vigas más utilizadas en los puentes vehiculares son:

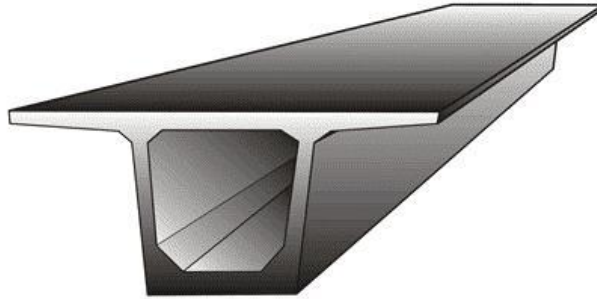
Vigas tipo T.

Viga sección I.

Viga sección U.

Viga sección cajón.

Ilustración n.º 6.- Viga sección cajón.



Fuente: Gruas & Equipos Garcia, (2012)

2.5.2. Deflexión en vigas.

Beléndez, Neipp y Beléndez (2002) comentaron que si se considera una Viga de sección rectangular constante sometida a una serie de cargas externas que la deforman. Si la barra esta curvada significa que el material de la parte interna de la curva está comprimido, mientras que el material de la parte externa está estirado tal como se indica en la ilustración n° 7, se llega a demostrar la ecuación de la elástica de la viga:

$$=$$

Ecuación n.º 1.- Ecuación de la viga.

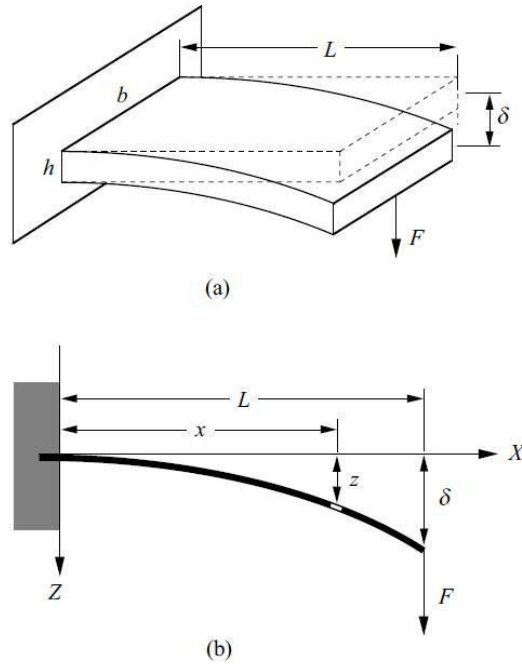
Donde:

M = Momento flector

E = Modulo de elasticidad

I = Momento de Inercia de la sección.

Ilustración n.º 7.- Diagrama de deflexiones en una viga

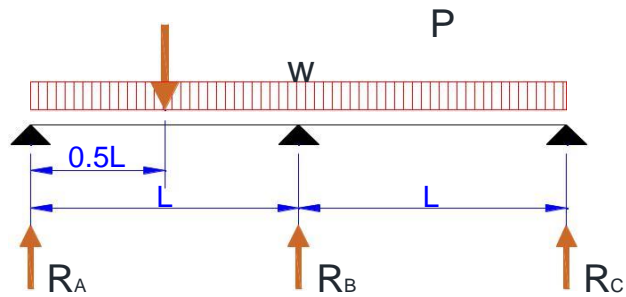


Fuente: Beléndez, Neipp, & Beléndez, (2002)

2.5.3. Momento Flector

El momento flector en un punto determinado viene a ser la suma algebraica de todas las fuerzas aplicadas multiplicadas por la distancia entre la fuerza y el punto determinado, tal como se puede apreciar en la figura n° 08:

Ilustración n.º 8.- Diagrama de una viga continua de 2 tramos



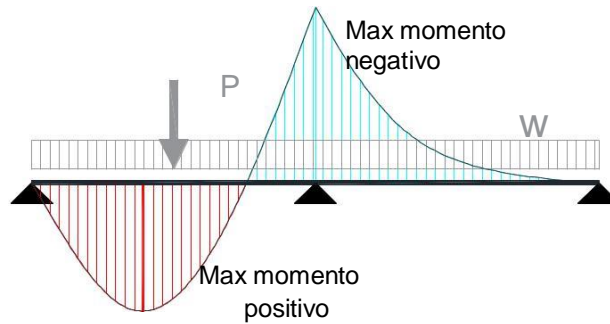
Fuente: Elaboración propia

En el diagrama mostrado, la ecuación del momento flector para un punto cualquiera x sería:

$$= \frac{P}{2}x - \frac{Px^2}{2L} + (W - P)x$$

Ecuación n.º 2.- Ecuación del Momento flector para la viga continua.

Ilustración n.º 9.- Diagrama de momento flector para la viga mostrada

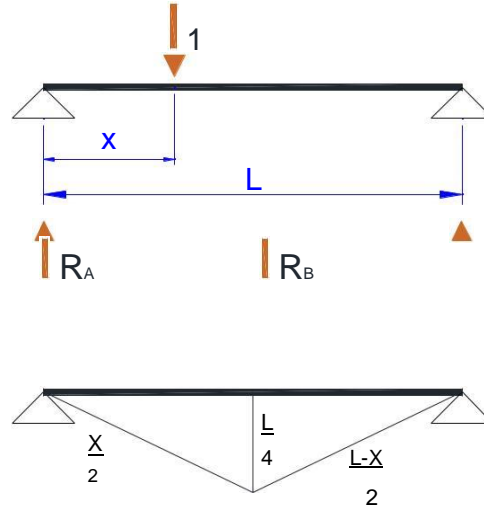


Fuente: Elaboración propia

2.5.4. Líneas de influencia

Las líneas de influencia son herramientas importantes cuando se requiera realizar el análisis estructural de los puentes sometidos a cargas móviles, con estas líneas de influencia podremos ver los efectos de la carga móvil en cualquier posición del puente.

Ilustración n.º 10.- Líneas de influencia para una viga de un tramo, en el punto medio.



Fuente: Elaboración propia

2.5.5. Periodo de Retorno

Elías y Ruiz (1979) definen el período de retorno o de recurrencia (T) como el intervalo medio expresado en años en el que un valor extremo alcanza o supera al valor "x", al menos una sola vez, por lo tanto viene a ser la probabilidad de ocurrencia de un evento dentro de un periodo determinado.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO

3.1. Desarrollo del Objetivo Especifico 1

A continuación, se presenta el procedimiento para realizar la prueba de carga estática basadas en las Recomendaciones Españolas Para La Realización De Pruebas De Carga Estática De Recepción En Puentes De Carretera aplicado en el puente del Intercambio Vial Huaura.

La realización de dicha prueba será efectuada en varias etapas, las mismas que detallamos a continuación:

- a) **Actividades realizadas antes de la prueba**, consta de las siguientes fases:
 - Elaboración del proyecto de la prueba de carga, la descripción se verá en el Capítulo 3.2.
 - Organización de los recursos humanos, equipos e instrumentación. Inspección y evaluación preliminar.
 - Marcar las posiciones del tren de cargas.

- b) **Actividades realizadas durante de la prueba**, consta de las siguientes fases:
 - Verificar medidas y peso de los camiones.
 - Procedimiento para realizar la carga.
 - Procedimiento para realizar la descarga.
 - Criterios de validación de la prueba.
 - Registro de datos.

- c) **Actividades realizadas después de la prueba**: consta de las siguientes fases:
 - Determinación de las deflexiones máximas debido a la carga.
 - Determinación de las deflexiones remanentes luego de retirar la carga. Comparar las deflexiones máximas con la deflexión teórica.
 - Comparar la deflexión remanente con la remanencia admisible.

3.1.1. Actividades realizadas antes de la prueba

3.1.1.1. Organización

Para la realización de la prueba de carga estática en el puente sobre el Intercambio Vial Huaura se utilizaron los siguientes recursos:

Recursos humanos.

El personal directamente involucrado en la prueba se tiene el siguiente personal:

Director de la obra, Ingeniero especialista en este tipo de pruebas el cual estará al frente de todo el procedimiento.

Topógrafo, encargado de realizar las tomas de datos del micrómetro.

Ayudantes de topografía, se utilizaron 2 ayudantes quienes se encargaron de llevar la mira a los puntos designados para tomar las medidas.

Ayudantes, son los encargados de ubicar a los camiones en los puntos señalados.

Aparte de este personal se contó con ingenieros de producción de la Empresa Contratista, así como personal de la Supervisión los cuales verificaron y validaron las pruebas.

Equipo e instrumentación

Para realizar la prueba de carga se contó con lo siguiente:

4 camiones cargados, el camión designado fue el FAW con un peso total de 28 200 Kg.

Nivel de precisión con exactitud al milímetro con miras y accesorios. Termómetro ambiental.

Cinta masking Tape 1"

Cordeles, tiralíneas, tiza y otros.

3.1.1.2. Inspección y evaluación preliminar:

Antes de realizar la prueba de carga, es necesario realizar una inspección preliminar de campo, esta inspección consiste en verificar visualmente todos los elementos estructurales del puente, estos elementos son los siguientes:

Estribos, se verificó la no existencia de grietas ni fisuras en los elementos estructurales que conforman los dos estribos, tales como las columnas y la viga cabezal, en dicha verificación se pudo verificar que la estructura se encuentra en perfectas condiciones sin presencia de fisuras ni grietas.

Pilares, se verificó la no existencia de grietas ni fisuras en los elementos estructurales que conforman el pilar, tales como las columnas y la viga cabezal, en dicha verificación se pudo verificar que la estructura se encuentra en perfectas condiciones sin presencia de fisuras ni grietas.

Vigas, se verificó la no existencia de grietas ni fisuras en las vigas prefabricadas que soportan la losa, en dicha verificación se pudo verificar que la estructura se encuentra en perfectas condiciones sin presencia de fisuras ni grietas.

Juntas de dilatación, se verificó la correcta instalación de la junta de dilatación del estribo con la losa, así como también se verificó las bases de neopreno, en dicha inspección no se constató errores ni deficiencias en la construcción.

Elementos adicionales, se verificaron las veredas, new jersey, la capa del pavimento y demás elementos no estructurales que se encuentran sobre la losa del puente.

3.1.1.3. Marcar las posiciones del tren de cargas:

Una vez realizada la inspección preliminar, se marca en el pavimento sobre la losa del puente las ubicaciones del tren de carga para cada una de las pruebas, estas posiciones están detalladas en los planos mostrados en los Anexos n.^{os} 06 al 09.

Esta actividad se realizó días antes de realizar la prueba de carga, en el caso del puente sobre el Intercambio Vial Huaura, se marcó las ubicaciones donde reposaran los neumáticos de cada camión con cinta masking Tape 1" y se localizó con la ayuda de la estación total.

Ilustración n.º 11.- Marcado de las ubicaciones de los trenes de carga.



Fuente: Andreu (2016)

3.1.2. Actividades realizadas durante la prueba

3.1.2.1. Verificar medidas y peso de los camiones:

El Proyecto de la Prueba de Carga contempla el utilizar 4 camiones con las dimensiones y pesos indicados en el Anexo n.º 1. Por lo que es necesario el verificar lo siguiente:

Verificación de las medidas, se verificaron las distancias entre ejes, las cuales deberán de ser las indicadas en el Anexo n.º 1. En el caso del Proyecto de la Prueba de Carga, el Contratista indico al Projectista el tipo de camión que utilizará en dicha prueba.

Verificación de los pesos, se realizará la verificación del peso total del camión, esto con la ayuda de una balanza para camiones, de acuerdo al Anexo n.º 1, el peso de cada camión tiene que ser de 20 200 Kg, los detalles de los pesos por camión se encuentran en el Anexo n.º 10.

La variación máxima permitida para cada camión deberá tener una tolerancia máxima de 5%, a continuación, en el anexo n.º 10 se presenta los certificados de pesos de cada camión, el resumen de dichos pesos por camión es:

Tabla n.º 1.- Resumen de pesos de camiones de carga.

Placa	Peso Teorico	Peso Real	% de variacion
F3V-725	28,200.00	28,190.00	0.04%
F3U-714	28,200.00	28,200.00	0.00%
DOR-849	28,200.00	28,200.00	0.00%
DOS-804	28,200.00	28,200.00	0.00%

Fuente: Elaboracion propia

3.1.2.2. Procedimiento de carga:

En esta fase, se realizarán los siguientes procedimientos de carga y tomas de datos, la secuencia es la siguiente:

- a) Antes de colocar la carga de los camiones sobre el puente, se deberá de tomar una nivelación inicial del puente a cada 1/5 de luz, esta medición será en los siguientes ejes:

Borde de la vereda lado izquierdo.

Eje longitudinal del puente. (Para la viga interior)

Eje paralelo a 1.00m del eje longitudinal. (Para la viga exterior) Borde de la vereda lado derecho.

- b) Luego se procederá a colocar los camiones en las posiciones descritas según los anexos n° 06 al anexo n° 09, el movimiento de los camiones deberá ser lento con velocidades máximas de 10 km/h.
- c) Una vez colocado en su posición prevista el tren de carga, se realizará una medida de la respuesta instantánea de la estructura “ “ en los instrumentos de medida situados en los puntos significativos.
- d) Transcurridos 10 minutos se obtendrá una nueva medida en dichos puntos “ ”. Si las diferencias entre los nuevos valores de la respuesta y los instantáneos son inferiores al 5% de éstos:

$$- \leq 0.05$$

Ecuación n.º 3.

o bien son del mismo orden de la precisión de los aparatos de medida, se considerará estabilizado el proceso de carga.

- e) Si lo anterior no se cumpliera, se mantendrá la carga por otros 10 minutos con lo que se obtendrá una nueva medida “f20”. Si la diferencia entre “f20” y “f10”

es menor que el 20% de la diferencia entre “f10” y “f0”, se considera cumplido el requisito de estabilización.

$$- \leq 0.2 (-)$$

Ecuación n.º 4.

- f) Si el requisito anterior no se cumpliera, se procederá, a juicio del Ingeniero Director de la prueba, a mantener la carga durante un nuevo intervalo o a efectuar la descarga.
- g) Una vez alcanzada la estabilización, se tomará las lecturas finales en todos los puntos de control, estas lecturas son las que se ingresarán en el formato correspondiente.

3.1.2.3. Procedimiento de descarga:

- a) Una vez tomadas las lecturas, se procederá a efectuar la descarga, al igual que la carga, el movimiento de los camiones deberá ser lentos con velocidades máximas de 10 km/h.
- b) Una vez retirada la carga, se realizará una medida de la respuesta instantánea de la estructura “ “ en los instrumentos de medida situados en los puntos de control.
- c) Transcurridos 10 minutos se obtendrá una nueva medida en dichos puntos “ “. Si las diferencias entre los nuevos valores de la respuesta y los instantáneos son inferiores al 5% de éstos:

$$- \leq 0.05$$

Ecuación n.º 5.

o bien son del mismo orden de la precisión de los aparatos de medida, se considerará estabilizado el proceso de descarga.

- d) Si lo anterior no se cumpliera, se tomará la medida por otros 10 minutos con lo que se obtendrá una nueva medida “f20”. Si la diferencia entre “f20” y “f10” es menor que el 20% de la diferencia entre “f10” y “f0”, se considera cumplido el requisito de estabilización.

$$- \leq 0.2 (-)$$

Ecuación n.º 6.

- e) Una vez alcanzada la estabilización, se tomará las lecturas finales en todos los puntos de control, estas lecturas “ ” son las que se ingresarán en el formato correspondiente.

3.1.2.4. Criterios de remanencia:

Los valores remanentes “ ” correspondientes a un estado de carga se definen como la diferencia entre los valores estabilizados después de la descarga y los iniciales antes de la carga.

Los valores remanentes de un estado de carga se considerarán aceptables siempre que sean inferiores a los límites indicados en este apartado. En el Proyecto de la prueba se podrán definir límites distintos de los aquí recogidos, siempre que estén adecuadamente justificados.

Los límites para las remanencias en cada punto de medida “ α ” que se indican a continuación expresados en forma de porcentaje, están referidos a los valores máximos de la respuesta medida de la estructura:

Tabla n.º 2.- Porcentaje de remanencia de acuerdo al material del puente.

Super estructura del puente	Porcentaje de remanencia
Concreto armado	20%
Concreto pretensado	15%
Metálico	10%

Fuente: Elaboracion propia

Una vez finalizado un estado de carga, se comprobará que los valores remanentes resultan admisibles, procediendo como se indica a continuación.

Sea “ α ” la remanencia admisible expresada en tanto por ciento, “ ” la medida total y “ ” la medida remanente. La remanencia “ α ” correspondiente al estado de carga vendrá dada por:

$$\alpha = 100$$

Ecuación n.º 7.

si $\alpha < \alpha_c$ El Valor Remanente Se Considera Admisible.
 si $\alpha_c \leq \alpha < 2\alpha_c$ Deberá Realizarse Un Segundo Ciclo De Carga
 (repetición del ensayo).

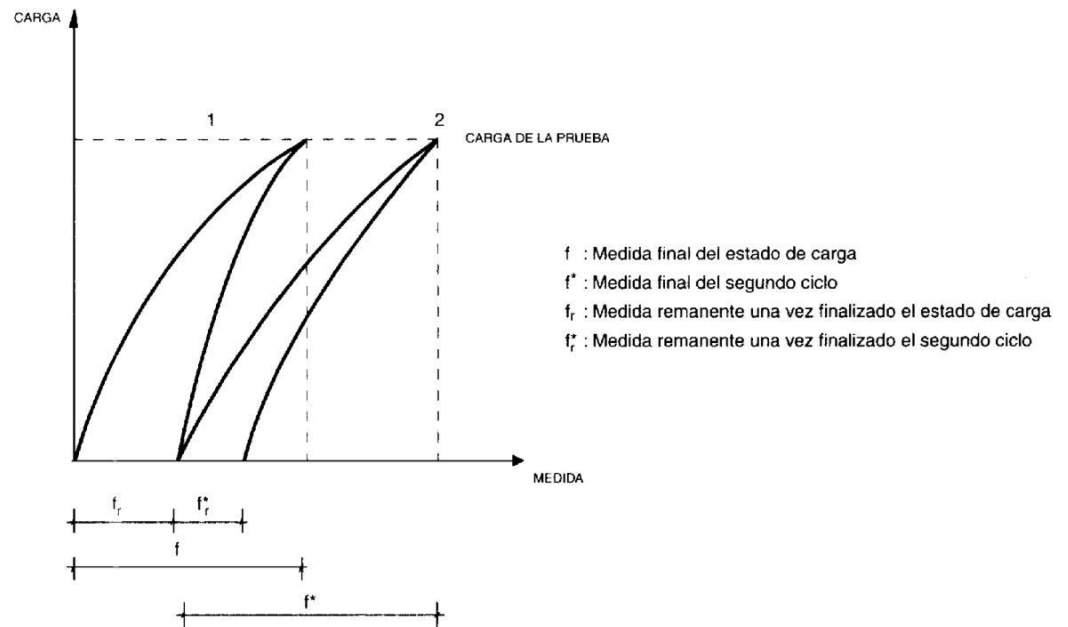
si $\alpha > 2\alpha_c$ Se Suspenderá La Aplicación De La Carga.
 En caso de ser necesario un segundo ciclo de carga:

si $\alpha^* \leq \alpha_c$ el valor remanente se considera admisible.

si $\alpha^* > \alpha_c$ se suspenderá la aplicación de la carga.

