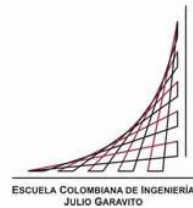


Maestría en Ingeniería Civil

Análisis comparativo para el diseño de tres puentes continuos en diferentes partes de la geografía nacional, diseñados usando el código CCDSP-95 y la norma vigente CCP-14

Carlos Augusto Salguero Tuirán

Bogotá, D.C., 1 de Agosto de 2017



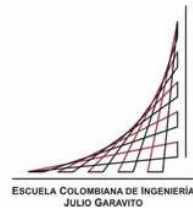
**Análisis comparativo para el diseño de tres puentes continuos en
diferentes partes de la geografía nacional, diseñados usando el
código CCDSP-95 y la norma vigente CCP-14**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Estructuras**

Jaime Erasmo Garzón Moreno

Director

Bogotá, D.C., 1 de Agosto de 2017



La tesis de maestría titulada “Análisis comparativo para el diseño de tres puentes continuos en diferentes partes de la geografía nacional, diseñados usando el código CCDSP-95 y la norma vigente CCP-14”, presentada por Carlos Augusto Salguero Tuirán, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

Director de la tesis

Jaime Erasmo Garzón Moreno

Jurado

Diego Ernesto Dueñas Puentes

Jurado

Josué Galvis Ramos

Bogotá, D.C., 1 de Agosto de 2017

Dedicatoria

Este proyecto esta principalmente dedicado a Dios, y a mis padre: Salvador Salguero Trujillo, por sus enseñanzas y apoyo. A mi madre: Josefina Tuirán Torres por su amor incondicional que la llevó siempre a creer en mí.

Agradecimientos

- A Dios, que me permitió con sus bendiciones, poder culminar a satisfacción la maestría en Ingeniería civil.
- A mi director de tesis, Ingeniero Jaime Garzón M. por su valiosa guía y colaboración en el asesoramiento durante la elaboración de este proyecto.
- A los jurados de este trabajo: Ingenieros Josué Galvis y Diego Dueñas, por sus aportes siempre atinados en el aspecto de puentes.
- A mis profesores de posgrado de la escuela por sus valiosas enseñanzas. En especial a los Ingenieros Pedro Nel Quiroga y Nancy Torres por su valiosa colaboración durante todos los semestres que estuve en el programa.
- Al Ingeniero Jorge Padilla Romero, por sus enseñanzas en este apasionante mundo del diseño estructural y en aspectos fundamentales de mi crecimiento personal.
- A la Ingeniera Lina Segura por su valiosa colaboración y aportes en la edición final de esta tesis.

Resumen

El 26 de enero de 2015 mediante resolución 108 entró en vigencia en el territorio colombiano la “NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES – LRFD – CCP-14” actualizando el “CODIGO COLOMBIANO DE DISEÑO SISMICO DE PUENTES (CCDSP-95)”, documento que fue una adaptación casi literal del código “AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges de 1992”.

El objetivo principal de esta tesis es realizar un comparativo en el diseño de tres puentes significativos en concreto, localizados en diferentes lugares del territorio colombiano utilizando el código CCDSP-95 y la norma CCP-14. Esto con el fin de verificar de manera cuantitativa los posibles cambios a que hubo lugar por la adopción de la nueva normativa.

Los puentes analizados se escogieron de tal forma que se abarcaran tres zonas de amenaza sísmica (baja, media y alta) en diferentes zonas de nuestro territorio. A continuación, se efectúa una descripción muy somera de estos puentes.

El Puente “Vía a Minca” es un puente continuo en viga cajón de concreto reforzado, de cuatro luces comprendidas entre los 24m y 32m, localizado en la ciudad de Santa Marta, zona de riesgo sísmico bajo.

El Puente “Bermúdez” es un puente de voladizos sucesivos de luz central de 65m y 130m de longitud total, localizado en la vía Pasto – Rumichaca, zona de riesgo sísmico alto.

El Puente “San Pedro” es un puente con dos tipologías estructurales, la primera son dos luces de 30m en el sistema losa - vigas simplemente apoyadas y la segunda es un voladizo sucesivo de luz central de 45m y 180m de longitud total. El puente cuenta con una longitud total de 240m y se encuentra localizado en la vía denominada “Marginal de la selva” entre los municipios de Florencia y San José del Fragua, en zona de riesgo sísmico intermedio.

Entre los cambios más importantes en el diseño de puentes bajo la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14 con respecto al Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes CCDSP-95, encontramos el diseño sísmico y la carga viva.

Estas estructuras se analizaron de manera amplia introduciendo la interacción suelo – estructura con los parámetros arrojados en los estudios geotécnicos respectivos. Se

efectuaron modelos tridimensionales donde se aplicaron las cargas exigidas en cada uno de los códigos estudiados. Se obtuvieron los resultados respectivos y se compararon de manera cuantitativa. De esta manera se tuvieron las conclusiones finales, las cuales se exponen en el capítulo respectivo.

Índice general

CAPÍTULO I OBJETIVOS	3
1.1 Objetivo General	3
1.2 Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II ALCANCE Y LIMITACIONES	4
CAPÍTULO III ANTECEDENTES	5
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA	6
CAPÍTULO V DISPOSICIONES DEL CÓDIGO COLOMBIANO DE DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES – CCDSP-95	7
5.1 Cargas	7
5.1.1 Combinaciones y factores de carga	7
5.1.2 Carga Viva	8
5.1.3 Efectos sísmicos – EQ	11
CAPÍTULO VI DISPOSICIONES DE LA NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES LRFD CCP-14	13
6.1 Cargas	13
6.1.1 Cargas permanentes	13
6.1.2 Cargas transitorias	14
6.1.3 Combinaciones y factores de carga	15
6.1.4 Carga Viva LL	16
6.1.5 Efectos sísmicos – EQ	20
CAPÍTULO VII ESTRUCTURAS A ANALIZAR	22
7.1 Puente Vía a Minca	22