Donde α es la remanencia obtenida en el primer ciclo y α^* la obtenida en el segundo ciclo (tomando en este caso como valores iniciales los estabilizados después de la descarga del primer ciclo).

Ilustración n.º 12.- Valores remanentes.



Fuente: Ministerior de Fomento - Direccion General de Carreteras, (1999)

3.1.3. Obtención de datos de la prueba de carga.

3.1.3.1. Instrumentación:

En el Proyecto de la Prueba de Carga, se deberá de incluir el tipo de datos con la respectiva instrumentación a requerir, en el caso que nos compete, se tomará la medición de deformaciones mediante un micrómetro NAK2.

Ilustración n.º 13.- Micrómetro para la toma de datos.



Fuente: Andreu (2016)

3.1.3.2. Toma de Datos:

En cada punto de control (ilustración n.º 52) se realizarán 3 medidas, estas son:

Cota Inicial, es la cota del punto antes de realizar la carga.

Cota en etapa de carga, es la cota del punto luego de realizar la carga, y este se encuentre estabilizado.

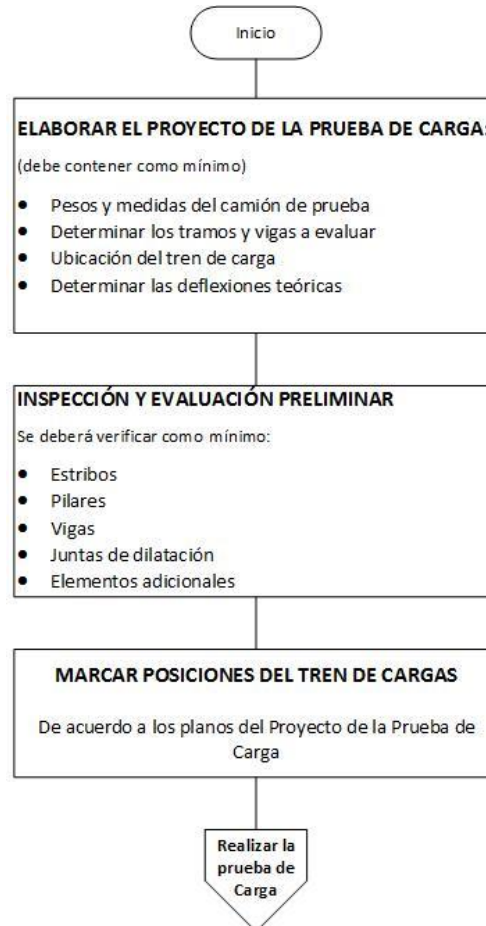
Cota en etapa de descarga, es la cota del punto luego de realizar la descarga, y este se encuentre estabilizado.

BM, es la lectura del punto monumentado BM ubicado fuera del puente, este sirve como nivel de referencia para calcular las deflexiones en los puntos de control.

3.1.4. Diagrama de flujo de la prueba de carga estática.

3.1.4.1. Actividades realizadas antes de la prueba:

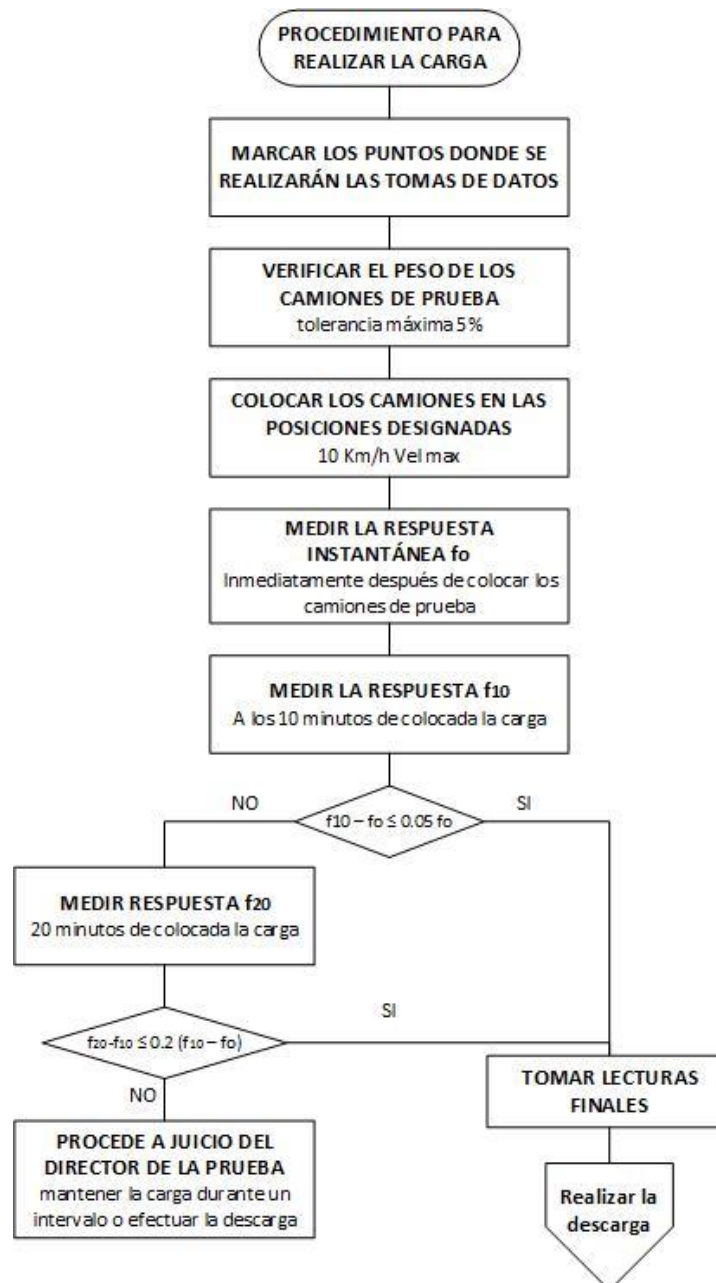
Ilustración n.º 14.- Diagrama de flujo de actividades antes de la prueba de carga estática.



Fuente: Elaboración propia

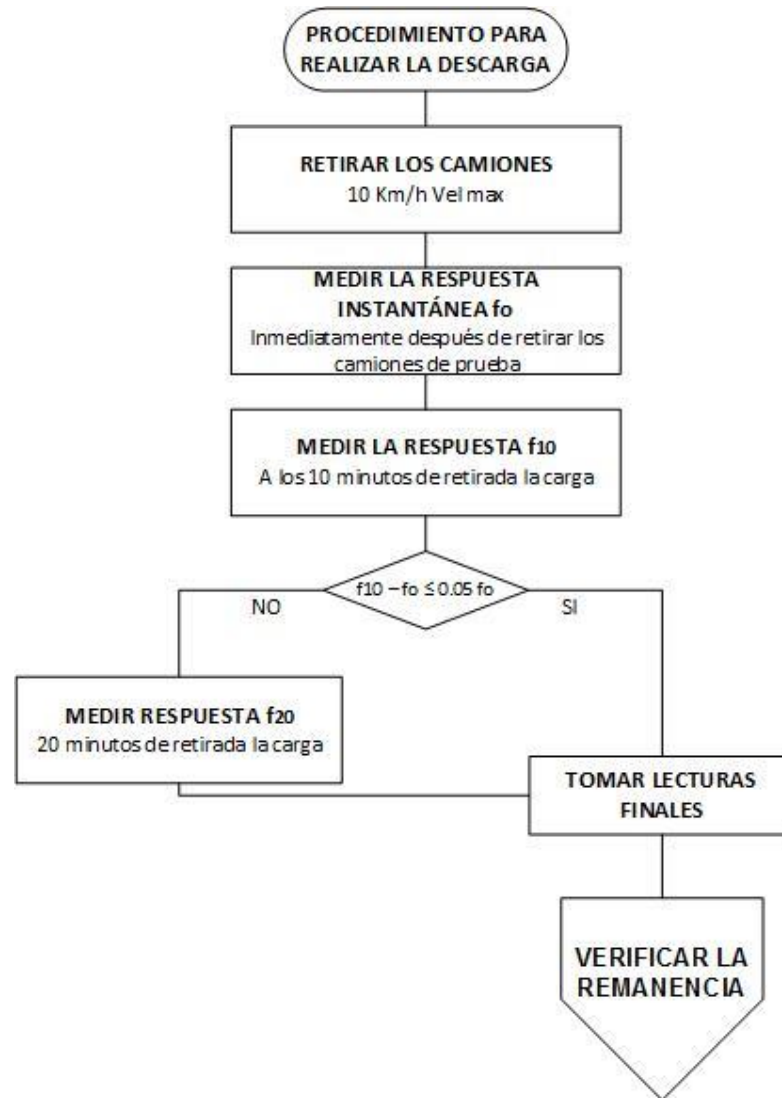
3.1.4.2. Actividades realizadas durante de la prueba:

Ilustración n.º 15.- Diagrama de flujo del procedimiento para realizar la carga.



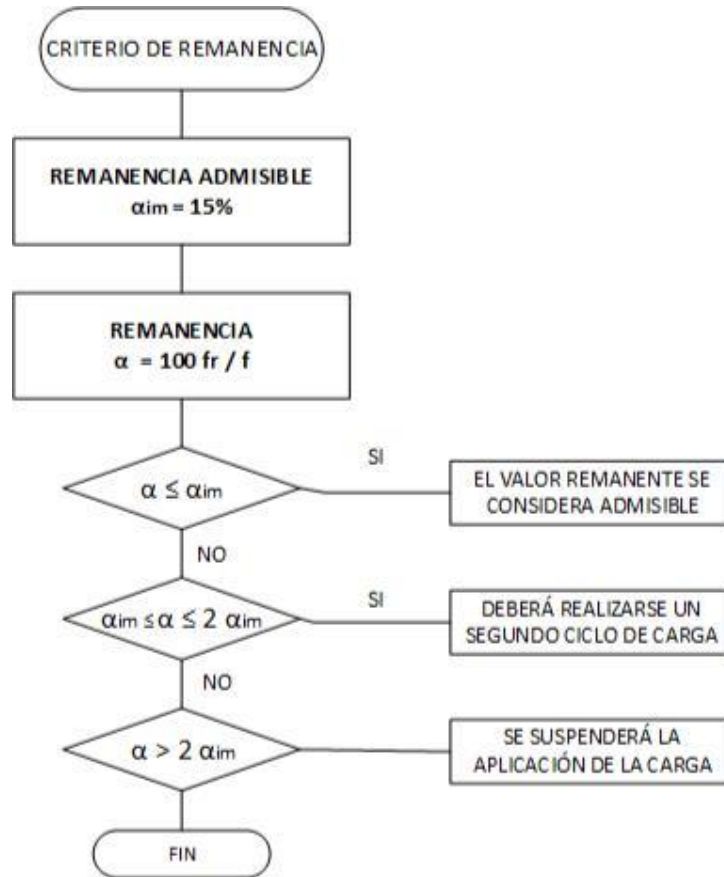
Fuente: Elaboración propia

Ilustración n.º 16.- Diagrama de flujo del procedimiento para realizar la descarga.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración n.º 17.- Diagrama de flujo del procedimiento determinar el criterio remanente .



Fuente: Elaboracion propia

3.2. Desarrollo del Objetivo Especifico 2

En el presente capítulo se desarrolla la Memoria de Cálculo de la prueba de carga estática para el puente del Intercambio Vial Huaura, hasta lograr conseguir la ubicación y deflexiones máximas teóricas para cada una de las condiciones de carga.

3.2.1. Alcances de la prueba

La prueba se realizó con el fin de verificar las hipótesis de diseño realizadas al momento de elaborar el diseño del mismo, así como también el de verificar el comportamiento estructural del puente luego de la construcción.

3.2.2. Descripción del puente

3.2.2.1. Ubicación:

Ubicado en el Intercambio Vial Huaura el cual se ubica en el Km 154+302.00 de la carretera Panamericana Norte, a la cual cruza a desnivel y perpendicularmente, en el Distrito de Huaura, Provincia de Huaura, Departamento de Lima.

Ilustración n.º 18.- Vista aérea del Intercambio Vial Huaura.



Fuente: Expediente Técnico

3.2.2.2. Longitud:

Longitud total de 38.30 m (19.15 + 19.15) entre ejes de apoyo de estribos.

Ilustración n.º 19.- Puente sobre el Intercambio Vial Huaura construido.



Fuente: Andreu (2016)

3.2.2.3. Condición Estructural:

Puente tipo pórtico con cuatro vigas continuas tipo cajón de concreto Postensado ($f'c=420 \text{ kg/cm}^2$), tablero o losa de concreto ($f'c=280 \text{ kg/cm}^2$) y además pre-losas de concreto ($f'c=280 \text{ kg/cm}^2$).

El Puente presenta un Angulo de Esviaje de 10° con respecto a la mediana de la carretera Panamericana Norte.

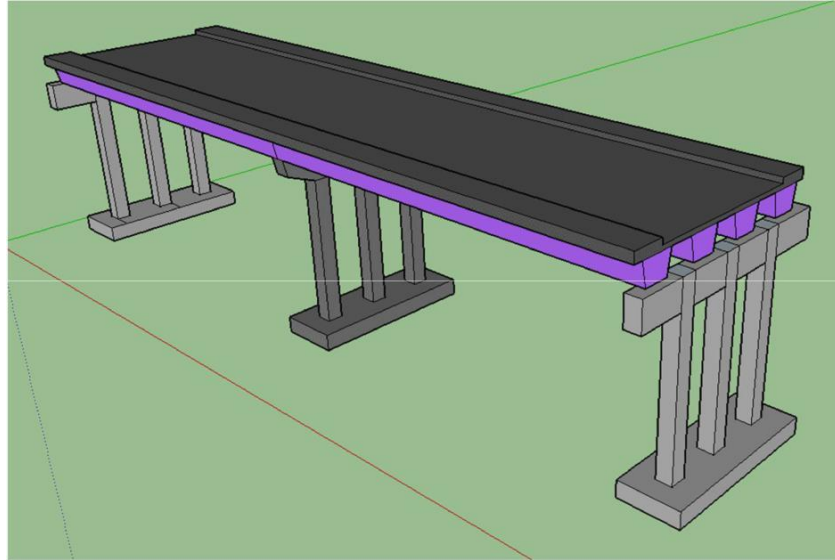
Estribos laterales tipo pórtico conformado por tres columnas cuadradas de concreto de 0.90×0.90 y sobre las cuales va una viga cabezal con concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

Pilar central tipo pórtico conformado por tres columnas circulares de $\varnothing=1.10 \text{ m}$ y sobre las cuales va una viga cabezal con concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

Las zapatas de sección rectangular de $5.40 \text{ m} \times 8.00 \text{ m}$, peralte $h=1.10 \text{ m}$ para Estribos y zapata de $10.00 \text{ m} \times 10.00 \text{ m}$, peralte $h=2.00 \text{ m}$ para el Pilar Central, con concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

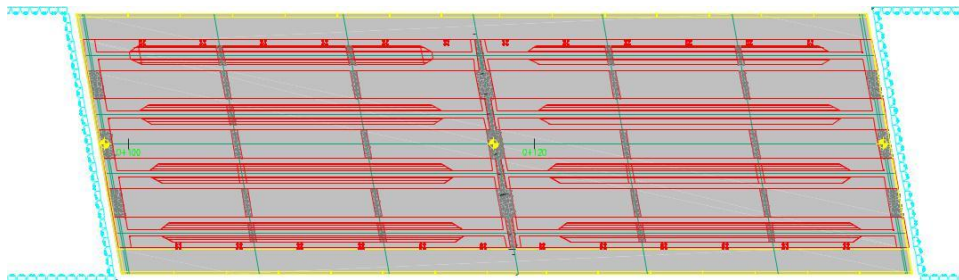
Muros de suelo Reforzado en lado Derecho e Izquierdo, conformado por Losa de Nivelación ($f'c=210 \text{ kg/cm}^2$), Bloques de concreto y conectores Dot ($f'c=280 \text{ kg/cm}^2$), Geomalla Uniaxial y relleno estructural de afirmado compactado.

Ilustración n.º 20.- Vista en 3D del puente sobre el Intercambio Vial Huaura.



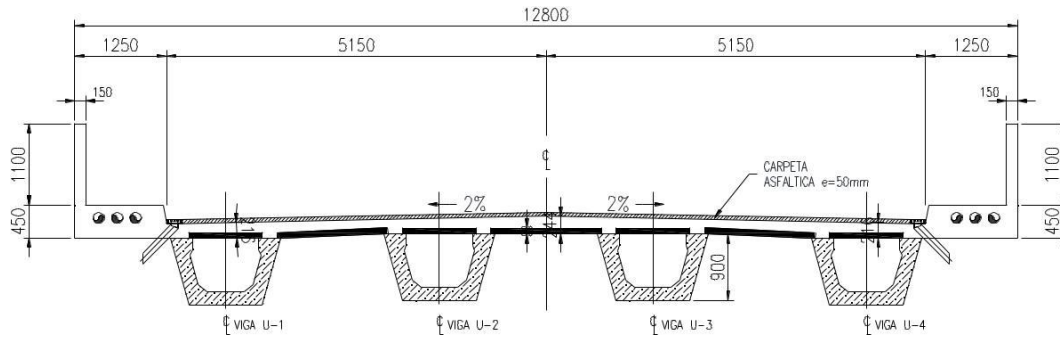
Fuente: Elaboración propia

Ilustración n.º 21.- Plano de planta del Puente sobre el Intercambio Vial Huaura



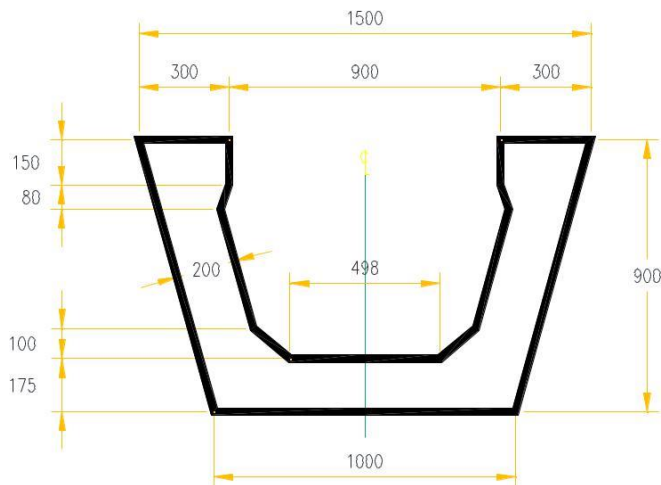
Fuente: Expediente Técnico

Ilustración n.º 22.- Sección transversal del Puente sobre el Intercambio Vial Huaura.



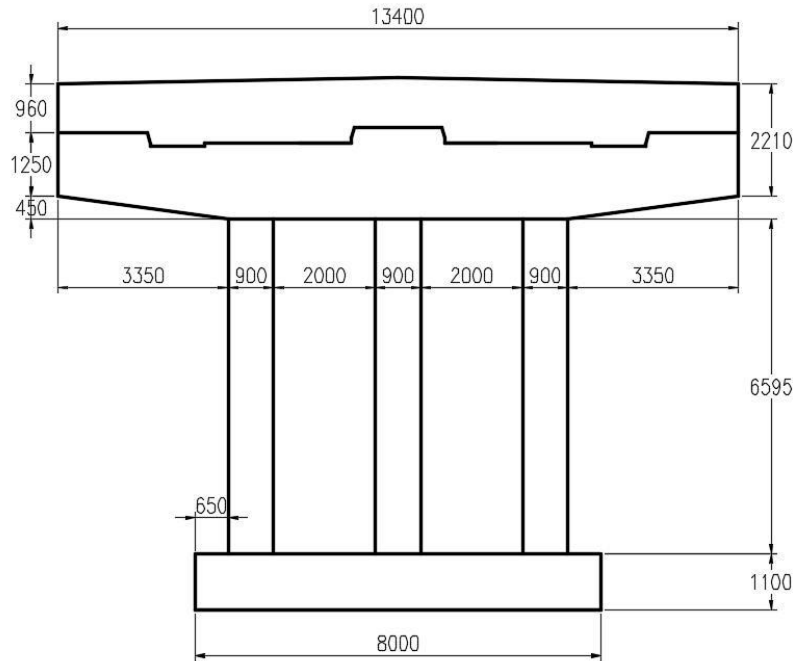
Fuente: Expediente Técnico

Ilustración n.º 23.- Sección transversal de la viga cajón.



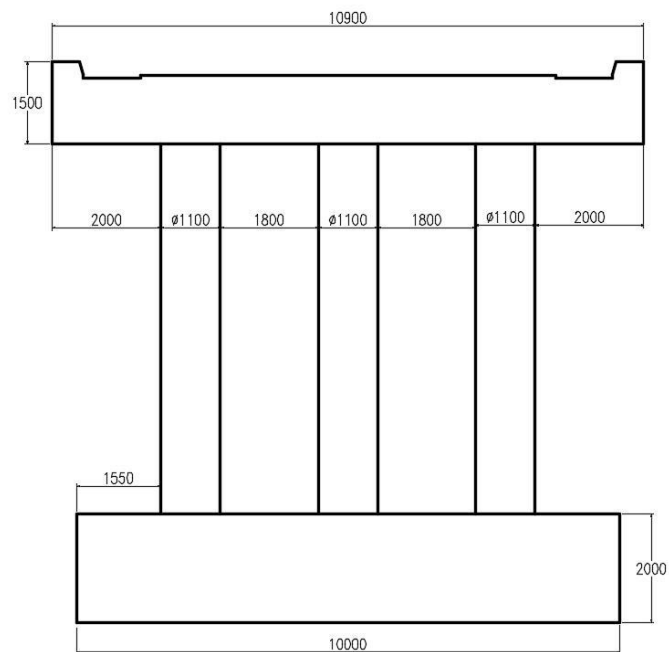
Fuente: Expediente Técnico

Ilustración n.º 24.- Estribos del Puente sobre el Intercambio Vial Huaura.



Fuente: Expediente Técnico

Ilustración n.º 25.- Pilares del Puente sobre el Intercambio Vial Huaura.



Fuente: Expediente Técnico

3.2.2.4. Materiales:

Los materiales utilizados para la construcción del puente son:

Tabla n.º 3.- Tipo de material empleado.

Elemento	Material
Estribos	Concreto $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$
Pilares	Concreto $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$
Vigas	Concreto $f'c=420 \text{ Kg/cm}^2$
Losa	Concreto $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Expediente Técnico

3.2.3. Modelado estructural del puente

En esta etapa se realizarán los cálculos necesarios para identificar los momentos y deflexiones máximas para los siguientes estados de carga:

Momento máximo en la fibra inferior del tramo en estudio debido al camión de diseño HL 93 y con el límite de servicio III especificado en el capítulo 2.2.3.

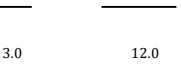
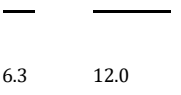
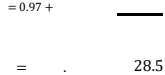
Calcular la ubicación y número de camiones de pruebas, con las cuales se puedan originar momentos similares a las obtenidas mediante el camión de diseño HL 93.

Calcular las deflexiones originadas por los camiones de pruebas.

3.2.3.1. Cálculo de los factores de distribución para las vigas interna y externa

Para el cálculo de los factores de distribución nos regiremos de las formulas de la tabla 4.6.2.2.2b-1 Factor de Distribución de Carga viva para Momento en vigas Interiores y la tabla 4.6.2.2.2d-1 Factor de Distribución de Carga viva para Momento en vigas Longitudinales Exteriores del Manual de Diseño de Puentes del MTC (2016) (P. 142).

Ilustración n.º 26.- Distribución de sobrecargas por carril para momento en vigas interiores y exteriores.

Tipo de Vigas	Posición de la viga	Factor de Distribución	Rango de aplicabilidad
Tablero de concreto sobre vigas cajón de concreto separadas o maestras	Interior	Un carril de diseño cargado: 	$6.0 \leq S \leq 18.0$
		Dos o más carriles de diseño cargados: 	$20 \leq L \leq 140$ $18 \leq d \leq 65$ $N_b \geq 3$
	Exterior	Un carril de diseño cargado: Ley de Momentos	$0 \leq d_e \leq 4.5$
		Dos o más carriles de diseño cargados: 	$6.0 \leq S \leq 18.0$

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016)

Donde:

S: Separación entre vigas o almas (ft), (S=9.51 ft)

L: Longitud de tramo de la viga (ft). (L=62.83 ft)

d: Profundidad de la viga o larguero (in). (d = 45.28 in)

Nb: Numero de vigas o largueros. (Nb = 4)

de: distancia horizontal entre el alma exterior de una viga exterior y el borde interior de un cordón o barrera para el tráfico (de=2.625 ft)

Aplicando las formulas obtenemos:

Para la Viga Interior:

Un carril cargado

$$\begin{array}{c}
 \text{---} \quad \text{---} \\
 \\
 = 3.0 \quad 12.0 \quad = 0.462
 \end{array}$$

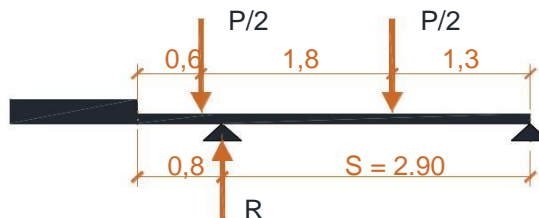
Dos o más carriles cargados

$$= 6.3 \quad 12.0 \quad = 0.711$$

Para la Viga Exterior:

Un carril cargado

Ilustración n.º 27.- Calculo de la relación R/P en viga exterior.

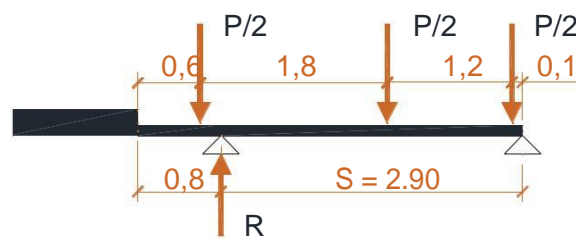


Fuente: Elaboracion propia

Resolviendo tenemos $R/P = 0.7583$
 $= 1.20 \cdot 0.7583 = 0.910$

Dos o más carriles cargados

Ilustración n.º 28.- Calculo de la relación R/P en viga exterior,
 2 carriles cargados.



Fuente: Elaboracion propia

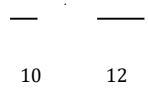


Resolviendo tenemos $R/P = 0.776$

$$= \frac{0.97 + 28.5}{1.00 \cdot 1.062} = 1.062$$

$$= 1.00 \cdot 1.062 \cdot 0.776 = 0.824$$

Para el cálculo de los factores de distribución de las cortantes nos regiremos de las formulas de la tabla 4.6.2.2.3a-1 Factor de Distribución de Carga viva para Corte en vigas Interiores y la tabla 4.6.2.2.3b-1 Factor de Distribución de Carga viva para Corte en vigas Exteriores del Manual de Puentes del MTC (2016) (P. 142).

Ilustración n.º 29.- Distribución de sobrecargas por carril para corte en vigas interiores y exteriores.

Tipo de Vigas	Posición de la viga	Factor de Distribución	Rango de aplicabilidad
Tablero de concreto sobre vigas concreto separadas o maestras	Interior	Un carril de diseño cargado:  Dos o más carriles de diseño cargados: 	$6.0 \leq S \leq 18.0$ $20 \leq L \leq 140$ $18 \leq d \leq 65$
	Exterior	Un carril de diseño cargado: Ley de Momentos Dos o más carriles de diseño cargados:  $= 0.80 + 10$	$0 \leq d_e \leq 4.5$

de Transportes y Comunicaciones, (2016)

Fuente: Motoso [®]

Donde:

S: Separación entre vigas o almas (ft), (S=9.51 ft)

L: Longitud de tramo de la viga (ft). (L=62.83 ft)

d: Profundidad de la viga o larguero (in). (d = 45.28 in)

Nb: Numero de vigas o largueros. (Nb = 4)

de: distancia horizontal entre el alma exterior de una viga exterior y el borde interior de un cordón o barrera para el tráfico (de=2.625 ft)

Aplicando las formulas obtenemos:

Para la Viga Interior:

Un carril cargado

$$= \frac{10}{12} = 0.732$$

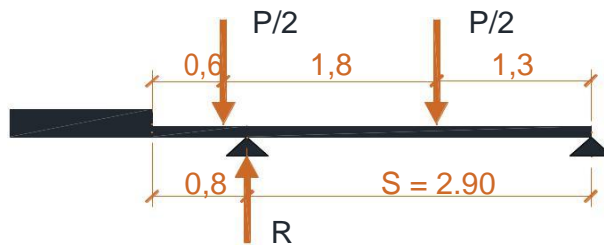
Dos o más carriles cargados

$$= \frac{7.4}{12} = 0.949$$

Para la Viga Exterior:

Un carril cargado

Ilustración n.º 30.- Calculo de la relación R/P en viga exterior.

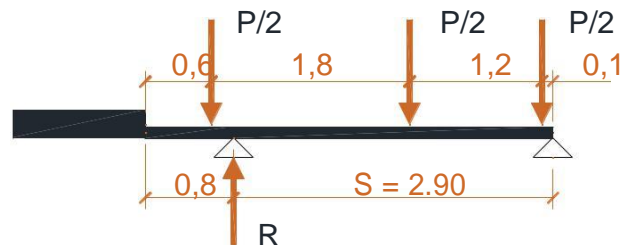


Fuente: Elaboracion propia

Resolviendo tenemos $R/P = 0.7583$
 $= 1.20 \cdot 0.7583 = 0.910$

Dos o más carriles cargados

Ilustración n.º 31.- Calculo de la relación R/P en viga exterior, 2 carriles cargados.



Fuente: Elaboracion propia

Resolviendo tenemos $R/P = 0.776$

$$= \frac{0.80 + 10}{1.00} \cdot 1.0625 \cdot 0.776 = 0.824$$

En resumen, tenemos los siguientes factores de distribución:

Ilustración n.º 32.- Resumen de factores de distribución para momentos y cortante. (las marcadas son las consideradas en los cálculos)

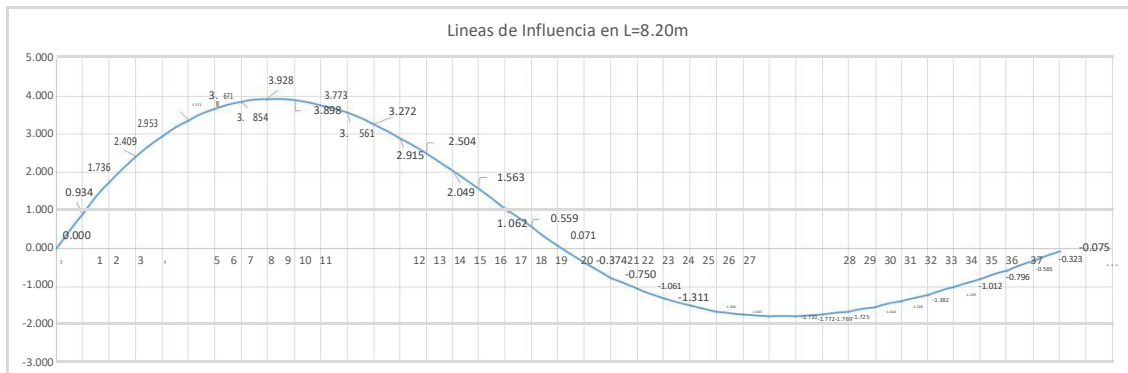
FACTOR DE DISTRIBUCIÓN	MOMENTOS		CORTANTE	
	Un Carril Cargado	Dos o mas Carriles	Un Carril Cargado	Dos o mas Carriles
Viga Interior	0.462	0.711	0.732	0.949
Viga Exterior	0.91	0.824	0.91	0.824

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2. Cálculo de momentos máximos originados con el Camión de Diseño HL 93

Para el cálculo del máximo momento positivo para el puente debido al camión de diseño HL 93, usaremos las líneas de influencia, en el expediente técnico se pudo verificar que el máximo momento positivo se encuentra a 8.20m de los bordes, por lo que se calculó las líneas de influencia con base a esa distancia, es la que se muestra en la ilustración siguiente:

Ilustración n.º 33.- líneas de influencia en viga continua de 2 tramos iguales en 8.20m

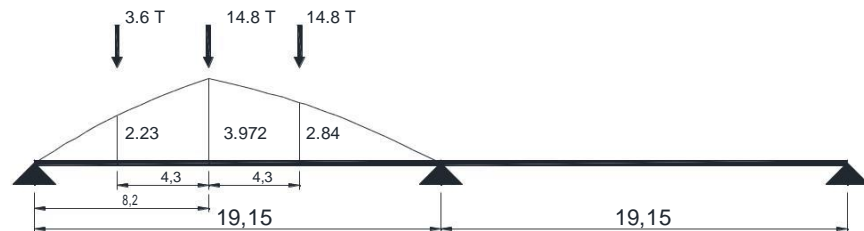


Fuente: elaboración propia.

Camión de diseño

Calcularemos el momento máximo originado por el camión de diseño HL 93, esto con ayuda de las líneas de influencia de la ilustración n° 33, tal como se puede apreciar a continuación:

Ilustración n.º 34.- líneas de influencia para el camión de diseño

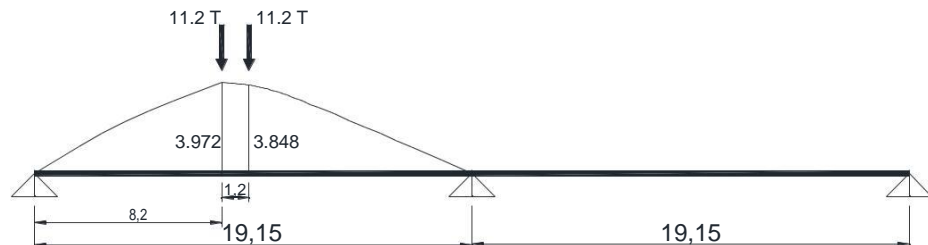


Fuente: elaboración propia.

$$ML = 3.6 \times 2.23 + 14.8 \times 3.972 + 2.84 \times 14.8 = 108.85 \text{ Tn-m}$$

Tándem de diseño

Ilustración n.º 35.- líneas de influencia para el tándem de diseño.

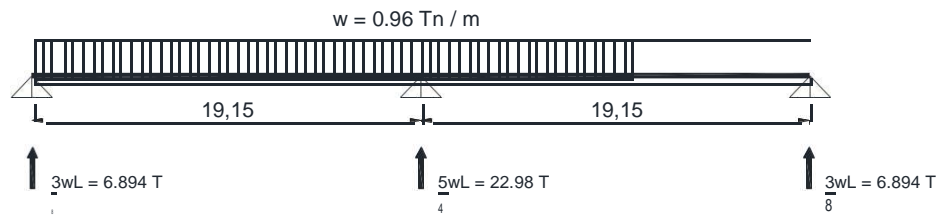


Fuente: elaboración propia.

$$ML = 11.2 \times 3.972 + 11.2 \times 3.848 = 87.58 \text{ Tn-m}$$

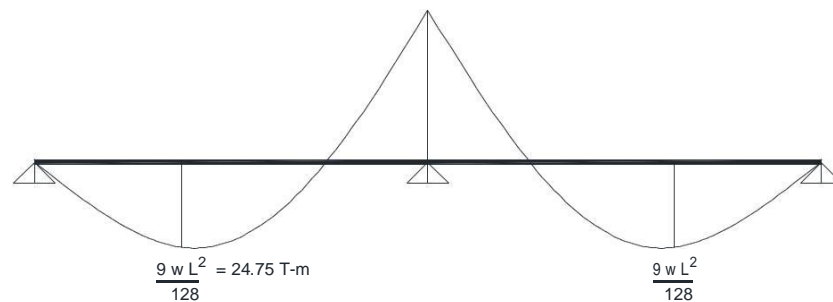
Carga de carril

Ilustración n.º 36.- reacciones de la carga distribuida .



Fuente: elaboración propia.

Ilustración n.º 37.- Momentos flectores debido a la carga distribuida.



Fuente: elaboración propia.