7.1.1	Materiales	28
7.1.2	Propiedades de la viga	29
7.1.3	Propiedades de las columnas	30
7.2	Puente Bermúdez	31
7.2.1	Materiales	36
7.2.2	Propiedades de las vigas	37
7.3	Puente San Pedro	44
7.3.1	Materiales	50
7.3.2	Propiedades de las vigas	51
CAPÍTULO VIII ANÁLISIS ESTRUCTURAL		67
8.1	Puente Vía a Minca – CCDSP-95	67
8.1.1	Evaluación de cargas	67
8.1.2	Combinaciones de diseño	68
8.1.3	Análisis sísmico	69
8.1.4	Entrada de datos al programa SAP 2000	70
8.1.5	Análisis Viga Cajón Continua	74
8.1.6	Análisis de columnas	76
8.1.7	Análisis de pilotes	81
8.2	Puente Vía a Minca – CCP-14	86
8.2.1	Evaluación de cargas	86
8.2.2	Combinaciones de diseño	87
8.2.3	Análisis sísmico	88
8.2.4	Entrada de datos al programa SAP 2000	89
8.2.5	Análisis Viga Cajón Continua	93
8.2.6	Análisis de columnas	95
8.2.7	Análisis de pilotes	100
8.3	Puente Vía a Minca – Comparación	104
8.3.1	Carga Viva	104
8.3.2	Combinaciones de diseño vigas	106

8.3.3	Análisis sísmico	108
8.3.4	Combinaciones de diseño columnas	136
8.3.5	Combinaciones de diseño pilotes	141
8.4	Puente Bermúdez – CCDSP-95	150
8.4.1	Evaluación de cargas	150
8.4.2	Combinaciones de diseño	152
8.4.3	Análisis sísmico	153
8.4.4	Entrada de datos al programa CSI Bridge	154
8.4.5	Análisis Viga Continua	157
8.4.6	Análisis de columnas	159
8.4.7	Análisis de pilotes	164
8.5	Puente Bermúdez – CCP-14	169
8.5.1	Evaluación de cargas	169
8.5.2	Combinaciones de diseño	170
8.5.3	Análisis sísmico	171
8.5.4	Entrada de datos al programa SAP 2000	172
8.5.5	Análisis Viga Continua	176
8.5.6	Análisis de columnas	178
8.5.7	Análisis de pilotes	183
8.6	Puente Bermúdez – Comparación	188
8.6.1	Carga Viva	188
8.6.2	Combinaciones de diseño vigas	190
8.6.3	Análisis sísmico	192
8.6.4	Combinaciones de diseño columnas	223
8.6.5	Combinaciones de diseño pilotes	226
8.7	Puente San Pedro – CCDSP-95	238
8.7.1	Evaluación de cargas	238
8.7.2	Combinaciones de diseño	240
8.7.3	Análisis sísmico	241
8.7.4	Entrada de datos al programa CSI Bridge	242
8.7.5	Análisis Vigas Simplemente Apoyadas	247

8.7.6	Análisis Viga Continua	249
8.7.7	Análisis de columnas	251
8.7.8	Análisis de pilotes	256
8.8	Puente San Pedro – CCP-14	261
8.8.1	Evaluación de cargas	261
8.8.2	Combinaciones de diseño	262
8.8.3	Análisis sísmico	263
8.8.4	Entrada de datos al programa CSI Bridge	264
8.8.5	Análisis Vigas Simplemente Apoyadas	267
8.8.6	Análisis Viga Continua	269
8.8.7	Análisis de columnas	271
8.8.8	Análisis de pilotes	276
8.9	Puente San Pedro - Comparación	281
8.9.1	Combinaciones de diseño vigas	285
8.9.2	Análisis sísmico	289
8.9.3	Combinaciones de diseño columnas	314
8.9.4	Combinaciones de diseño pilotes	320
CAPÍTULO IX ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES		326
9.1	Análisis sísmico	326
9.2	Análisis superestructura	329
9.3	Análisis subestructura	343
CAPÍTULO X REFERENCIAS		347

Índice de tablas

Tabla 1 Combinaciones y Factores de Carga (CCDSP-95 Tabla A3.12-1).	7
Tabla 2 Reducción de la intensidad de las cargas (CCDSP-95 Numeral A3.4.7).	11
Tabla 3 Factores de modificación de respuesta – subestructuras (CCDSP-95 Numeral A3.5.3.3).	12
Tabla 4 Combinaciones y Factores de Carga (CCP-14 Tabla 3.4.1-1).	15
Tabla 5 Factores para cargas permanentes (CCP-14 Tabla 3.4.1-2).	16
Tabla 6 Amplificación por carga dinámica (CCP-14 Numeral 3.6.2).	19
Tabla 7 Factor de presencia múltiple (CCP-14 Numeral 3.6.1.1.2).	19
Tabla 8 Factores de modificación de respuesta – subestructuras (CCP-14 Numeral 3.10.7.1).	21
Tabla 9 Porcentajes de impacto – Puente Vía a Minca.	67
Tabla 10 Carga de carril para momento CCDSP-95 – Puente Bermúdez.	150
Tabla 11 Carga de carril para cortante CCDSP-95 – Puente Bermúdez.	151
Tabla 12 Porcentaje de impacto – Puente Bermúdez.	151
Tabla 13 Carga de carril para momento CCDSP-95 – Puente San Pedro.	238
Tabla 14 Carga de carril para cortante CCDSP-95 – Puente San Pedro.	239
Tabla 15 Porcentaje de impacto – Puente San Pedro.	239
Tabla 16 Porcentaje de variación del coeficiente sísmico elástico, Csm - Puente Vía Minca	326
Tabla 17 Porcentaje de variación del coeficiente sísmico elástico, Csm - Puente San Pedro	327
Tabla 18 Porcentaje de variación del coeficiente sísmico elástico, Csm - Puente Bermúdez	328
Tabla 19 Porcentaje de variación de momentos por carga viva en vigas	341
Tabla 20 Porcentaje de variación de cortante por carga viva en vigas	341
Tabla 21 Porcentaje de variación de momentos por combinación de diseño en vigas	341
Tabla 22 Porcentaje de variación de cortante por combinación de diseño en vigas	342
Tabla 23 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en columnas Puente Vía Minca	343
Tabla 24 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en columnas Puente Bermúdez	343

Tabla 25 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en columnas Puente San Pedro	343
Tabla 26 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en pilotes Puente Vía Minca	344
Tabla 27 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en pilotes Puente Bermúdez	344
Tabla 28 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en pilotes Puente San Pedro	344
Tabla 29 Porcentaje de variación de esfuerzos por envolvente de diseño Puente Vía Minca	345
Tabla 30 Porcentaje de variación de esfuerzos por envolvente de diseño Puente Bermúdez	345
Tabla 31 Porcentaje de variación de esfuerzos por envolvente de diseño Puente San Pedro	346

Índice de figuras

Figura 1 Camión estándar definido en CCDSP-95 (Sección A.3.4.2.1).	8
Figura 2 Carga de carril CCDSP-95 (Numeral A3.4.2).	9
Figura 3 Camión de diseño definido en CCP-14 (Numeral 3.6.1.2.2).	17
Figura 4 Tándem de diseño definido en CCP-14 (Numeral 3.6.1.2.3).	17
Figura 5 Espectro de Aceleraciones de Diseño CCP-14 (Numeral 3.10.4.1)	21
Figura 6 Planta Puente Vía a Minca	23
Figura 7 Perfil Puente Vía a Minca	23
Figura 8 Sección transversal típica – Puente Vía a Minca	24
Figura 9 Geometría apoyo eje 1 – Puente Vía a Minca	24
Figura 10 Geometría apoyo eje 5 – Puente Vía a Minca	25
Figura 11 Geometría apoyo eje 3 – Puente Vía a Minca	26
Figura 12 Geometría apoyos ejes 2 y 4 – Puente Vía a Minca	27
Figura 13 Geometría típica viga cajón continua - Puente Vía a Minca	29
Figura 14 Geometría típica columnas - Puente Vía a Minca	30
Figura 15 Planta tablero Puente Bermúdez	32
Figura 16 Perfil Puente Bermúdez	32
Figura 17 Sección transversal sobre pila - Puente Bermúdez	33
Figura 18 Sección transversal centro de luz - Puente Bermúdez	33
Figura 19 Geometría apoyos ejes 1 y 4 – Puente Bermúdez	34
Figura 20 Geometría apoyo eje 3 – Puente Bermúdez	34
Figura 21 Geometría apoyo eje 4 – Puente Bermúdez	35
Figura 22 Geometría dovela 1 - Puente Bermúdez	37
Figura 23 Geometría dovela 2A - Puente Bermúdez	38
Figura 24 Geometría dovela 3A - Puente Bermúdez	39
Figura 25 Geometría dovela 4A - Puente Bermúdez	40
Figura 26 Geometría dovela 5A - Puente Bermúdez	41
Figura 27 Geometría dovela 6A - Puente Bermúdez	42
Figura 28 Geometría dovela 7A - Puente Bermúdez	43
Figura 29 Planta tablero Puente San Pedro	45
Figura 30 Perfil Puente San Pedro	45
Figura 31 Sección transversal puente San Pedro – Zona vigas postensadas y tablero	46
Figura 32 Sección transversal puente San Pedro – Zona voladizos	46

Figura 33 Geometría apoyo eje 1 – Puente San Pedro	48
Figura 34 Geometría apoyo eje 6 – Puente San Pedro	48
Figura 35 Geometría apoyos ejes 2 y 3 – Puente San Pedro	49
Figura 36 Geometría apoyos ejes 4 y 5 – Puente San Pedro	49
Figura 37 Propiedades geométricas - Viga 30.0m- Puente San Pedro	51
Figura 38 Propiedades geométricas - Viga 30.0m + Tablero- Puente San Pedro	52
Figura 39 Geometría cara menor dovela centro de luz - Puente San Pedro	53
Figura 40 Geometría cara menor dovela 10 - Puente San Pedro	54
Figura 41 Geometría cara menor dovela 9 - Puente San Pedro	55
Figura 42 Geometría cara menor dovela 8 - Puente San Pedro	56
Figura 43 Geometría cara menor dovela 7 - Puente San Pedro	57
Figura 44 Geometría cara menor dovela 6 - Puente San Pedro	58
Figura 45 Geometría cara menor dovela 5 - Puente San Pedro	59
Figura 46 Geometría cara menor dovela 4 - Puente San Pedro	60
Figura 47 Geometría cara menor dovela 3 - Puente San Pedro	61
Figura 48 Geometría cara menor dovela 2 - Puente San Pedro	62
Figura 49 Geometría cara menor dovela 1 - Puente San Pedro	63
Figura 50 Geometría dovela sobre cimbra - Puente San Pedro	64
Figura 51 Geometría dovela cara de pila - Puente San Pedro	65
Figura 52 Geometría dovela eje de columna - Puente San Pedro	66
Figura 53 Número de carriles Puente Vía Minca	68
Figura 54 Espectro de diseño Puente Vía a Minca CCDSP-95	69
Figura 55 Esquema 3D – Puente Vía a Minca	70
Figura 56 Líneas de carga - CCDSP-95 SAP2000 - Puente Vía a Minca	71
Figura 57 Carga de camión C40-95 SAP2000 - Puente Vía a Minca	72
Figura 58 Línea de tráfico para cortante C40-95 SAP2000 - Puente Vía a Minca	72
Figura 59 Línea de tráfico para momento C40-95 SAP2000 - Puente Vía a Minca	73
Figura 60 Momento carga viva vehicular – Viga cajón continua - Puente Vía a Minca	74
Figura 61 Cortante carga viva vehicular - Viga cajón continua - Puente Vía a Minca	74
Figura 62 Momento por envolvente de diseño – Viga cajón continua - Puente Vía a Minca	75
Figura 63 Cortante por envolvente de diseño - Viga cajón continua - Puente Vía a Minca	75