El momento resultante es 24.75 Tn-m

$$(\quad) = 108.85 \cdot 1.33 + 24.75 = \quad . \quad -$$

Una vez calculada el momento máximo, esto lo llevamos al estado de Servicio III cuyo factor para la carga viva es de 80%

$$169.52 \times 0.80 = 135.616 \text{ Tn-m}$$

Aplicando los factores de distribución tenemos:

Para la Viga exterior

$$135.616 \times 0.91 = 123.41 \text{ Tn-m}$$

Para la Viga interior

$$135.616 \times 0.949 = 128.70 \text{ Tn-m}$$

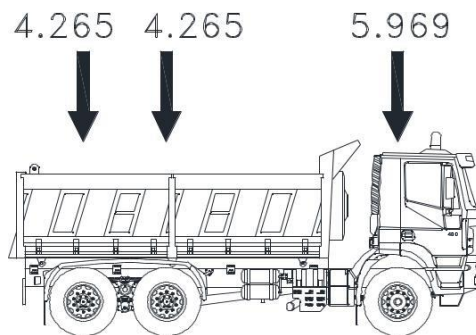
3.2.3.3. Cálculo de momentos máximos originados con el Camión de Prueba

Una vez obtenidas los momentos máximos debido al camión de diseño HL 93, se procede a calcular el peso y la ubicación del camión de carga de tal forma se produzcan los máximos momentos del camión HL 93. El análisis se realiza para la viga interior del tramo I, siendo el cálculo similar para los demás tramos y posiciones de las vigas.

3.2.3.3.1 Peso del camión de prueba.

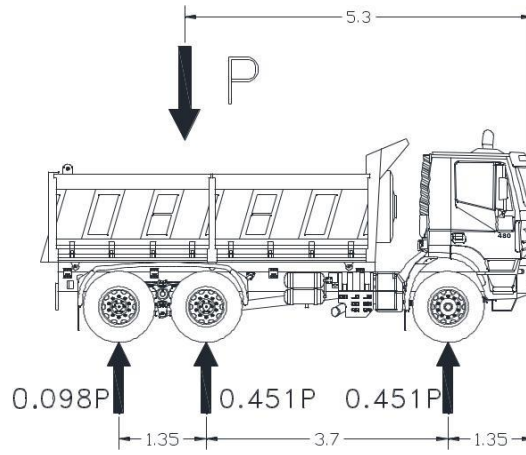
Se sabe que el peso del camión vacío es el siguiente:

Ilustración n.º 38.- Esquema del camión de prueba vacío.



Fuente: elaboración propia.

Ilustración n.º 39.- Esquema de las reacciones debido al peso de la carga del camión de prueba.



Fuente: elaboración propia.

Se tiene que:

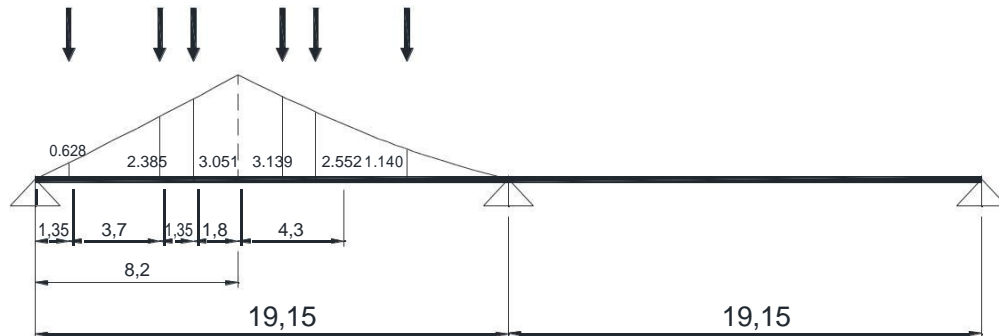
$$\text{Reacción eje delantero} = 5.969 + 0.098P$$

$$\text{Reacción primer eje trasero} = 4.265 + 0.451P$$

$$\text{Reacción segundo eje trasero} = 4.265 + 0.451P$$

Aplicando esto a las líneas de influencia tenemos

Ilustración n.º 40.- líneas de influencia para el tren de cargas.



Fuente: elaboración propia.

$$\begin{aligned}
 &0.628 (5.969+0.098P) + 2.385 (4.265 + 0.451P) + 3.051 (4.265 + 0.451P) + \\
 &+3.139 (4.265 + 0.451P) + 2.552 (4.265 + 0.451P) + 1.140 (5.969 + 0.098P).= \\
 &128.70Tn\cdot m
 \end{aligned}$$

Resolviendo tenemos $P = 13.62 \text{ Tn}$

Reemplazando los datos tenemos:

Reacción eje delantero = 7.30 Tn

Reacción primer eje trasero = 10.41 Tn

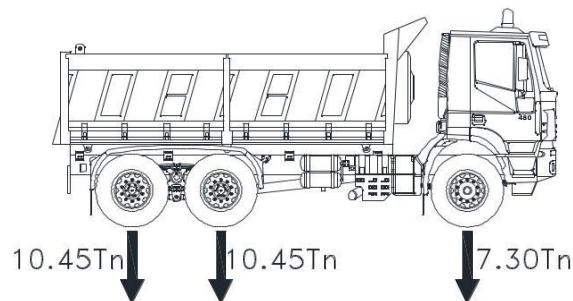
Reacción segundo eje trasero = 10.41 Tn

Tabla n.º 4.- Pesos por eje del camión de prueba.

Reaccion Eje	Peso calculado Tn	Peso asumido Tn
Reacción eje delantero	7.3	7.3
Reacción primer eje trasero	10.41	10.45
Reacción segundo eje trasero	10.41	10.45
TOTAL	28.12	28.2

Fuente: elaboración propia.

Ilustración n.º 41.- Pesos en los ejes del camión de prueba.



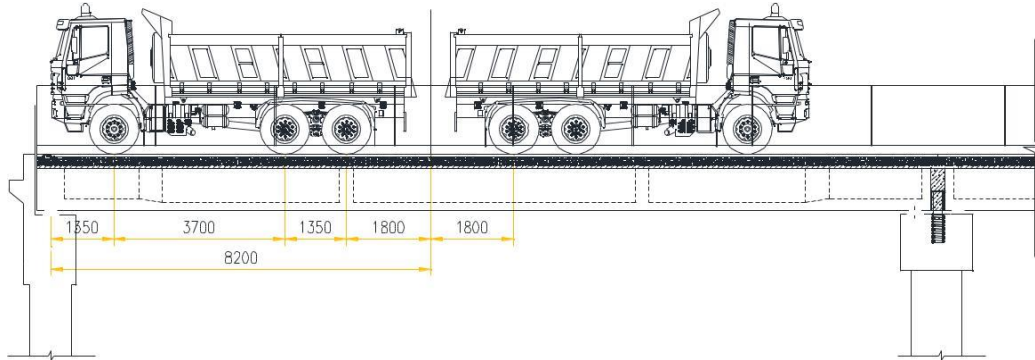
Fuente: elaboración propia.

Se considera un peso total del camión de $28.2Tn$, se indica en el anexo n° 01 los pesos y medidas del camión de carga.

3.2.3.3.2 Ubicación del camión de prueba.

La ubicación de los camiones de carga es la que sigue:

Ilustración n.º 42.- Distribución longitudinal del tren de prueba.

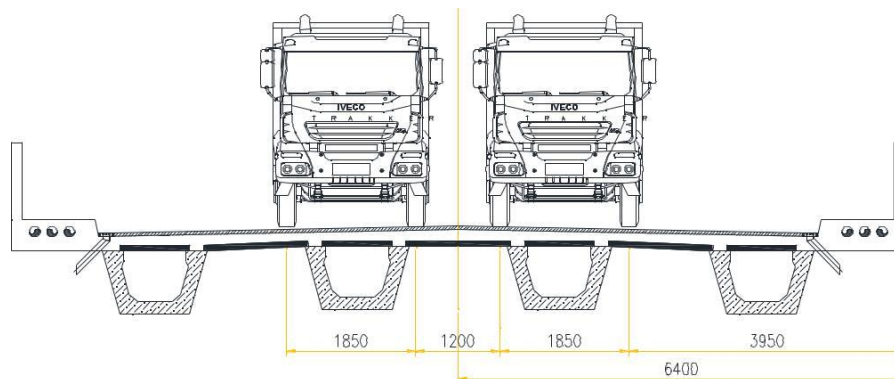


Fuente: elaboración propia.

Para la Viga interior

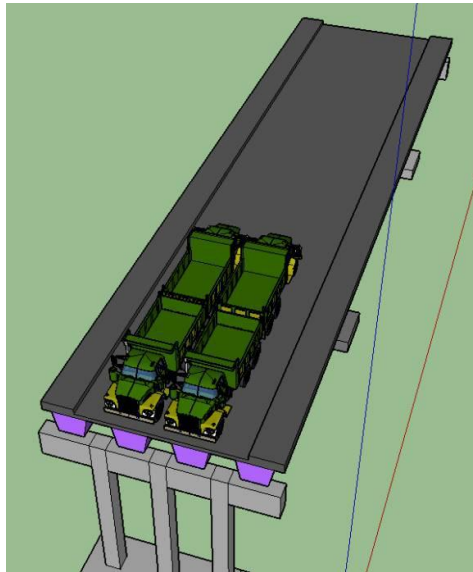
Se coloca el tren de carga de forma que las vigas interiores asuman la mayor carga posible, tal como indicamos a continuación:

Ilustración n.º 43.- Ubicación del tren de carga para la viga interior.



Fuente: elaboración propia.

Ilustración n.º 44.- Vista en 3D de la posición del tren de cargas para el Tramo I Viga interior.

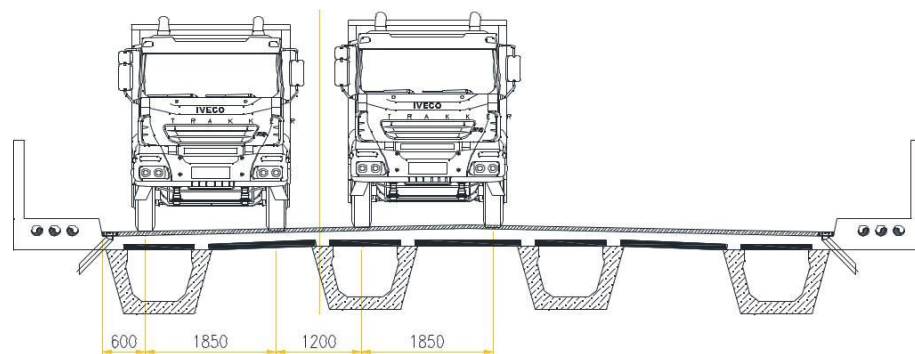


Fuente: Elaboracion propia

Para la Viga exterior

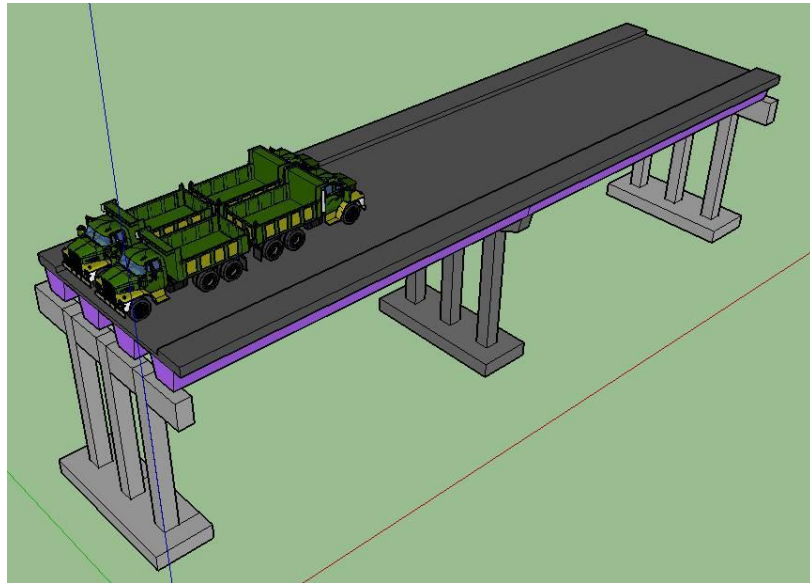
Se coloca el tren de carga de forma que la viga exterior asuma la mayor carga posible, tal como indicamos a continuación:

Ilustración n.º 45.- Ubicación del tren de carga para la viga exterior.



Fuente: Elaboracion propia

Ilustración n.º 46.- Vista en 3D de la posición del tren de cargas para el Tramo I Viga exterior.



Fuente: Elaboración propia

3.2.3.3.3 Cálculo de deflexiones originadas con el camión de prueba de carga.

Para el cálculo de las deflexiones teóricas, se modeló la estructura del puente en el software CSIBridge v20.1.0.

Para calcular la deflexión se tendrá en cuenta las siguientes cargas:

Carga muerta

Peso propio de las vigas.

Peso propio de la losa.

Peso propio de las veredas.

Peso propio de las barandas.

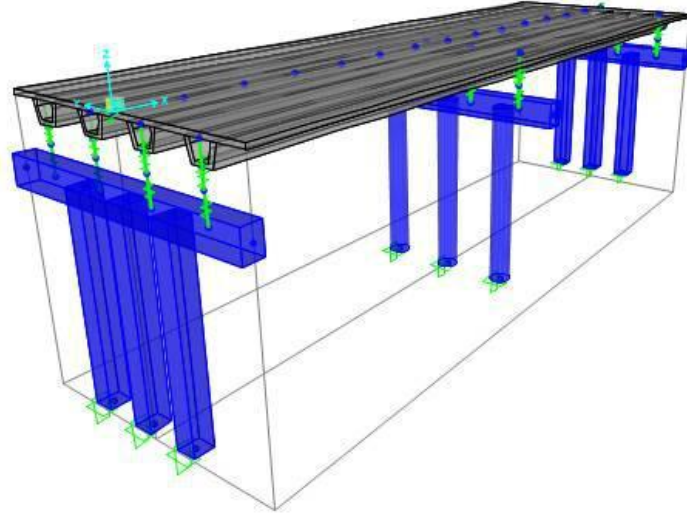
Carga viva

Peso debido al tren de cargas (estática).

Se considera las condiciones de servicio III

Servicio III : $U = 1.0 DC + 0.8 PL + 1.2 TU$ (ver capítulo 2.2.3)

Ilustración n.º 47.- modelado del puente en CSIBridge v20.1.0



Fuente: Elaboracion propia

En resumen, tenemos las siguientes deflexiones:

Tabla n.º 5.- Resumen deflexiones teóricas.

TRAMO	VIGA	Deflexion (mm)
Tramo I	INTERIOR	5.900
Tramo I	EXTERIOR	8.700
Tramo II	INTERIOR	5.900
Tramo II	EXTERIOR	8.700

Fuente: Elaboracion propia

3.3. Desarrollo del Objetivo Especifico 3

En el presente capítulo se presenta el procedimiento para calcular las deflexiones máximas y remanentes a partir de los datos obtenidos de la prueba de carga estática del puente sobre el Intercambio Vial Huaura para poder ser comparados con las deflexiones máximas obtenidas teóricamente, este procedimiento es el siguiente:

3.3.1. Cálculo de las Cotas

El cálculo de las cotas será mediante la siguiente ecuación:

$$= \text{Ecuación n.º 8.} + \text{Cálculo de la cota.} -$$

Aplicando la fórmula anterior realizaremos el cálculo de la cota inicial tomadas del lado izquierdo para la prueba en el tramo I – Viga Interior.

Ilustración n.º 48.- Cálculo de cota inicial del lado izquierdo en el Tramo I – Viga Interior.

VIGA	LADO IZQUIERDO REPLANTEO INICIAL				
	Pto	Vista	Altura	Vista	Cota
		Atrás	Instrum.	Adelante	(m)
Lado Izquierdo	BM	2.11685			100.00000
	1			1.20100	100.91585
	2			1.18693	100.92992
	3			1.18838	100.92847
	4			1.18443	100.93242
	5			1.18443	100.93242
	6			1.18770	100.92915

Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento será el mismo para calcular la cota inicial, cota de carga y cota de descarga.

3.3.2. Cálculo de las Deflexiones máximas

Para el cálculo de las deflexiones máximas, esta será el resultado de la diferencia entre la cota calculada en la etapa de carga con la cota inicial.

$$\Delta = \text{Cota etapa de carga} - \text{Cota inicial}$$

Aplicando la formula anterior realizaremos el cálculo de la deflexión máxima tomadas del lado izquierdo para la prueba en el tramo I – Viga Interior.

Ilustración n.º 49.- Cálculo de deflexiones máximas del lado izquierdo para el Tramo I – Viga Interior.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES			
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de carga (m)	Deflexion (mm)
Lado izquierdo	BM	100.00000	100.00000	0.000
	1	100.91585	100.91637	0.520
	2	100.92992	100.92836	-1.560
	3	100.92847	100.92614	-2.330
	4	100.93242	100.93037	-2.050
	5	100.93242	100.93102	-1.400
	6	100.92915	100.92907	-0.080

Fuente: Elaboracion propia

Este procedimiento será el mismo para calcular las deflexiones máximas para todos los puntos de control.

3.3.3. Cálculo de las Deflexiones remanentes

La deflexión remanente (Δ_r), es el resultado de la diferencia entre la calculada en la etapa de descarga entre la cota carga con la cota inicial, tal como se indica en el cuadro siguiente:

$$\Delta_r = \text{Cota etapa de carga} - \text{Cota inicial}$$

Aplicando la formula anterior realizaremos el cálculo de la deflexión remanente tomadas del lado izquierdo para la prueba en el tramo I – Viga Interior.

Ilustración n.º 50.- Cálculo de deflexiones remanentes del lado izquierdo para el Tramo I – Viga Interior.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES REMANENTES			
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de descarga (m)	Deflexion Remanente (mm)
Lado Izquierdo	BM	100.00000	100.00000	0.000
	1	100.91585	100.91593	0.080
	2	100.92992	100.92970	-0.220
	3	100.92847	100.92832	-0.150
	4	100.93242	100.93272	0.300
	5	100.93242	100.93189	-0.530
	6	100.92915	100.92898	-0.170

Fuente: Elaboracion propia

3.3.4. Aceptación de las Deflexiones Máximas

El criterio de aceptación de la deflexión máxima viene a ser que la deflexión máxima calculada mediante la prueba de carga no podrá ser mayor a la deflexión calculada de forma teórica.

$$a \leq b$$

En el cuadro siguiente se indican las comparaciones realizadas a la deflexión máxima obtenida con la prueba de carga del Tramo I, Viga Interior:

Tabla n.º 6.- Comparación de las deflexiones máximas con la teórica para el tramo I – Viga Interior.