Figura 64 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Vía a Minca	76
Figura 65 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca	77
Figura 66 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca	77
Figura 67 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Vía a Minca	78
Figura 68 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca	78
Figura 69 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca	79
Figura 70 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Vía a Minca	79
Figura 71 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca	80
Figura 72 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca	80
Figura 73 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Vía a Minca	81
Figura 74 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca	82
Figura 75 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca	82
Figura 76 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Vía a Minca	83
Figura 77 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca	83
Figura 78 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca	84
Figura 79 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Vía a Minca	84
Figura 80 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca	85
Figura 81 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca	85
Figura 82 Número de carriles Puente Vía Minca	87
Figura 83 Espectro de diseño Puente Vía Minca CCP-14	88
Figura 84 Esquema 3D – Puente Vía a Minca	89

Figura 85 Línea de carga 1 – CCP-14 SAP2000 - Puente Vía a Minca	90
Figura 86 Líneas de carga 2 y 3 – CCP-14 SAP2000 - Puente Vía a Minca	90
Figura 87 Carga de camión CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Vía a Minca	91
Figura 88 Carga de tándem CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Vía a Minca	91
Figura 89 Carga de dos camiones CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Vía a Minca	92
Figura 90 Carga de dos tándem CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Vía a Minca	92
Figura 91 Momento carga viva vehicular – Viga cajón continua - Puente Vía a Minca	93
Figura 92 Cortante carga viva vehicular - Viga cajón continua - Puente Vía a Minca	93
Figura 93 Momento por envolvente de diseño – Viga cajón continua - Puente Vía a Minca	94
Figura 94 Cortante por envolvente de diseño - Viga cajón continua - Puente Vía a Minca	94
Figura 95 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Vía a Minca	95
Figura 96 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca	96
Figura 97 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca	96
Figura 98 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Vía a Minca	97
Figura 99 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca	97
Figura 100 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca	98
Figura 101 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Vía a Minca	98
Figura 102 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca	99
Figura 103 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca	99
Figura 104 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Vía a Minca	100
Figura 105 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca	100
Figura 106 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca	101
Figura 107 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Vía a Minca	101

Figura 108 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca	102
Figura 109 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca	102
Figura 110 Diagrama de Carga Axial por Envolverte de Diseño – Puente Vía a Minca	103
Figura 111 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolverte de Diseño - Puente Vía a Minca	103
Figura 112 Diagrama de Momentos Transversales por Envolverte de Diseño - Puente Vía a Minca	103
Figura 113 Comparación de diagramas de momentos por carga viva Puente Vía Minca	104
Figura 114 Comparación de diagramas de cortante por carga viva Puente Vía Minca	105
Figura 115 Comparación de diagramas de momentos por envolverte de diseño Puente Vía Minca	106
Figura 116 Comparación de diagramas de cortante por envolverte de diseño Puente Vía Minca	107
Figura 117 Comparación de espectros de diseño Puente Vía Minca	108
Figura 118 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	109
Figura 119 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	109
Figura 120 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	110
Figura 121 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	110
Figura 122 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	111
Figura 123 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	111
Figura 124 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	112
Figura 125 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	112

Figura 126 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	113
Figura 127 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	113
Figura 128 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	114
Figura 129 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	114
Figura 130 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	115
Figura 131 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	115
Figura 132 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	116
Figura 133 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	116
Figura 134 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	117
Figura 135 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	117
Figura 136 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	118
Figura 137 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	118
Figura 138 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	119
Figura 139 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	119
Figura 140 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	120
Figura 141 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	120

Figura 142 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	121
Figura 143 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	121
Figura 144 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	122
Figura 145 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	122
Figura 146 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	123
Figura 147 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	123
Figura 148 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	124
Figura 149 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	124
Figura 150 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	125
Figura 151 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	125
Figura 152 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	126
Figura 153 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	126
Figura 154 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	127
Figura 155 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	127
Figura 156 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	128
Figura 157 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	128

Figura 158 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	129
Figura 159 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	129
Figura 160 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	130
Figura 161 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	130
Figura 162 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	131
Figura 163 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	131
Figura 164 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	132
Figura 165 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	132
Figura 166 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca	133
Figura 167 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca	133
Figura 168 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca	134
Figura 169 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca	134
Figura 170 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca	135
Figura 171 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca	135
Figura 172 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	136
Figura 173 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	136

Figura 174 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	137
Figura 175 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	137
Figura 176 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	138
Figura 177 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	138
Figura 178 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	139
Figura 179 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	139
Figura 180 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	140
Figura 181 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	141
Figura 182 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	141
Figura 183 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	142
Figura 184 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	142
Figura 185 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	143
Figura 186 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	143
Figura 187 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	144
Figura 188 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	144
Figura 189 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	145

Figura 190 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	145
Figura 191 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	146
Figura 192 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	146
Figura 193 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	147
Figura 194 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	147
Figura 195 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	148
Figura 196 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	148
Figura 197 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	149
Figura 198 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca	149
Figura 199 Número de carriles Puente Bermúdez	152
Figura 200 Espectro de diseño Puente Bermúdez CCDSP-95	153
Figura 201 Esquema 3D - Puente Bermúdez	154
Figura 202 Líneas de carga SAP2000 - Puente Bermúdez	155
Figura 203 Camión C40-95 SAP2000 L=32.5m - Puente Bermúdez	155
Figura 204 Camión C40-95 SAP2000 L=65m - Puente Bermúdez	156
Figura 205 Momento carga viva vehicular - Puente Bermúdez	157
Figura 206 Cortante carga viva vehicular - Puente Bermúdez	157
Figura 207 Momento por envolvente de diseño - Puente Bermúdez	158
Figura 208 Cortante por envolvente de diseño - Puente Bermúdez	158
Figura 209 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Bermúdez	159
Figura 210 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez	160
Figura 211 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez	160