Viga	Deflexion Maxima (mm)	Deflexion Teorica (mm)	Comparacion
Lado Izquierdo	2.330	5.900	Conforme
Eje Central	2.820	5.900	Conforme
Lado Derecho	2.900	5.900	Conforme

Fuente: Elaboracion propia

3.3.5. Aceptación de las Deflexiones Remanentes

El criterio de aceptación de la deflexión remanente viene dado por la remanencia admisible, esta será calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = 100 \frac{f_r}{f_m}$$

Ecuación 9.

Donde: f_r : Deflexión remanente

f_m : Deflexión máxima

Siendo "α" la remanencia admisible expresado en porcentaje, este valor no deberá superar el 15%, tal como se indica en la tabla n° 02 Porcentaje de remanencia de acuerdo al material del puente. En el cuadro siguiente se puede verificar dichos cálculos.

Ilustración n.º 51.- Cálculo de deflexiones admisibles en el Tramo I – Viga Interior.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES			
	Deflexion máxima f (mm)	Deflexion Remanente fr (mm)	Remanencia admisible %	Comparacion
Lado Izquierdo	-2.330	-0.150	6.44%	Conforme
Eje Central	-2.820	-0.060	2.13%	Conforme
Lado Derecho	-2.900	-0.330	11.38%	Conforme

Fuente: Elaboracion propia

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Resultados del Objetivo Especifico 1

A continuación, se presentará las mediciones tomadas durante las acciones de carga y descarga del puente, es de recordar que se realizaron 4 pruebas, estas son:

Tramo I, Viga interior.

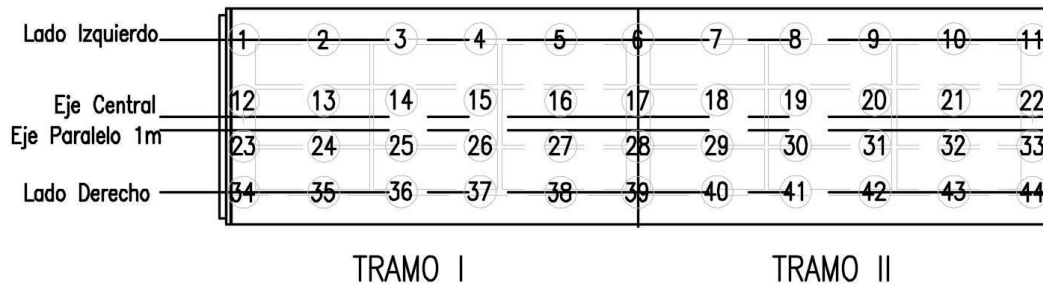
Tramo I, Viga Exterior.

Tramo II, Viga interior.

Tramo II, Viga Exterior.

Las tomas de datos se realizaron teniendo en cuenta la numeración descrita en la figura siguiente:

Ilustración n.º 52.- Ubicación de los puntos a tomar medidas.



Fuente: Elaboración propia

El BM se ubicó fuera del puente,

Ilustración n.º 53.- Control de nivelación del Tramo I – Viga Interna.

FICHA DE CONTROL DE NIVELACIÓN

TRAMO I - VIGA INTERIOR

Obra: **PROYECTO DE PRUEBA DE CARGA PARA EL PUENTE INTERCAMBIO VIAL HUAURA**
 Ubicacion: **KM. 154+300 DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, DISTRITO DE HUAURA - PROVINCIA DE HUAURA - DEPARTAMENTO DE LIMA**
 Fecha: **29/09/2016** Temp: Hora: **07:45 a.m.**

VIGA	LADO IZQUIERDO REPLANTEO INICIAL					LADO IZQUIERDO - CARGA					LADO IZQUIERDO - DESCARGA				
	Pto	Vista		Cota	Pto	Vista		Cota	Pto	Vista		Cota			
		Atrás	Altura Instrum.			Adelante	Atrás			Altura Instrum.	Adelante		Atrás	Altura Instrum.	Adelante
Lado Izquierdo	BM	2.11685		100.00000	BM	2.03246		100.00000	BM	2.12511		100.00000			
	1			1.20100	1			1.11609	1			1.20918	100.91593		
	2			1.18693	2			1.10410	2			1.19541	100.92970		
	3			1.18838	3			1.10632	3			1.19679	100.92832		
	4			1.18443	4			1.10209	4			1.19239	100.93272		
	5			1.18443	5			1.10144	5			1.19322	100.93189		
	6			1.18770	6			1.10339	6			1.19613	100.92898		
Eje Central	BM	2.11685		100.00000	BM	2.18166		100.00000	BM	2.12511		100.00000			
	12			1.09290	12			1.15760	12			1.10110	101.02401		
	13			1.09856	13			1.16524	13			1.10688	101.01823		
	14			1.09048	14			1.15811	14			1.09870	101.02641		
	15			1.08782	15			1.15545	15			1.09614	101.02897		
	16			1.08961	16			1.15595	16			1.09803	101.02708		
	17			1.09601	17			1.16102	17			1.10450	101.02061		
Lado Derecho	BM	2.11685		100.00000	BM	2.11675		100.00000	BM	2.12511		100.00000			
	34			1.17417	34			1.17430	34			1.18271	100.94240		
	35			1.16270	35			1.16440	35			1.17108	100.95403		
	36			1.16570	36			1.16850	36			1.17429	100.95082		
	37			1.16148	37			1.16392	37			1.17010	100.95501		
	38			1.16921	38			1.17031	38			1.17785	100.94726		
	39			1.17450	39			1.17439	39			1.18251	100.94260		

Fuente: Elaboracion propia

Ilustración n.º 54.- Control de nivelación del Tramo I – Viga Externa.

FICHA DE CONTROL DE NIVELACIÓN

TRAMO I - VIGA EXTERNA

Obra: **PROYECTO DE PRUEBA DE CARGA PARA EL PUENTE INTERCAMBIO VIAL HUAURA**
 Ubicacion: **KM. 154+300 DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, DISTRITO DE HUAURA - PROVINCIA DE HUAURA - DEPARTAMENTO DE LIMA**
 Fecha: **29/09/2016** Temp: Hora: **09:35 a.m.**

VIGA	LADO IZQUIERDO REPLANTEO INICIAL					LADO IZQUIERDO - CARGA					LADO IZQUIERDO - DESCARGA				
	Pto	Vista	Altura	Vista	Cota	Pto	Vista	Altura	Vista	Cota	Pto	Vista	Altura	Vista	Cota
		Atrás	Instrum.	Adelante			Atrás	Instrum.	Adelante			Atrás	Instrum.	Adelante	
Lado Izquierdo	BM	2.11685			100.00000	BM	1.93470			100.00000	BM	2.14695			100.00000
	1			1.20100	100.91585	1			1.01834	100.91636	1			1.23111	100.91584
	2			1.18693	100.92992	2			1.00701	100.92769	2			1.21720	100.92975
	3			1.18838	100.92847	3			1.00990	100.92480	3			1.21880	100.92815
	4			1.18443	100.93242	4			1.00561	100.92909	4			1.21446	100.93249
	5			1.18443	100.93242	5			1.00427	100.93043	5			1.21539	100.93156
1 m	6			1.18770	100.92915	6			1.00571	100.92899	6			1.21855	100.92840
	BM	2.11685			100.00000	BM	2.12514			100.00000	BM	2.14695			100.00000
	23			1.10718	101.00967	23			1.11548	101.00966	23			1.13710	101.00985
	24			1.10142	101.01543	24			1.11165	101.01349	24			1.13175	101.01520
	25			1.10229	101.01456	25			1.11316	101.01198	25			1.13227	101.01468
Eje															
	27			1.10073	101.01612	27			1.11052	101.01462	27			1.13101	101.01594
	28			1.10448	101.01237	28			1.11276	101.01238	28			1.13464	101.01231
Lado Derecho	BM	2.11685			100.00000	BM	2.12514			100.00000	BM	2.14695			100.00000
	34			1.17417	100.94268	34			1.18239	100.94275	34			1.20449	100.94246
	35			1.16270	100.95415	35			1.17201	100.95313	35			1.19312	100.95383
	36			1.16570	100.95115	36			1.17620	100.94894	36			1.19609	100.95086
	37			1.16148	100.95537	37			1.17130	100.95384	37			1.19190	100.95505
	38			1.16921	100.94764	38			1.17841	100.94673	38			1.19981	100.94714
39			1.17450	100.94235	39			1.18273	100.94241	39			1.20499	100.94196	

Fuente: Elaboracion propia

Ilustración n.º 55.- Control de nivelación del Tramo II – Viga Interna.

FICHA DE CONTROL DE NIVELACIÓN

TRAMO II - VIGA INTERNA

Obra: **PROYECTO DE PRUEBA DE CARGA PARA EL PUENTE INTERCAMBIO VIAL HUAURA**
 Ubicacion: **KM. 154+300 DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, DISTRITO DE HUAURA - PROVINCIA DE HUAURA - DEPARTAMENTO DE LIMA**
 Fecha: **29/09/2016** Temp: Hora: **11:40 a.m.**

VIGA	LADO IZQUIERDO REPLANTEO INICIAL					LADO IZQUIERDO - CARGA					LADO IZQUIERDO - DESCARGA				
	Pto	Vista Atrás	Altura Instrum.	Vista Adelante	Cota	Pto	Vista Atrás	Altura Instrum.	Vista Adelante	Cota	Pto	Vista Atrás	Altura Instrum.	Vista Adelante	Cota
Lado Izquierdo	BM	2.11685			100.00000	BM	2.19288			100.00000	BM	2.18039			100.00000
	6			1.18770	100.92915	6			1.26450	100.92838	6			1.25170	100.92869
	7			1.17070	100.94615	7			1.24821	100.94467	7			1.23472	100.94567
	8			1.16329	100.95356	8			1.24159	100.95129	8			1.22710	100.95329
	9			1.15969	100.95716	9			1.23854	100.95434	9			1.22365	100.95674
	10			1.14623	100.97062	10			1.22470	100.96818	10			1.21010	100.97029
	11			1.17890	100.93795	11			1.25554	100.93734	11			1.24260	100.93779
Lado Centrale	BM	2.11685			100.00000	BM	2.19288			100.00000	BM	2.18039			100.00000
	17			1.09601	101.02084	17			1.17251	101.02037	17			1.15980	101.02059
	18			1.09040	101.02645	18			1.16866	101.02422	18			1.15430	101.02609
	19			1.08566	101.03119	19			1.16570	101.02718	19			1.14946	101.03093
	20			1.08499	101.03186	20			1.16471	101.02817	20			1.14834	101.03205
	21			1.07665	101.04020	21			1.15525	101.03763	21			1.14005	101.04034
Lado Derecho	BM	2.11685			100.00000	BM	2.14705			100.00000	BM	2.18039			100.00000
	39			1.17450	100.94235	39			1.20525	100.94180	39			1.23822	100.94217
	40			1.16579	100.95106	40			1.19762	100.94943	40			1.22975	100.95064
	41			1.16573	100.95112	41			1.19885	100.94820	41			1.22974	100.95065
	42			1.16354	100.95331	42			1.19721	100.94984	42			1.22759	100.95280
	43			1.16705	100.94980	43			1.19959	100.94746	43			1.23112	100.94927
	44			1.18282	100.93403	44			1.21395	100.93310	44			1.24655	100.93384

Fuente: Elaboracion propia

Ilustración n.º 56.- Control de nivelación del Tramo II – Viga Externa.

FICHA DE CONTROL DE NIVELACIÓN

TRAMO II - VIGA EXTERNA

Obra: **PROYECTO DE PRUEBA DE CARGA PARA EL PUENTE INTERCAMBIO VIAL HUAURA**
 Ubicacion: **KM. 154+300 DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, DISTRITO DE HUAURA - PROVINCIA DE HUAURA - DEPARTAMENTO DE LIMA**
 Fecha: **29/09/2016** Temp: Hora: **13:38:00 a.m.**

VIGA	LADO IZQUIERDO REPLANTEO INICIAL					LADO IZQUIERDO - CARGA					LADO IZQUIERDO - DESCARGA				
	Pto	Vista Atrás	Altura Instrum.	Vista Adelante	Cota	Pto	Vista Atrás	Altura Instrum.	Vista Adelante	Cota	Pto	Vista Atrás	Altura Instrum.	Vista Adelante	Cota
Lado Izquierdo	BM	2.11685			100.00000	BM	2.06670			100.00000	BM	2.12403			100.00000
	6			1.18770	100.92915	6			1.13828	100.92842	6			1.19572	100.92831
	7			1.17070	100.94615	7			1.12318	100.94352	7			1.17861	100.94542
	8			1.16329	100.95356	8			1.11755	100.94915	8			1.17092	100.95311
	9			1.15969	100.95716	9			1.11450	100.95220	9			1.16756	100.95647
	10			1.14623	100.97062	10			1.09941	100.96729	10			1.15429	100.96974
Lado Derecho	BM	2.11685			100.00000	BM	2.09600			100.00000	BM	2.12403			100.00000
	28			1.10448	101.01237	28			1.08395	101.01205	28			1.11182	101.01221
	29			1.09928	101.01757	29			1.08040	101.01560	29			1.10710	101.01693
	30			1.09852	101.01833	30			1.08046	101.01554	30			1.10600	101.01803
	32			1.09282	101.02403	32			1.07400	101.02200	32			1.10098	101.02305
	33			1.11428	101.00257	33			1.09419	101.00181	33			1.12181	101.00222
Lado Derecho	BM	2.11685			100.00000	BM	2.09600			100.00000	BM	2.12503			100.00000
	39			1.17450	100.94235	39			1.15463	100.94137	39			1.18245	100.94258
	40			1.16579	100.95106	40			1.14646	100.94954	40			1.17388	100.95115
	41			1.16563	100.95122	41			1.14769	100.94831	41			1.17420	100.95083
	42			1.16354	100.95331	42			1.14510	100.95090	42			1.17195	100.95308
	43			1.16705	100.94980	43			1.14810	100.94790	43			1.17561	100.94942
44			1.18282	100.93403	44			1.16276	100.93324	44			1.19180	100.93323	

Fuente: Elaboracion propia

4.2. Resultados del Objetivo Especifico 2

Luego de elaborar la memoria de cálculo para el Proyecto de la prueba de carga del puente sobre el Intercambio Vial Huaura, se tienen los siguientes resultados:

Peso del camión de carga

Se presenta en el anexo n.º 01 las dimensiones y pesos del camión de carga.

Ubicación del tren de cargas

Se presentan las ubicaciones del tren de cargas para cada una de las pruebas de carga, estos planos se presentan en vista longitudinal, sección y planta:

Tramo I – Viga exterior, se presentan en los anexos n.^{os} 2 y 6.

Tramo I – Viga interior, se presentan en los anexos n.^{os} 3 y 6.

Tramo II – Viga exterior, se presentan en los anexos n.^{os} 4 y 7.

Tramo II – Viga interior, se presentan en los anexos n.^{os} 5 y 8.

4.3. Resultados del Objetivo Especifico 3

Teniendo en cuenta el procedimiento indicado en el Capítulo 3.3, se obtienen los siguientes resultados:

4.3.1. Deflexiones máximas:

A continuación, se presentan los cálculos de las deflexiones máximas obtenidas mediante la aplicación de la prueba de carga estática:

Esta deflexión en ningún caso deberá de ser mayor a las deflexiones calculadas teóricamente (Tabla n.º 05).

Ilustración n.º 57.- Cálculo de deflexiones máximas en el Tramo I – Viga Interior.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES					
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de carga (m)	Deflexion (mm)	Deflexion Teorica (mm)	Condicion
Izquierda	BM	100.00000	100.00000	0.000	-5.900	Conforme
	1	100.91585	100.91637	0.520		
	2	100.92992	100.92836	-1.560		
	3	100.92847	100.92614	-2.330		
	4	100.93242	100.93037	-2.050		
	5	100.93242	100.93102	-1.400		
	6	100.92915	100.92907	-0.080		
Centro	BM	100.00000	100.00000	0.000	-5.900	Conforme
	12	101.02395	101.02406	0.110		
	14	101.02637	101.02355	-2.820		
	13	101.01829	101.01642	-1.870		
	15	101.02903	101.02621	-2.820		
	16	101.02724	101.02571	-1.530		
	17	101.02084	101.02064	-0.200		
Derecha	BM	100.00000	100.00000	0.000	-5.900	Conforme
	36	100.95115	100.94825	-2.900		
	34	100.94268	100.94245	-0.230		
	35	100.95415	100.95235	-1.800		
	37	100.95537	100.95283	-2.540		
	38	100.94764	100.94644	-1.200		
	39	100.94235	100.94236	0.010		

Fuente: Elaboración propia

Ilustración n.º 58.- Cálculo de deflexiones máximas en el Tramo I – Viga Externa.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES					
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de carga (m)	Deflexion (mm)	Deflexion Teorica (mm)	Condicion
Lado izquierdo	BM	100.00000	100.00000	0.000	-8.700	Conforme
	1	100.91585	100.91636	0.510		
	2	100.92992	100.92769	-2.230		
	3	100.92847	100.92480	-3.670		
	4	100.93242	100.92909	-3.330		
	5	100.93242	100.93043	-1.990		
	6	100.92915	100.92899	-0.160		
Paralelo	BM	100.00000	100.00000	0.000	-8.700	Conforme
	12	101.00967	101.00966	-0.010		
	13	101.01543	101.01349	-1.940		
	14	101.01456	101.01198	-2.580		
	15	101.01915	101.01635	-2.800		
	16	101.01612	101.01462	-1.500		
	17	101.01237	101.01238	0.010		
Lado Derecho	BM	100.00000	100.00000	0.000	-8.700	Conforme
	34	100.94268	100.94275	0.070		
	35	100.95415	100.95313	-1.020		
	36	100.95115	100.94894	-2.210		
	37	100.95537	100.95384	-1.530		
	38	100.94764	100.94673	-0.910		
	39	100.94235	100.94241	0.060		

Fuente: Elaboración propia

Ilustración n.º 59.- Cálculo de deflexiones máximas en el Tramo II – Viga Interna.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES					
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de carga (m)	Deflexion (mm)	Deflexion Teorica (mm)	Condicion
Lado Izquierdo	BM	100.00000	100.00000	0.000	-5.900	Conforme
	1	100.92915	100.92838	-0.770		
	2	100.94615	100.94467	-1.480		
	3	100.95356	100.95129	-2.270		
	4	100.95716	100.95434	-2.820		
	5	100.97062	100.96818	-2.440		
	6	100.93795	100.93734	-0.610		
Eje Central	BM	100.00000	100.00000	0.000	-5.900	Conforme
	12	101.02084	101.02037	-0.470		
	13	101.02645	101.02422	-2.230		
	14	101.03119	101.02718	-4.010		
	15	101.03186	101.02817	-3.690		
	16	101.04020	101.03763	-2.570		
	17	101.01741	101.01627	-1.140		
Lado Derecho	BM	100.00000	100.00000	0.000	-5.900	Conforme
	34	100.94235	100.94180	-0.550		
	35	100.95106	100.94943	-1.630		
	36	100.95112	100.94820	-2.920		
	37	100.95331	100.94984	-3.470		
	38	100.94980	100.94746	-2.340		
	39	100.93403	100.93310	-0.930		

Fuente: Elaboración propia

Ilustración n.º 60.- Cálculo de deflexiones máximas en el Tramo II – Viga Externa.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES					
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de carga (m)	Deflexion (mm)	Deflexion Teorica (mm)	Condicion
Lado Izquierdo	BM	100.00000	100.00000	0.000	-8.700	Conforme
	1	100.92915	100.92842	-0.730		
	2	100.94615	100.94352	-2.630		
	3	100.95356	100.94915	-4.410		
	4	100.95716	100.95220	-4.960		
	5	100.97062	100.96729	-3.330		
	6	100.93795	100.93700	-0.950		
Paralelo	BM	100.00000	100.00000	0.000	-8.700	Conforme
	12	101.01237	101.01205	-0.320		
	13	101.01757	101.01560	-1.970		
	14	101.01833	101.01554	-2.790		
	15	101.01992	101.01694	-2.980		
	16	101.02403	101.02200	-2.030		
Lado Derecho	BM	100.00000	100.00000	0.000	-8.700	Conforme
	34	100.94235	100.94137	-0.980		
	35	100.95106	100.94954	-1.520		
	36	100.95122	100.94831	-2.910		
	37	100.95331	100.95090	-2.410		
	38	100.94980	100.94790	-1.900		
	39	100.93403	100.93324	-0.790		

Fuente: Elaboración propia

De las deflexiones máximas obtenidas se verificó que estas cumplen con la condición de no superar las deflexiones teóricas, por lo que se advierte que la prueba salió satisfactoria para el caso de las cargas requeridas.

4.3.2. Deflexiones remanentes:

A continuación, se presentan los cálculos de las deflexiones remanentes obtenidas mediante la aplicación de la prueba de carga estática:

Esta verificación nos indica que las cargas aplicadas pasaron el límite elástico de la superestructura del puente, este valor no debe de pasar lo indicado en la tabla n.º 02, en nuestro caso será de 15%.

Ilustración n.º 61.- Cálculo de deflexiones remanentes en el Tramo I – Viga Interior.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES REMANENTES					
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de descarga (m)	Deflexion Remanente fr (mm)	Deflexion f (mm)	Remanencia admisible α (%)
I s c c I z q u i e r d o	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	1	100.91585	100.91593	0.080	0.520	
	2	100.92992	100.92970	-0.220	-1.560	
	3	100.92847	100.92832	-0.150	-2.330	6.44%
	4	100.93242	100.93272	0.300	-2.050	
	5	100.93242	100.93189	-0.530	-1.400	
	6	100.92915	100.92898	-0.170	-0.080	
C e n t r a I	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	12	101.02395	101.02401	0.060	0.110	
	13	101.01829	101.01823	-0.060	-1.870	3.21%
	14	101.02637	101.02641	0.040	-2.820	
	15	101.02903	101.02897	-0.060	-2.820	
	16	101.02724	101.02708	-0.160	-1.530	
	17	101.02084	101.02061	-0.230	-0.200	
I s c c D e r e c h o	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	34	100.94268	100.94240	-0.280	-0.230	
	35	100.95415	100.95403	-0.120	-1.800	
	36	100.95115	100.95082	-0.330	-2.900	11.38%
	37	100.95537	100.95501	-0.360	-2.540	
	38	100.94764	100.94726	-0.380	-1.200	
	39	100.94235	100.94260	0.250	0.010	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración n.º 62.- Cálculo de deflexiones remanentes en el Tramo I –
Viga Externa.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES REMANENTES					
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de descarga (m)	Deflexion Remanente (mm)	Deflexion f (mm)	Remanencia admisible α (%)
L s c Izquier do	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	1	100.91585	100.91584	-0.010	0.510	
	2	100.92992	100.92975	-0.170	-2.230	
	3	100.92847	100.92815	-0.320	-3.670	8.72%
	4	100.93242	100.93249	0.070	-3.330	
	5	100.93242	100.93156	-0.860	-1.990	
	6	100.92915	100.92840	-0.750	-0.160	
Par alelo	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	12	101.00967	101.00985	0.180	-0.010	
	13	101.01543	101.01520	-0.230	-1.940	
	14	101.01456	101.01468	0.120	-2.580	
	15	101.01915	101.01874	-0.410	-2.800	14.64%
	16	101.01612	101.01594	-0.180	-1.500	
	17	101.01237	101.01231	-0.060	0.010	
L s c Derec ho	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	34	100.94268	100.94246	-0.220	0.070	
	35	100.95415	100.95383	-0.320	-1.020	
	36	100.95115	100.95086	-0.290	-2.210	13.12%
	37	100.95537	100.95505	-0.320	-1.530	
	38	100.94764	100.94714	-0.500	-0.910	
	39	100.94235	100.94196	-0.390	0.060	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración n.º 63.- Cálculo de deflexiones remanentes en el Tramo II –
Viga Interna.

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES REMANENTES					
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de descarga (m)	Deflexion Remanente (mm)	Deflexion f (mm)	Remanencia admisible α (%)
I zquierdo	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	1	100.92915	100.92869	-0.460	-0.770	
	2	100.94615	100.94567	-0.480	-1.480	
	3	100.95356	100.95329	-0.270	-2.270	
	4	100.95716	100.95674	-0.420	-2.820	14.89%
	5	100.97062	100.97029	-0.330	-2.440	
	6	100.93795	100.93779	-0.160	-0.610	
Cen tral	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	12	101.02084	101.02059	-0.250	-0.470	
	13	101.02645	101.02609	-0.360	-2.230	
	14	101.03119	101.03093	-0.260	-4.010	6.48%
	15	101.03186	101.03205	0.190	-3.690	
	16	101.04020	101.04034	0.140	-2.570	
	17	101.01741	101.01647	-0.940	-1.140	
I zquierdo	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	34	100.94235	100.94217	-0.180	-0.550	
	35	100.95106	100.95064	-0.420	-1.630	
	36	100.95112	100.95065	-0.470	-2.920	
	37	100.95331	100.95280	-0.510	-3.470	14.70%
	38	100.94980	100.94927	-0.530	-2.340	
	39	100.93403	100.93384	-0.190	-0.930	

Fuente: Elaboración propia

*Ilustración n.º 64.- Cálculo de deflexiones remanentes en el Tramo II –
Viga Exterior.*

VIGA	CÁLCULO DE DEFLEXIONES REMANENTES					
	Pto	Cota Inicial (m)	Cota etapa de descarga (m)	Deflexion Remanente (mm)	Deflexion f (mm)	Remanencia admisible α (%)
Lado Izquierdo	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	1	100.92915	100.92831	-0.840	-0.730	
	2	100.94615	100.94542	-0.730	-2.630	
	3	100.95356	100.95311	-0.450	-4.410	
	4	100.95716	100.95647	-0.690	-4.960	13.91%
	5	100.97062	100.96974	-0.880	-3.330	
	6	100.93795	100.93738	-0.570	-0.950	
Eje Paralelo	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	12	101.01237	101.01221	-0.160	-0.320	
	13	101.01757	101.01693	-0.640	-1.970	
	14	101.01833	101.01803	-0.300	-2.790	
	15	101.01992	101.01952	-0.400	-2.980	13.42%
	16	101.02403	101.02305	-0.980	-2.030	
	17	101.00257	101.00222	-0.350	-0.760	
Lado Derecho	BM	100.00000	100.00000	0.000	0.000	
	34	100.94235	100.94258	0.230	-0.980	
	35	100.95106	100.95115	0.090	-1.520	
	36	100.95122	100.95083	-0.390	-2.910	13.40%
	37	100.95331	100.95308	-0.230	-2.410	
	38	100.94980	100.94942	-0.380	-1.900	
	39	100.93403	100.93323	-0.800	-0.790	

Fuente: Elaboración propia

En resumen, tenemos que los valores de la remanencia admisible obtenidas de las pruebas de carga son conformes puesto que no sobrepasan el porcentaje de remanencia especificado del 15%, tal como lo vemos en el cuadro siguiente:

Ilustración n.º 65.- Resumen de remanencias admisibles

TRAMO	VIGA	Lado Izquierdo	Eje Central	Eje Paralelo 1m	Lado Derecho	Comparación
Tramo I	INTERIOR	6.44%	3.21%		11.38%	Conforme
	EXTERIOR	8.72%		14.64%	13.12%	Conforme
Tramo II	INTERIOR	14.89%	6.48%		14.70%	Conforme
	EXTERIOR	13.91%		13.42%	13.40%	Conforme

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

5.1. Discusión del Objetivo Especifico 1

Con respecto al objetivo específico 1, es necesario el tener en cuenta los siguientes puntos:

La prueba de carga estática esta formulada de modo que se pueda confirmar que el proyecto y construcción de la obra se han llevado a cabo de forma satisfactoria.

El procedimiento está dedicado a las pruebas de recepción de obra nueva, en caso se requieran realizar pruebas de carga en obras en servicio, se podrán utilizar algunos criterios acá formulados, teniendo en cuenta la carga máxima que podría soportar el puente para estudio.

Esta prueba será realizada en forma obligatoria en puentes cuya luz sea mayor a 12m, estando a criterio del Director de la Prueba el decidir realizar dicha prueba en puentes de luces menores.

Las pruebas de carga dinámicas serán realizadas en puentes con luces mayores a 60m. o que estén construidas con materiales no convencionales.

El procedimiento de esta prueba de carga también se puede realizar en puentes peatonales, solo se deberá de utilizar la carga repartida de diseño en lugar que el camión de diseño.

En el presente estudio se utilizó un micrómetro para la toma de datos, pero también se puede utilizar deformímetros instalados debajo de la losa, pero no son muy prácticos puesto que solo servirían para tomar las deformaciones en la mitad de la luz.

5.2. Discusión del Objetivo Específico 2

Con respecto al objetivo específico 2, en la prueba de carga se verifican 2 aspectos importantes para verificar la estructura del puente, estos son:

Etapa de carga:

Se asume que el material de construcción del puente es linealmente elástico, por lo que es suficiente medir las deformaciones, para poder tener una idea concreta con respecto a la calidad del material, esto comparando con las deformaciones obtenidas teóricamente, es decir si las deflexiones obtenidas en la prueba de carga estática son menor que las deflexiones teóricas, el Módulo de Elasticidad del material del puente es mejor.

En la ecuación siguiente podemos ver la relación existente entre las deflexiones y el momento flector (M), Modulo de Elasticidad (E) e Inercia (I).

$$=$$

Ecuación n.º 10.- Ecuación de la viga.

Siendo que el momento flector (M) y el Módulo de Inercia (I) son constantes para la prueba, podemos expresar la siguiente ecuación:

$$= \frac{\Delta}{\Delta}$$

Ecuación n.º 11.- Cálculo del módulo de elasticidad del material.

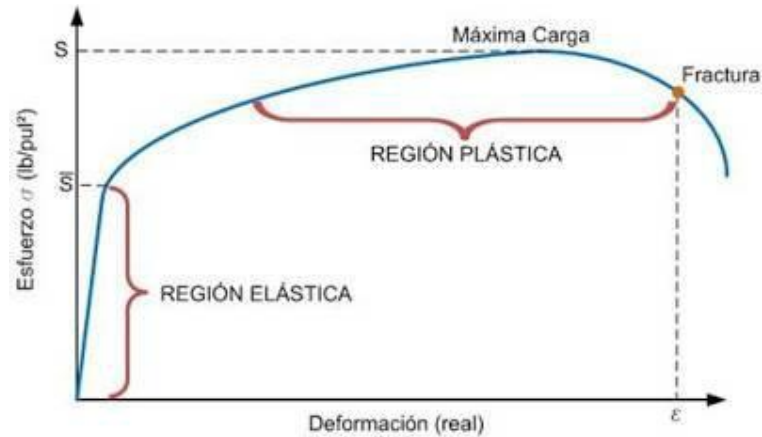
Por lo que se puede demostrar que mientras las deflexiones obtenidas de la prueba de carga sean menores a las obtenidas teóricamente, quiere decir que el material de construcción del puente es superior al material asumido en el diseño.

Etapa de descarga:

Esta etapa de la prueba de carga nos ayudará a verificar el comportamiento del puente debido a la carga aplicada, las cargas aplicadas no deberían de originar esfuerzos dentro de la región plástica, por lo que teóricamente luego de retirada la carga, la losa del puente debería de llegar a la cota de inicio, pero la realidad es otra

puesto que al momento de retirar la carga la cota presenta un pequeño desfase, a esto lo denominaremos deflexión remanente.

Ilustración n.º 66.- Curva esfuerzo deformación indicando las regiones elástica y plástica.



Fuente: Herrera (2016)

Las recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera indica el porcentaje de remanencia máximo, en el cual depende del material, tal como se puede ver en la tabla siguiente:

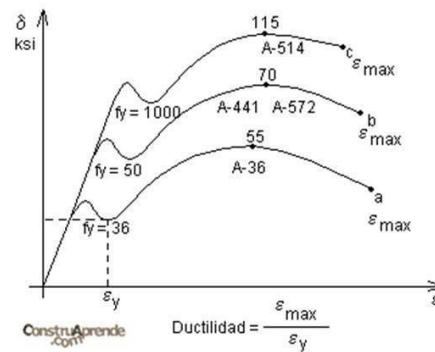
Tabla n.º 7.- Porcentaje de remanencia de acuerdo al material del puente.

Super estructura del puente	Porcentaje de remanencia
Concreto armado	20%
Concreto pretensado	15%
Metálico	10%

Fuente: Elaboración propia

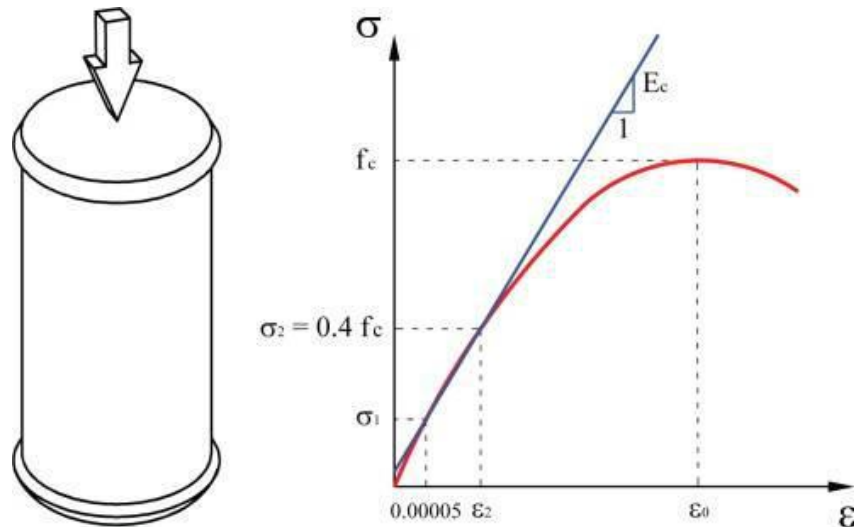
En el cuadro anterior se puede verificar que la remanencia es mayor en puentes de concreto en comparación que en los puentes metálicos, esto es debido a que la región elástica en el acero tiene un comportamiento lineal tal como puede verse en la ilustración n.º67, y del concreto tiende a ser lineal tal como podemos observar en la ilustración n.º68.

Ilustración n.º 67.- Curva esfuerzo deformación del acero.



Fuente: Pino, (n.d.)

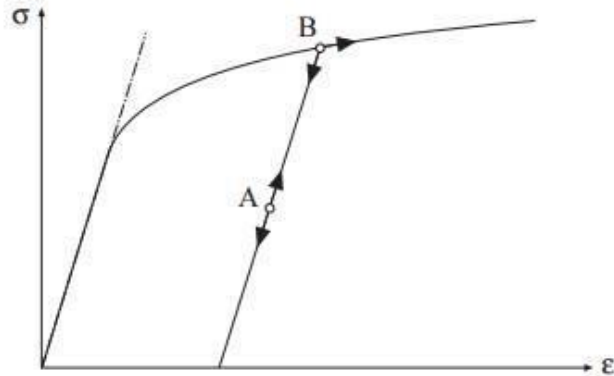
Ilustración n.º 68.- Curva esfuerzo deformación para el concreto



Fuente: Carrillo, Alcocer, & Aperador, (2013)

La deformación remanente es la deformación resultante luego de efectuada el ciclo de carga y descarga de la prueba de carga, es decir, si el punto "B" de la ilustración n.º 69 está más alejado de la región elástica, la deformación remanente será mucho mayor, tal como se puede visualizar en la ilustración n.º69.

Ilustración n.º 69.- Curva esfuerzo deformación para el concreto



Fuente: Herrera (2016)

5.3. Discusión del Objetivo Específico 3

A continuación, se analizarán los datos obtenidos en la prueba de carga estática:

5.3.1. Deflexiones máximas:

Si comparamos las deflexiones máximas obtenidas mediante la prueba de carga con las deflexiones teóricas, podremos ver que el material del puente cuenta con un módulo de elasticidad mayor que el de diseño, eso quiere decir que el material es mucho más resistente y a la vez soportar mayores demandas de carga a la diseñada.

El valor de ratio mínimo obtenido es de 1.47 para las vigas interiores del tramo II, este valor si comparamos con la ecuación 11 tenemos lo siguiente:

$$= 1.47$$

Lo anterior nos indica la capacidad del material del puente, que es 47% mayor a lo diseñado, como mínimo.

Por lo que se puede llegar a concluir que el puente es capaz de soportar las cargas con las que fue diseñado.

Ilustración n.º 70.- Ratio entre la deflexión máxima y la deflexión teórica.