Figura 212 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Bermúdez	161
Figura 213 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez	161
Figura 214 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez	162
Figura 215 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Bermúdez	162
Figura 216 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez	163
Figura 217 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez	163
Figura 218 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Bermúdez	164
Figura 219 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez	165
Figura 220 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez	165
Figura 221 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Bermúdez	166
Figura 222 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez	166
Figura 223 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez	167
Figura 224 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Bermúdez	167
Figura 225 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez	168
Figura 226 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez	168
Figura 227 Número de carriles Puente Bermúdez	170
Figura 228 Espectro de diseño Puente Bermúdez CCP-14	171
Figura 229 Esquema 3D - Puente Bermúdez	172
Figura 230 Líneas de carga 1 y 2 – CCP-14 SAP2000 - Puente Bermúdez	173
Figura 231 Carga de camión CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Bermúdez	174
Figura 232 Carga de tándem CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Bermúdez	174
Figura 233 Carga de dos camiones CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Bermúdez	175
Figura 234 Carga de dos tándem CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Bermúdez	175

Figura 235 Momento carga viva vehicular - Puente Bermúdez	176
Figura 236 Cortante carga viva vehicular - Puente Bermúdez	176
Figura 237 Momento por envolvente de diseño - Puente Bermúdez	177
Figura 238 Cortante por envolvente de diseño - Puente Bermúdez	177
Figura 239 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Bermúdez	178
Figura 240 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez	179
Figura 241 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez	179
Figura 242 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Bermúdez	180
Figura 243 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez	180
Figura 244 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez	181
Figura 245 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Bermúdez	181
Figura 246 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez	182
Figura 247 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez	182
Figura 248 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Bermúdez	183
Figura 249 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez	184
Figura 250 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez	184
Figura 251 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Bermúdez	185
Figura 252 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez	185
Figura 253 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez	186
Figura 254 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Bermúdez	186
Figura 255 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez	187

Figura 256 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez	187
Figura 257 Comparación de diagramas de momentos por carga viva Puente Bermúdez	188
Figura 258 Comparación de diagramas de cortante por carga viva Puente Bermúdez	189
Figura 259 Comparación de diagramas de momentos por envolvente de diseño Puente Bermúdez	190
Figura 260 Comparación de diagramas de cortante por envolvente de diseño Puente Bermúdez	191
Figura 261 Comparación de espectros de diseño Puente Bermúdez	192
Figura 262 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	193
Figura 263 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	193
Figura 264 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	194
Figura 265 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	194
Figura 266 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	195
Figura 267 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	195
Figura 268 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	196
Figura 269 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	196
Figura 270 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	197
Figura 271 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	197
Figura 272 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	198

Figura 273 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	198
Figura 274 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	199
Figura 275 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	199
Figura 276 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	200
Figura 277 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	200
Figura 278 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	201
Figura 279 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	201
Figura 280 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	202
Figura 281 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	202
Figura 282 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	203
Figura 283 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	203
Figura 284 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	204
Figura 285 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	204
Figura 286 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	205
Figura 287 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	205
Figura 288 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	206

Figura 289 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	206
Figura 290 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	207
Figura 291 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	207
Figura 292 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	208
Figura 293 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	208
Figura 294 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	209
Figura 295 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	209
Figura 296 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	210
Figura 297 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	210
Figura 298 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	211
Figura 299 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	211
Figura 300 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	212
Figura 301 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	212
Figura 302 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	213
Figura 303 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	213
Figura 304 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	214

Figura 305 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	214
Figura 306 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	215
Figura 307 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	215
Figura 308 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	216
Figura 309 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	216
Figura 310 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	217
Figura 311 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	217
Figura 312 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	218
Figura 313 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	218
Figura 314 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	219
Figura 315 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	219
Figura 316 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez	220
Figura 317 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez	220
Figura 318 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez	221
Figura 319 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez	221
Figura 320 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez	222

Figura 321 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez	222
Figura 322 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	223
Figura 323 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	223
Figura 324 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	224
Figura 325 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	224
Figura 326 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	225
Figura 327 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	225
Figura 328 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	226
Figura 329 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	226
Figura 330 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	227
Figura 331 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	227
Figura 332 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	228
Figura 333 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	228
Figura 334 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	229
Figura 335 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	229
Figura 336 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Bermúdez	230

Figura 337 Comparación de diagramas de carga axial por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	230
Figura 338 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	231
Figura 339 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	231
Figura 340 Comparación de diagramas de carga axial por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	232
Figura 341 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	232
Figura 342 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	233
Figura 343 Comparación de diagramas de carga axial por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	233
Figura 344 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	234
Figura 345 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	234
Figura 346 Comparación de diagramas de carga axial por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	235
Figura 347 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	235
Figura 348 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	236
Figura 349 Comparación de diagramas de carga axial por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	236
Figura 350 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	237
Figura 351 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolverte de Diseño Puente Bermúdez	237
Figura 352 Número de carriles Puente San Pedro	240
Figura 353 Espectro de diseño Puente San Pedro CCDSP-95	241
Figura 354 Esquema 3D - Puente San Pedro	242