TRAMO	VIGA	LADO	Deflexión (mm) (A)	Deflexión Teórica (mm) (B)	Ratio(B/A)
Tramo I	INTERIOR	Lado Izquierdo	2.33	5.9	2.53
		Eje Central	2.82	5.9	2.09
		Lado Derecho	2.90	5.9	2.03
	EXTERIOR	Lado Izquierdo	3.67	8.7	2.37
		Eje Paralelo 1m	2.80	8.7	3.11
		Lado Derecho	2.21	8.7	3.94
Tramo II	INTERIOR	Lado Izquierdo	2.82	5.9	2.09
		Eje Central	4.01	5.9	1.47
		Lado Derecho	3.47	5.9	1.70
	EXTERIOR	Lado Izquierdo	4.96	8.7	1.75
		Eje Paralelo 1m	2.98	8.7	2.92
		Lado Derecho	2.91	8.7	2.99
				PROMEDIO	2.42

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Deflexiones máximas:

Observando las deflexiones remanentes y comparándolas con las remanencias admisibles, se tiene que el máximo valor obtenido es de 14.89% en la viga interior del tramo II, aunque inferior a la remanencia admisible (15%), es decir que los esfuerzos originados por las cargas aplicadas son consideradas conformes para la validación de la prueba de carga..

Se puede observar que la viga interior del tramo II fue la que mayores deflexiones máximas presentó, así como también la que tiene mayor remanencia. Siendo estas vigas las “más débil” de la estructura, esta soportará las cargas con las que fue diseñado.

Ilustración n.º 71.- Resumen de remanencias admisibles

TRAMO	VIGA	Lado Izquierdo	Eje Central	Eje Paralelo 1m	Lado Derecho	Comparación
Tramo I	INTERIOR	6.44%	3.21%		11.38%	Conforme
	EXTERIOR	8.72%		14.64%	13.12%	Conforme
Tramo II	INTERIOR	14.89%	6.48%		14.70%	Conforme
	EXTERIOR	13.91%		13.42%	13.40%	Conforme

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Se aplicó la metodología indicada en las recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera, llegando a presentar un documento detallado y describiendo los procedimientos realizados.

El procedimiento descrito se realiza exclusivamente para la recepción de obra nueva, en caso se requiera realizar la prueba de carga de puentes en servicio se deberá de tener en cuenta otros criterios, tales como el cálculo del camión de prueba será distinto a lo planteado en esta tesis.

CONCLUSIONES DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Se presentó el procedimiento de la memoria de cálculo para la prueba de carga del puente sobre el Intercambio Vial Huaura, obteniéndose los siguientes resultados:

- Peso del Camión de prueba.
- Ubicación del tren de cargas para cada una de las pruebas
- Deflexiones máximas teóricas debido al tren de cargas en cada estado de prueba.

El cálculo de las deflexiones máximas teóricas se realizó con ayuda del software CSI BRIDGE V20.2, se utilizó dicho software debido a la dificultad para calcular el módulo de elasticidad E de la sección del puente por la presencia de 2 tipos de concreto (280 Kg/cm² para la losa y 420 Kg/cm² para las vigas).

CONCLUSIONES DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3

Se pudo verificar que las deflexiones máximas calculadas no superan las deflexiones teóricas, esto nos indica que el puente está construido para soportar satisfactoriamente todas las cargas de diseño.

Las remanencias obtenidas no superaron el valor máximo de la remanencia admisible de 15%, lo cual indica que el puente se comportó dentro del rango elástico, es decir que

el puente al ser sometidos a las cargas vehiculares, estas no ocasionaran deflexiones críticas en el futuro.

CONCLUSIONES GENERALES

Como conclusión final se tiene que el puente está bien construido y apto para las cargas solicitadas según diseño, por lo que dicho puente puede ser puesto en servicio.

Esta tesis fue concebida como guía, fuente de información y consulta necesaria cuando sean requeridas de realizar las pruebas de carga estática en puentes vehiculares.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Para la prueba de carga, los camiones utilizados deberán ser similares en peso y medidas, no es recomendable la utilización de diferentes camiones durante la realización de la prueba en el mismo puente.

El marcado de las posiciones del tren de cargas se deberá realizar por lo menos un día antes de la ejecución de la prueba de carga.

Las pruebas de carga se realizan de forma obligatoria para todo puente nuevo y antes de la puesta en servicio.

Las pruebas de carga estática se realizarán en puentes cuya luz sea mayor a 12m, en caso de luces menores a 12m, será de potestad del Director de la Obra el realizar pruebas en dicho puente.

Las pruebas de carga dinámica se realizarán de forma obligatoria en puentes con luces superior a los 60m, así como también en caso de la utilización de materiales no convencionales, también deberán usarse en caso de puentes peatonales en las que la vibración puede ocasionar molestias a los usuarios.

Durante el proceso de carga y descarga, el camión de prueba deberá de moverse a velocidad baja (menor a 10 Km/h), esto se realiza para evitar los efectos dinámicos sobre el puente.

La aplicación del tren de cargas será camión por camión, una vez que el primer camión este sobre la posición indicada, apagara el motor y se colocará el siguiente camión, así sucesivamente hasta que el tren de carga se encuentre en su posición.

RECOMENDACIONES DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Los datos que deberá de tener el Proyecto de la Prueba de Carga deberán ser como mínimo:

- Pesos y medidas del camión de diseño.
- Conformación del tren de cargas y su ubicación.
- Deflexiones de las vigas.

- Instrumentación y toma de datos.

Este tipo de pruebas de carga se deberá de realizar cuando se haya culminado la construcción del puente, en caso que falten instalar o colocar estructuras tales como las barandas o asfaltos, estas cargas faltantes deberán de ser tomadas en cuenta para el cálculo del camión de carga.

RECOMENDACIONES DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3

Al momento de realizar las tomas de datos, se recomienda efectuar la limpieza de la zona donde se colocarán las miras, esto porque la simple presencia de un grano de arena debajo de la mira puede generar lecturas erróneas por la gran precisión de los datos obtenidos.

En puentes post tensados, esta prueba deberá de realizarse en forma obligatoria una vez se haya procedido a tensar el puente.

RECOMENDACIONES GENERALES

Como actualmente no se encuentra normado el procedimiento de realizar cualquier prueba de carga estática, sería necesario que en el futuro se pueda normar el procedimiento de realización de una prueba de carga para puentes nuevos antes de la puesta en servicio.

REFERENCIAS

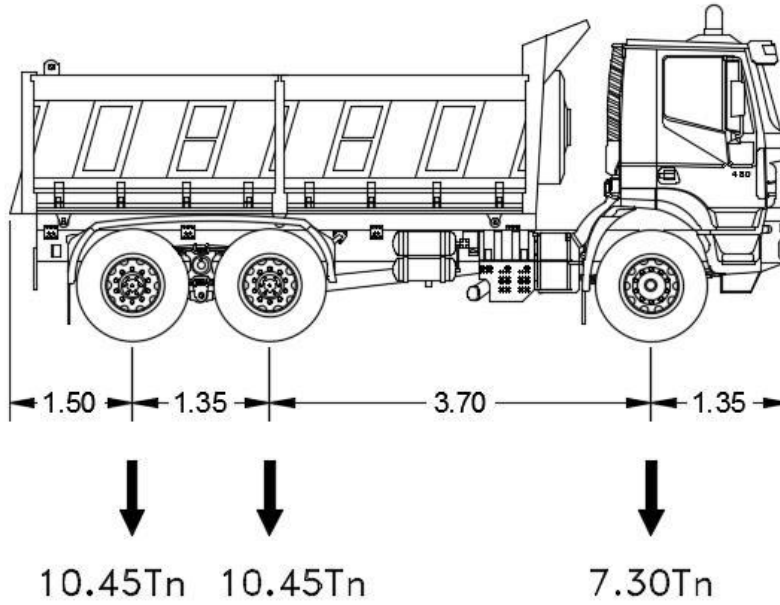
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *The Manual for Bridge Evaluation*. Washington: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2014). *LRFD Bridge Design Specifications*. Washington DC: AASHTO.
- Beléndez, T., Neipp, C., & Beléndez, A. (2002). *Estudio de la Flexión de una viga de Material Elástico no Lineal*. Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante.
- Cardoza Quijada, M., & Villalobos Zetino, J. (2005). *Evaluación Estructural de un Puente Mediante la Realización de una Prueba de Carga Estática (Tesis de Pregrado)*. Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Carrillo, J., Alcocer, S., & Aperador, W. (2013, Abril). *www.researchgate.net*. doi:10.1016/S1405-7743(13)72243-1
- Elías Castillo, F., & Ruiz Beltrán, L. (1979). *Precipitaciones máximas en España: estimaciones basadas en métodos estadísticos*. Madrid: Servicio de Publicaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura.
- Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile. (2007). *U-Cursos*. Retrieved Julio 19, 2018, from https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/C134A/1/material_docente/bajar?id_material=127022
- FURGANG, K., & HERNANDEZ, F. (2011). *Construcción de puentes*. Guangzhou - China: Benchmark Education Company LLC.
- Gruas & Equipos Garcia. (2012, Noviembre 24). *Gruas y Equipos Carcia*. Retrieved from <http://www.gruasyequiposgarcia.com/tag/manionbras-con-trabes/>
- Herrera, J. (2016, Enero 30). *blogspot.com*. Retrieved from <http://procesodefabricacion1.blogspot.com/2016/01/proceso-de-fabricacion-por-deformacion.html>
- Leña, I. (2013, Septiembre 6). *Diario Cordoba*. Retrieved from http://www.diariocordoba.com/noticias/cordobalocal/pruebas-carga-puente-descartan-sufra-danos-severos_827233.html
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2006). *Directiva N° 01-2006-MTC/14 "Guía Para Inspección de Puentes"*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Puentes*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Fomento - Dirección General de Carreteras. (1999). *Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera*. Madrid: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento.
- Pino, A. (n.d.). *Monografias.com*. Retrieved from <https://www.monografias.com/trabajos72/diagrama-esfuerzo-deformacion/diagrama-esfuerzo-deformacion2.shtml>
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española*. Madrid: Espasa Libros.
- Reyes, J., Sanchez-Silva, M., Castro, D., Sequera, D., & PeDelta y Santander Asociados. (2015, Septiembre 3). *Slideshare*. Retrieved Julio 24, 2018, from <https://www.slideshare.net/EliasCarabali/2-calibracin-del-camin-de-diseo-cc-14-juan-francisco-correal>
- Somenson, H. (2015). *Estudio y proyecto de puentes de hormigón armado*. Madrid: Ediciones Dias de Santos.

ANEXOS

Anexo n.º 1. Dimensiones y pesos del camión de carga	86
Anexo n.º 2. Ubicación del tren de cargas para el Tramo I – viga exterior.	87
Anexo n.º 3. Ubicación del tren de cargas para el Tramo I – viga interior.	88
Anexo n.º 4. Ubicación del tren de cargas para el Tramo II – viga exterior.	89
Anexo n.º 5. Ubicación del tren de cargas para el Tramo II – viga interior.	90
Anexo n.º 6. Ubicación en planta del tren de carga para el Tramo I – viga exterior	91
Anexo n.º 7. Ubicación en planta del tren de carga para el Tramo I – viga interior	92
Anexo n.º 8. Ubicación en planta del tren de carga para el Tramo II – viga exterior	93
Anexo n.º 9. Ubicación en planta del tren de carga para el Tramo II – viga interior	94
Anexo n.º 10. Certificados de peso de los camiones de carga.	95
Anexo n.º 11. Deflexiones en planta.	97

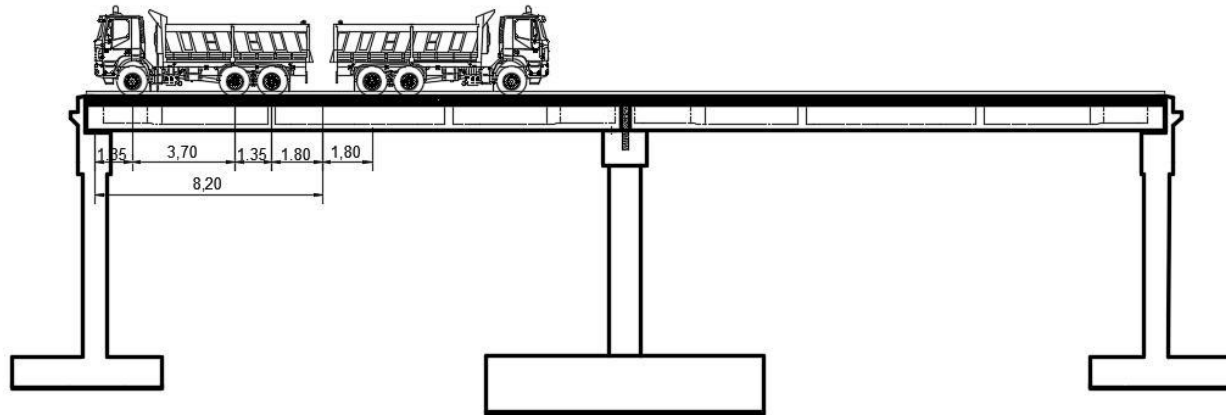
Anexo n.º 1. Dimensiones y pesos del camión de carga

Peso total = 28.20Tn

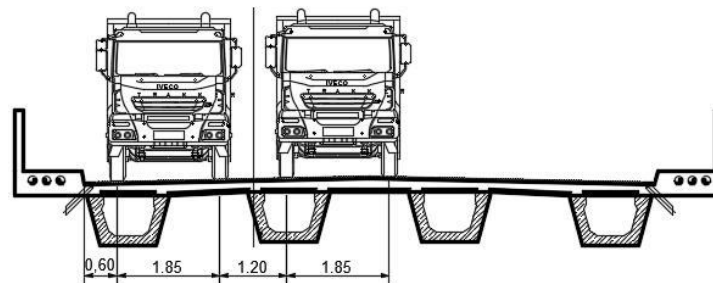


Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 2. Ubicación del tren de cargas para el Tramo I – viga exterior.



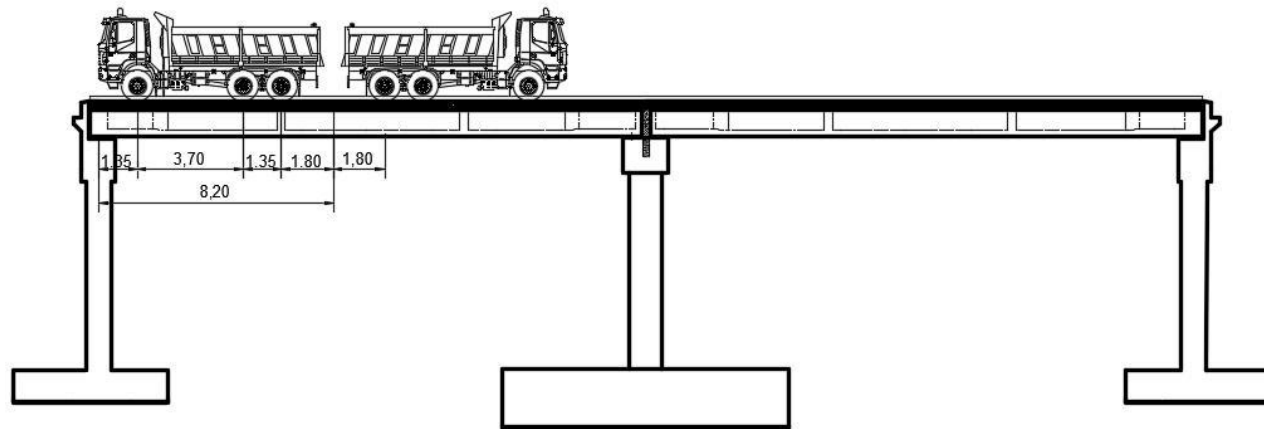
ELEVACION LONGITUDINAL



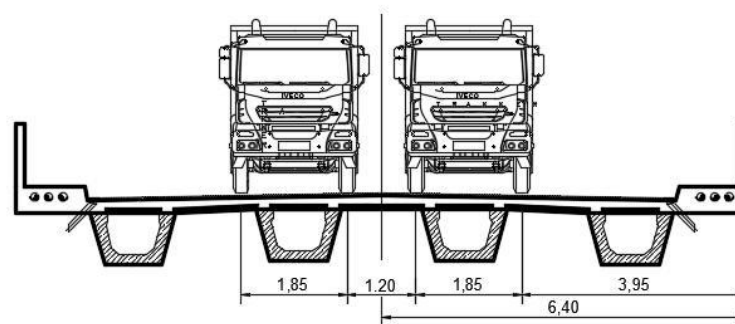
SECCION TRANSVERSAL

Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 3. Ubicación del tren de cargas para el Tramo I – viga interior.



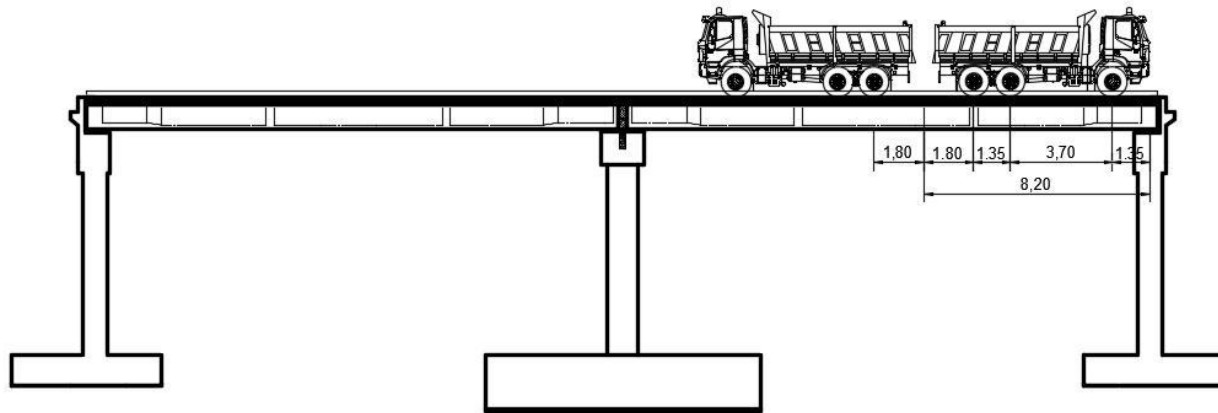
ELEVACION LONGITUDINAL



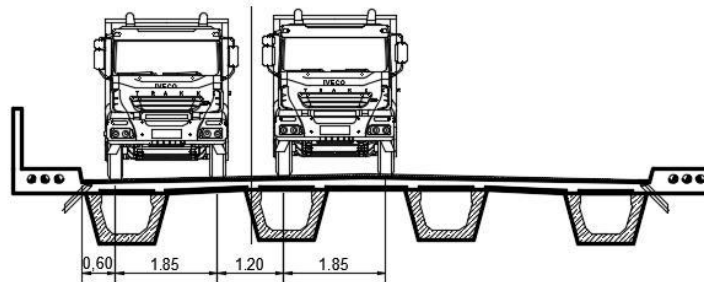
SECCION TRANSVERSAL

Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 4. Ubicación del tren de cargas para el Tramo II – viga exterior.