Figura 355 Líneas de carga CSI Bridge - Puente San Pedro	243
Figura 356 Línea de tráfico para cortante C40-95 CSI Bridge L=30m - Puente San Pedro	243
Figura 357 Línea de tráfico para cortante C40-95 CSI Bridge L=45m - Puente San Pedro	244
Figura 358 Línea de tráfico para cortante C40-95 CSI Bridge L=90m - Puente San Pedro	244
Figura 359 Línea de tráfico para momento C40-95 CSI Bridge L=30m - Puente San Pedro	245
Figura 360 Línea de tráfico para momento C40-95 CSI Bridge L=45m - Puente San Pedro	245
Figura 361 Línea de tráfico para momento C40-95 CSI Bridge L=90m - Puente San Pedro	246
Figura 362 Momento carga viva vehicular L=30m - Puente San Pedro	247
Figura 363 Cortante carga viva vehicular L=30m - Puente San Pedro	247
Figura 364 Momento por envolvente de diseño L=30m - Puente San Pedro	248
Figura 365 Cortante por envolvente de diseño L=30m - Puente San Pedro	248
Figura 366 Momento carga viva vehicular – Viga continua - Puente San Pedro	249
Figura 367 Cortante carga viva vehicular – Viga continua - Puente San Pedro	249
Figura 368 Momento por envolvente de diseño – Viga continua - Puente San Pedro	250
Figura 369 Cortante por envolvente de diseño – Viga continua - Puente San Pedro	250
Figura 370 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente San Pedro	251
Figura 371 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro	251
Figura 372 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro	252
Figura 373 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente San Pedro	252
Figura 374 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente San Pedro	253
Figura 375 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente San Pedro	253
Figura 376 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente San Pedro	254

Figura 377 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro	254
Figura 378 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro	255
Figura 379 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente San Pedro	256
Figura 380 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro	256
Figura 381 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro	257
Figura 382 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente San Pedro	257
Figura 383 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente San Pedro	258
Figura 384 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente San Pedro	258
Figura 385 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente San Pedro	259
Figura 386 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro	259
Figura 387 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro	260
Figura 388 Número de carriles Puente San Pedro	262
Figura 389 Espectro de diseño Puente San Pedro CCP-14	263
Figura 390 Esquema 3D - Puente San Pedro	264
Figura 391 Líneas de carga CSI Bridge - Puente San Pedro	265
Figura 392 Carga de camión CC-14 + Carril CSI Bridge - Puente San Pedro	265
Figura 393 Carga de tándem CC-14 + Carril CSI Bridge - Puente San Pedro	266
Figura 394 Carga de dos camiones CC-14 + Carril CSI Bridge - Puente San Pedro	266
Figura 395 Momento carga viva vehicular L=30m - Puente San Pedro	267
Figura 396 Cortante carga viva vehicular L=30m - Puente San Pedro	267
Figura 397 Momento por envolvente de diseño L=30m - Puente San Pedro	268
Figura 398 Cortante por envolvente de diseño L=30m - Puente San Pedro	268
Figura 399 Momento carga viva vehicular Viga continua - Puente San Pedro	269
Figura 400 Cortante carga viva vehicular Viga continua - Puente San Pedro	269
Figura 401 Momento por envolvente de diseño Viga continua - Puente San Pedro	270

Figura 402 Cortante por envolvente de diseño Viga continua - Puente San Pedro	270
Figura 403 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente San Pedro	271
Figura 404 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro	271
Figura 405 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro	272
Figura 406 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente San Pedro	272
Figura 407 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente San Pedro	273
Figura 408 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente San Pedro	273
Figura 409 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente San Pedro	274
Figura 410 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro	274
Figura 411 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro	275
Figura 412 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente San Pedro	276
Figura 413 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro	276
Figura 414 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro	277
Figura 415 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente San Pedro	277
Figura 416 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente San Pedro	278
Figura 417 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente San Pedro	278
Figura 418 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente San Pedro	279
Figura 419 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro	279
Figura 420 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro	280
Figura 421 Comparación de diagramas de momentos por carga viva L=30m Puente San Pedro	281

Figura 422 Comparación de diagramas de cortante por carga viva L=30m Puente San Pedro	282
Figura 423 Comparación de diagramas de momentos por carga viva Viga continua Puente San Pedro	283
Figura 424 Comparación de diagramas de cortante por carga viva Viga continua Puente San Pedro	284
Figura 425 Comparación de diagramas de momentos por envolvente de diseño L=30m Puente San Pedro	285
Figura 426 Comparación de diagramas de cortante por envolvente de diseño L=30m Puente San Pedro	286
Figura 427 Comparación de diagramas de momentos por envolvente de diseño Viga continua Puente San Pedro	287
Figura 428 Comparación de diagramas de cortante por envolvente de diseño Viga continúa Puente San Pedro	288
Figura 429 Comparación de espectros de diseño Puente San Pedro	289
Figura 430 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro	290
Figura 431 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro	290
Figura 432 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro	291
Figura 433 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro	291
Figura 434 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro	292
Figura 435 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro	292
Figura 436 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro	293
Figura 437 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro	293
Figura 438 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro	294

Figura 439 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro	294
Figura 440 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro	295
Figura 441 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro	295
Figura 442 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro	296
Figura 443 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro	296
Figura 444 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro	297
Figura 445 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro	297
Figura 446 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro	298
Figura 447 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro	298
Figura 448 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro	299
Figura 449 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro	299
Figura 450 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro	300
Figura 451 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro	300
Figura 452 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro	301
Figura 453 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro	301
Figura 454 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro	302

Figura 455 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro	302
Figura 456 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro	303
Figura 457 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro	303
Figura 458 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro	304
Figura 459 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro	304
Figura 460 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro	305
Figura 461 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro	305
Figura 462 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro	306
Figura 463 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro	306
Figura 464 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro	307
Figura 465 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro	307
Figura 466 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro	308
Figura 467 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro	308
Figura 468 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro	309
Figura 469 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro	309
Figura 470 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro	310

Figura 471 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro	310
Figura 472 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro	311
Figura 473 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro	311
Figura 474 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro	312
Figura 475 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro	312
Figura 476 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro	313
Figura 477 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro	313
Figura 478 Comparación de diagramas de carga axial por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	314
Figura 479 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	314
Figura 480 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	315
Figura 481 Comparación de diagramas de carga axial por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	315
Figura 482 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	316
Figura 483 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	316
Figura 484 Comparación de diagramas de carga axial por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	317
Figura 485 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	317
Figura 486 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolverte de Diseño Puente San Pedro	318

Figura 487 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente San Pedro	318
Figura 488 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente San Pedro	319
Figura 489 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente San Pedro	319
Figura 490 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente San Pedro	320
Figura 491 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Pedro	320
Figura 492 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Pedro	321
Figura 493 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente San Pedro	321
Figura 494 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Pedro	322
Figura 495 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Pedro	322
Figura 496 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente San Pedro	323
Figura 497 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Pedro	323
Figura 498 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Pedro	324
Figura 499 Comparación de diagramas de carga axial por Envolvente de Diseño Puente San Pedro	324
Figura 500 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envolvente de Diseño Puente Pedro	325
Figura 501 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Pedro	325
Figura 502 Espectros Puente Vía Minca	326
Figura 503 Espectros Puente San Pedro	327
Figura 504 Espectros Puente Bermúdez	328

Figura 505 Porcentaje de variación para momentos por carga viva Puente Minca	329
Figura 506 Porcentaje de variación para cortantes por carga viva Puente Minca	330
Figura 507 Porcentaje de variación para momentos por envolvente de diseño Puente Minca	331
Figura 508 Porcentaje de variación para cortantes por envolvente de diseño Puente Minca	332
Figura 509 Porcentaje de variación para momentos por carga viva Puente San Pedro – Viga Continua	333
Figura 510 Porcentaje de variación para momentos por carga viva Puente San Pedro – Viga simplemente apoyada	333
Figura 511 Porcentaje de variación para cortante por carga viva Puente San Pedro – Viga Continua	334
Figura 512 Porcentaje de variación para cortante por carga viva Puente San Pedro – Viga simplemente apoyada	334
Figura 513 Porcentaje de variación para momentos por envolvente de diseño Puente San Pedro – Viga Continua	335
Figura 514 Porcentaje de variación para momentos por envolvente de diseño Puente San Pedro – Viga simplemente apoyada	336
Figura 515 Porcentaje de variación para cortante por envolvente de diseño Puente San Pedro – Viga Continua	337
Figura 516 Porcentaje de variación para cortante por envolvente de diseño Puente San Pedro – Viga simplemente apoyada	337
Figura 517 Porcentaje de variación para momentos por carga viva Puente Bermúdez	338
Figura 518 Porcentaje de variación para cortante por carga viva Puente Bermúdez	339
Figura 519 Porcentaje de variación para momentos por envolvente de diseño Puente Bermúdez	340
Figura 520 Porcentaje de variación para cortante por envolvente de diseño Puente Bermúdez	340

Introducción

La normativa colombiana en lo referente a puentes, era una adaptación casi literal del código "AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges de 1992". Esta versión del Código de puentes fue presentada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) en el año 1995 mediante el documento conocido como "CÓDIGO COLOMBIANO DE DISEÑO SISMICO DE PUENTES (CCDSP-95)". A finales del 2014 se presentó la nueva normativa para el diseño de puentes mediante convenio del Instituto Nacional de Vías INVIAS y la AIS. Esta nueva normativa se denomina "NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES – LRFD – CCP-14" y fue avalada mediante resolución 108 de enero 26 de 2015 del Ministerio de Transporte (Ref. 3). La norma CCP-14 se basa principalmente en la norma americana "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications" en su sexta edición. Como su nombre lo indica se basa en la utilización de la filosofía de diseño denominada LRFD (Diseño por factores de carga y resistencia, por sus siglas en inglés) en la cual se afectan las cargas actuantes en la estructura y los materiales que conforman las mismas, por factores previamente establecidos mediante procedimientos estadísticos. Es decir, la metodología determinista presente el CCDSP-95 se cambia por una netamente probabilista.

Entre los cambios más importantes en el diseño de puentes bajo la normativa establecida en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14, encontramos el diseño sísmico y la carga viva. Estos temas fueron estudiados concienzudamente, llegando a resultados particulares para nuestro territorio, tales como mapas de zonificación sísmica para cada una de las variables establecidas y camiones de diseño con cargas ajustadas a trenes de carga propios de nuestro medio.

En cuanto al estudio sísmico para los puentes nacionales, la CCP-14 indica: "Los puentes deben diseñarse para que tengan una baja probabilidad de colapso, pero se admite que puedan sufrir daño significativo e interrupción del servicio cuando se sometan a movimientos sísmicos del terreno que tengan el siete por ciento (7%) de probabilidad de ser excedidos en 75 años, equivalente aproximadamente a mil años de período de retorno promedio y puede requerirse un reemplazo parcial o total del puente".

Por otro lado, el CCDSP-95 establece que “Los movimientos sísmicos de diseño están basados en una probabilidad de diez por ciento (10%) de que sean excedidos en un lapso de 50 años, correspondientes a la vida útil de un puente”

Como se puede inferir, las exigencias debido a los efectos sísmicos han aumentado en la CCP-14 con respecto a lo establecido en el CCDSP-95.

En lo referente a la carga viva, se cambia por completo el camión de diseño con respecto al utilizado en el código CCDS-95. En la norma CCP-14 se emplea el mismo camión para todas las longitudes de puentes, mientras que en el CCDSP-95, se establece un tipo de camión para luces menores de 28.0 m y otro tipo de camión para luces mayores. Del mismo modo, el factor de impacto utilizado en la CCP-14 es constante, mientras que en el CCDSP-95 es variable, dependiendo de la luz del puente a analizar.