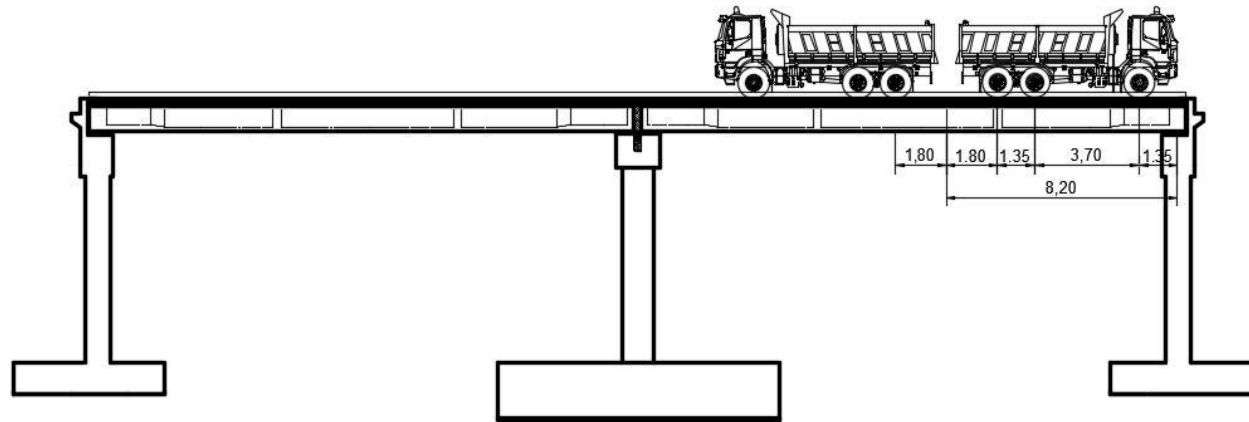
ELEVACION LONGITUDINAL



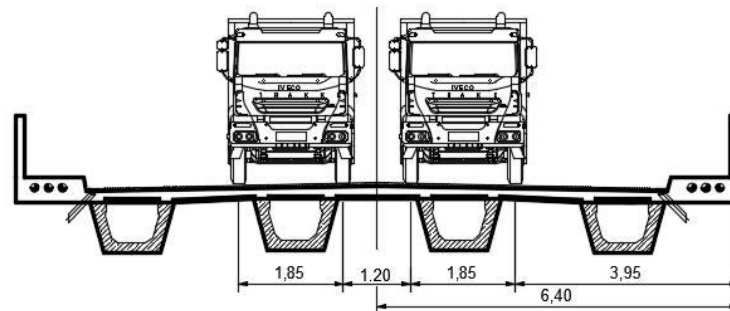
SECCION TRANSVERSAL

Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 5. Ubicación del tren de cargas para el Tramo II – viga interior.



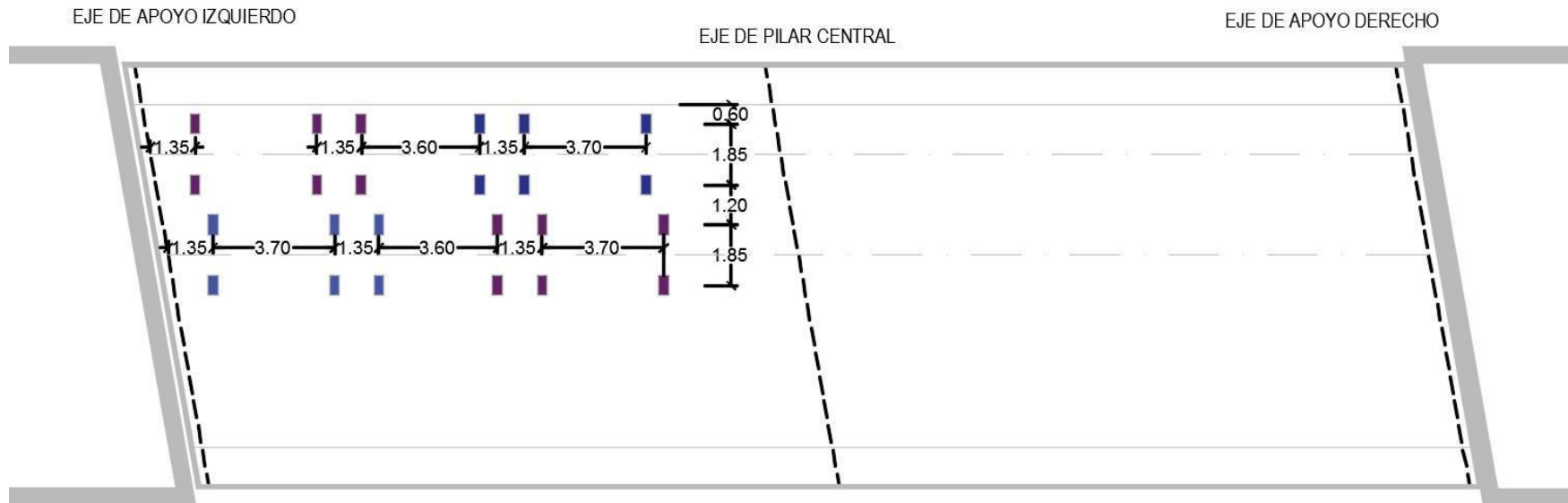
ELEVACION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL

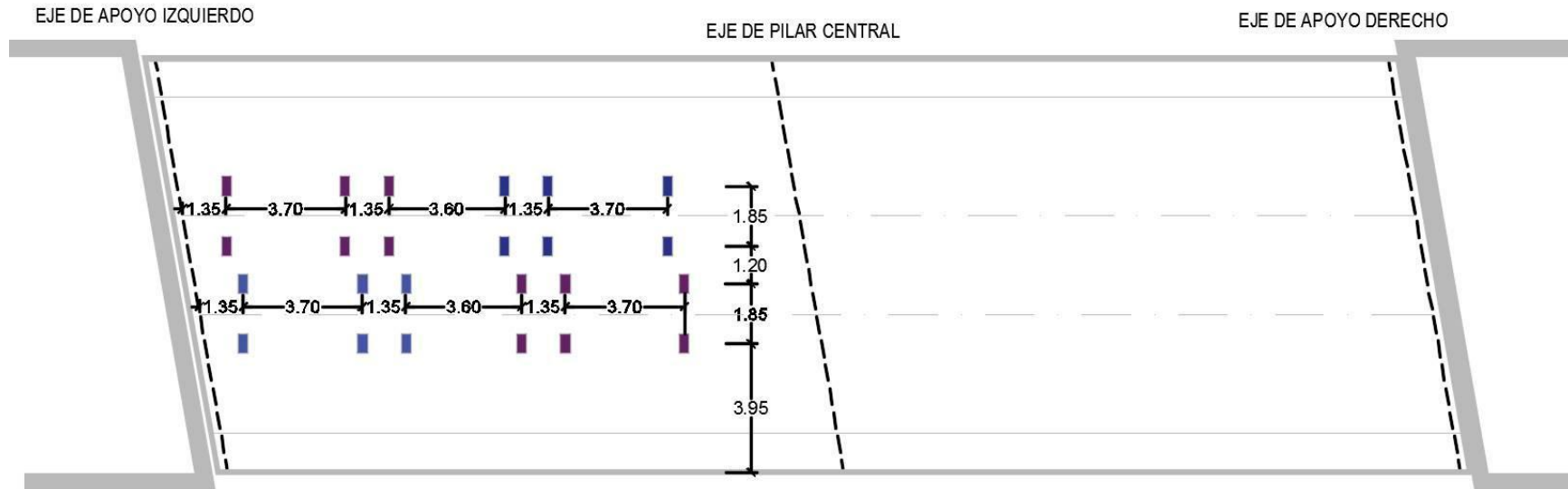
Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 6. Ubicación en planta del tren de carga para el Tramo I – viga exterior.



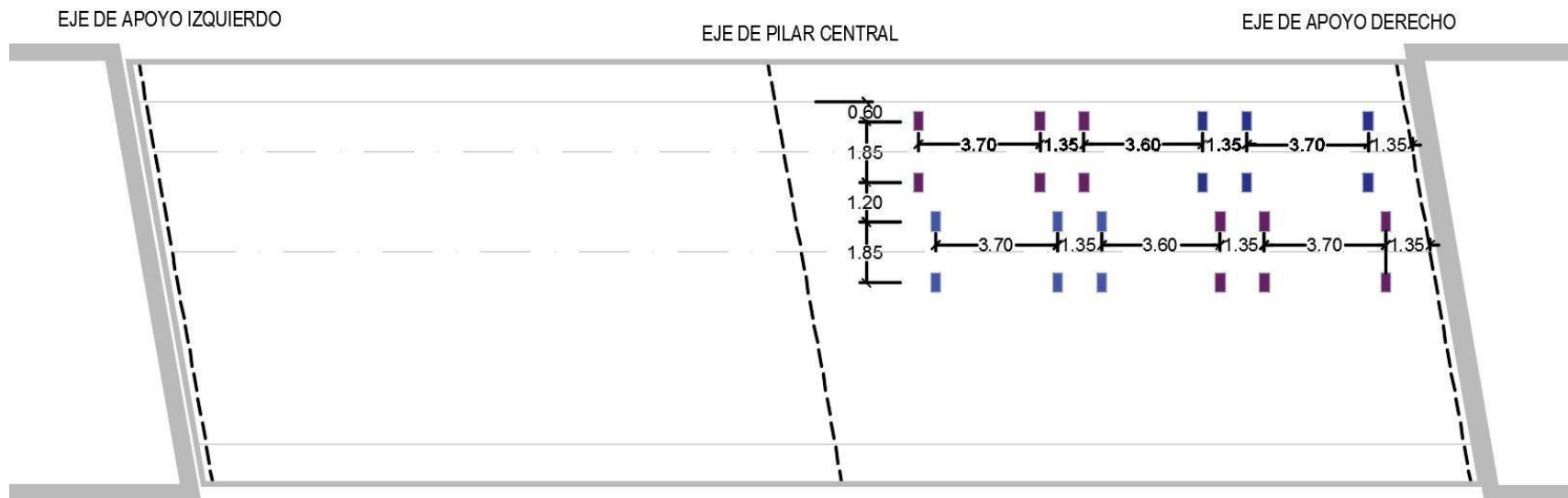
Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 7. Ubicación en planta del tren de carga para el Tramo I – viga interior.



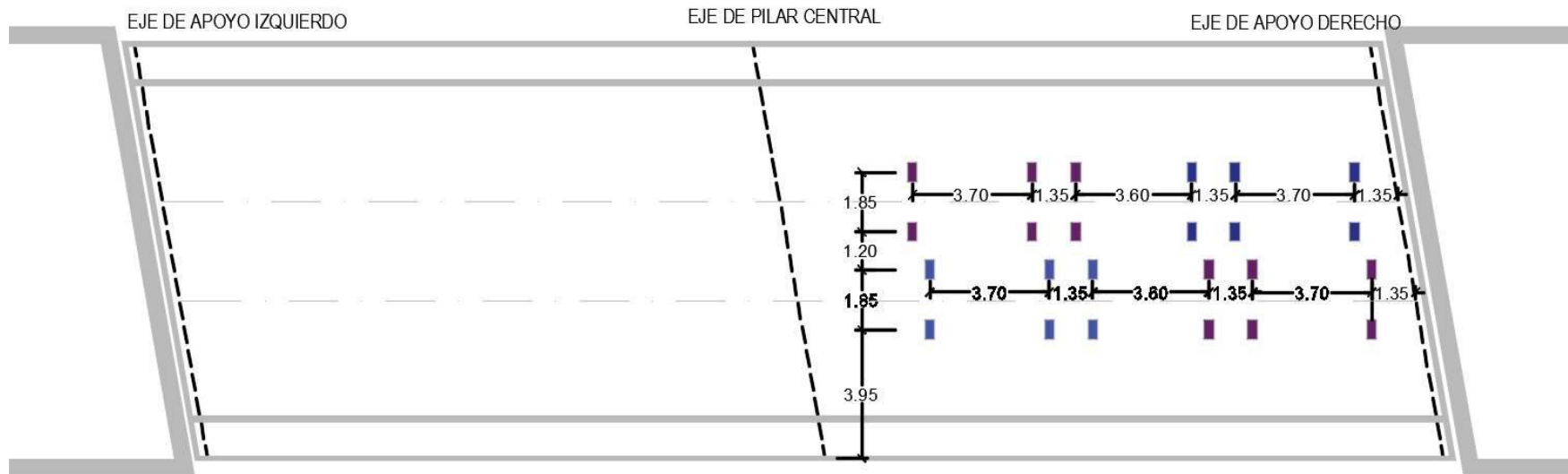
Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 8. Ubicación en planta del tren de carga para el Tramo II – viga exterior.



Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 9. Ubicación en planta del tren de carga para el Tramo II – viga interior.



Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 10. Certificados de peso de los camiones de carga.

Administradora LINERBA S.A.C.
Panamericana Norte Km. 170 - Santa Cruz - Vegueta
Telef: 7948898

Ticket : 0072935
 Placa : F3V-725 NINGUNO
 Cliente : NINGUNO
 Conductor : NINGUNO
 Producto : TIERRA
 Precio : S/. s/. 15
 Guia : NINGUNO

Fecha Inicial: 29/09/2016 7:27:12
 Peso Inicial : 28190 kg

Administradora LINERBA S.A.C.
Panamericana Norte Km. 170 - Santa Cruz - Vegueta
Telef: 7948898

Ticket : 0072941
 Placa : F3U-714 NINGUNO
 Cliente : CONSORCIO HUACHO PATIVILCA
 Conductor : NINGUNO
 Producto : BASE GRANULAR
 Precio : S/. 15,00
 Guia : NINGUNO

Fecha Inicial: 29/09/2016 7:48:41
 Peso Inicial : 28200 kg

Administradora LINERBA S.A.C.
Panamericana Norte Km. 170 - Santa Cruz - Vegueta
Telef: 7948898

Ticket : 0072942
Placa : DOR-849 NINGUNO
Cliente : CONSORCIO HUACHO PATIVILCA
Conductor : NINGUNO
Producto : base GRANULAR
Precio : S/. s/. 15
Guia : NINGUNO

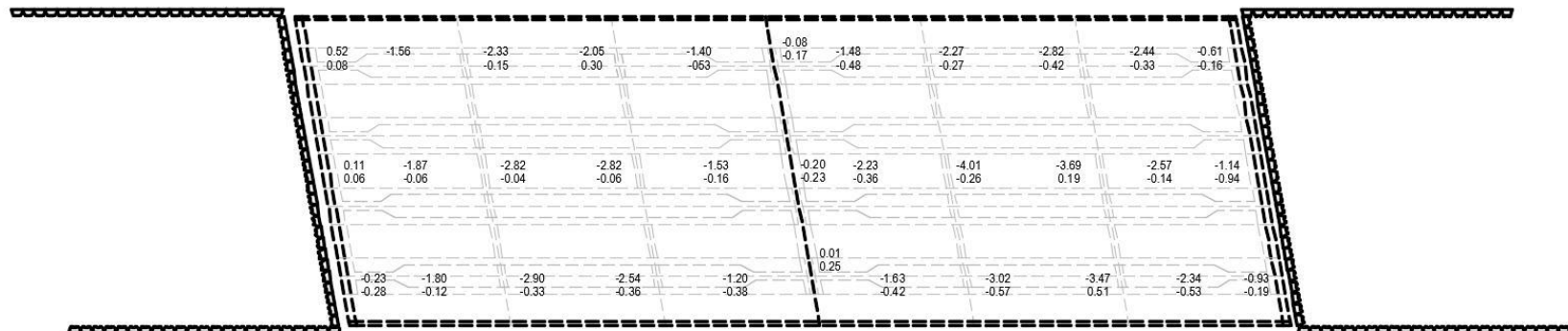
Fecha Inicial: 29/09/2016 7:52:58
Peso Inicial : 28200 kg

Administradora LINERBA S.A.C.
Panamericana Norte Km. 170 - Santa Cruz - Vegueta
Telef: 7948898

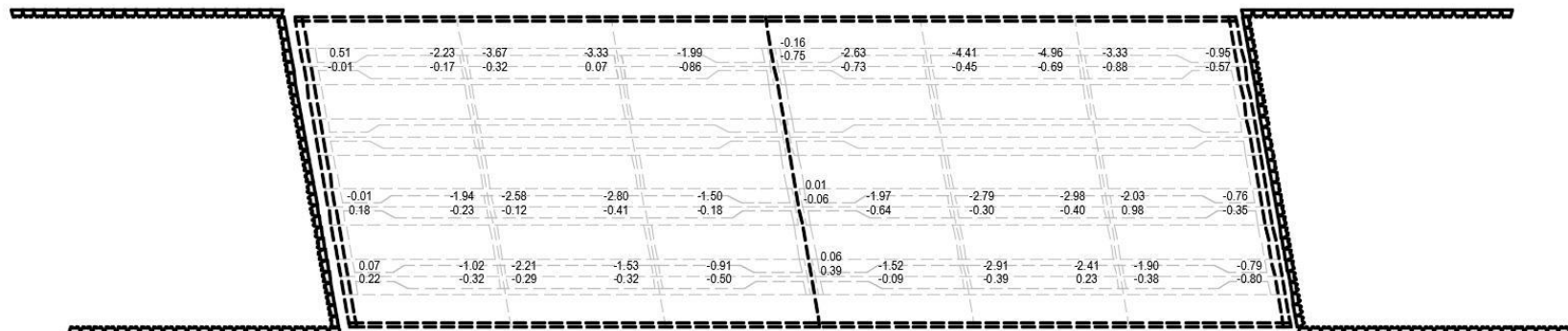
Ticket : 0072943
Placa : DOS-804 NINGUNO
Cliente : CONSORCIO HUACHO PATIVILCA
Conductor : NINGUNO
Producto : base GRANULAR
Precio : S/. s/. 15
Guia : NINGUNO

Fecha Inicial: 29/09/2016 8:01:50
Peso Inicial : 28200 kg

Anexo n.º 11. Deflexiones en planta.



PRUEBA DE VIGA EN CARGA INTERIOR



PRUEBA DE VIGA EN CARGA EXTERIOR

NOTAS:

- Deflexiones en milímetros.
-4.96: Deflexión de viga con carga
-0.69: Deflexión de viga con carga retirada.

Fuente: Elaboración propia