En el siguiente proyecto se analizarán las diferencias fundamentales, en cuanto a esfuerzos se refiere, de tres puentes con tipología significativa en nuestro territorio. Se analizarán puentes de luces considerables y en diferentes lugares del territorio nacional, con diferentes parámetros geotécnicos, esto con el fin de tener un espectro amplio para ejercer la comparación deseada.

Cabe resaltar que en este proyecto solo se analizarán puentes de concreto de luces continuas, uno reforzado y dos por el sistema de voladizos sucesivos, con un componente de puentes de losa y vigas. No se analizan puentes en acero estructural, ni demás tipologías como son: arcos, puentes atirantados, colgantes, entre otros.

Capítulo I Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar las diferencias fundamentales de puentes de concreto reforzado y postensado en nuestro territorio, con diseños efectuados con el antiguo código de puentes (CCDSP-95) y la norma recientemente adoptada (CCP-14). Esto se realizará mediante el estudio de tres puentes localizados en diferentes zonas del país.

1.2 Objetivos específicos

- Efectuar el análisis sísmico de cada puente por la metodología empleada en la nueva norma CCP-14 y el código anterior, es decir el CCDSP-95.
- Determinar la incidencia del nuevo camión de diseño CC-14 en comparación con el C-40-95 utilizado en la normativa anterior.
- Analizar para cada puente, las combinaciones dadas en cada código.
- Analizar la cimentación de cada puente de acuerdo al estudio geotécnico de cada sitio, aplicando los parámetros establecidos en cada código.
- Analizar la superestructura de cada puente de acuerdo al código respectivo.

Capítulo II Alcance y limitaciones

La tesis de grado “Análisis comparativo para el diseño de tres puentes continuos en diferentes lugares de la geografía nacional, usando el Código CCDSP-95 y la Norma vigente CCP-14” contempla el análisis de la superestructura y la subestructura de los puentes Vía Minca, Bermúdez y San Pedro con las normas descritas.

Para cada puente se introdujeron las cargas muertas y, dependiendo del reglamento a analizar, se incluyeron las fuerzas sísmicas y la carga viva respectiva. De igual forma se tuvieron en cuenta los valores establecidos para los coeficientes de reducción sísmica y los factores de carga y combinaciones de diseño establecidas en cada reglamento.

El proyecto de grado se limitó al análisis de puentes continuos en concreto, uno reforzado y dos por el sistema de voladizos sucesivos, no se analizaron puentes en acero estructural, arcos, puentes atirantados, colgantes, entre otros.

De igual forma, no se analizaron los siguientes elementos: conexiones, dados, estribos, topes sísmicos, neoprenos y placas de aproximación.

Para el desarrollo de la tesis se manejaron dos programas de análisis, SAP2000 y CSIBridge, los cuales pertenecen a Computers and Structures, Inc, por lo cual no se evidencia diferencia en su interface. Los programas utilizados fueron facilitados por la firma JORGE PADILLA INGENIERÍA, los cuales cuentan con la licencia respectiva.

Capítulo III Antecedentes

En Colombia como en la mayoría de los países de América el diseño de puente se ha regido por las especificaciones americanas AASHTO. El primer código de diseño de puentes en nuestro país fue el CODIGO COLOMBIANO DE DISEÑO SISMICO DE PUENTES (CCDSP-95)", el cual estuvo a cargo de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, entidad la cual se encargó de traducir el código "AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges de 1992" y quien posteriormente en convenio con el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías realizó su publicación.

Con el paso del tiempo la metodología de diseño de puentes fue cambiando, dado que inicialmente la única filosofía de diseño era el "diseño por esfuerzos de trabajo", posteriormente se dio lugar a la filosofía denominada "factores de carga".

Adicionalmente en el país fue cambiando la tipología de vehículos y se incrementó el tránsito vehicular, lo cual generó la necesidad de una actualización del código de diseño de puentes.

Fue por ello que el Instituto Nacional de Vías INVIAS encargó a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica la actualización del código CCDSP-95; como resultado se obtuvo la "NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES – LRFD – CCP-14" basada en las especificaciones "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications" 6ª edición (2012) y "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications" 7ª edición (2014). Como cambios relevantes se presenta la actualización de los mapas de amenaza sísmica y la calibración de la carga viva vehicular de diseño.

Capítulo IV Metodología

Inicialmente se escogieron tres proyectos a desarrollar en el territorio nacional, de tal forma que se abarcaran las tres zonas de amenaza sísmica del país. Para los proyectos escogidos, se contó con la valiosa colaboración de la firma Jorge Padilla Ingeniería, la cual aportó información fundamental en cuanto a geometrías, implantaciones y otros aspectos relevantes. Con esta información, y los datos geotécnicos de cada proyecto se recopiló la información necesaria para llevar a cabo los análisis respectivos.

Con los datos de entrada necesarios, se realizaron los modelos matemáticos, en los cuales se idealizaron las condiciones bajo las cuales iba a estar sometido cada puente. Se incluyeron cargas muertas, vivas y fuerzas de sismo de acuerdo a cada uno de los reglamentos analizados, así como factores de cargas y combinaciones de diseño.

Posteriormente se obtuvieron los esfuerzos en vigas, columnas y pilotes arrojados bajo las acciones de los Códigos CCDSP-95 y CCP-14. Estos valores fueron comparados y representados en gráficas que permitieron concluir de manera precisa los dos comportamientos estudiados.

Capítulo V Disposiciones del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes – CCDSP-95

5.1 Cargas

5.1.1 Combinaciones y factores de carga

Tabla 1 Combinaciones y Factores de Carga (CCDSP-95 Tabla A3.12-1).

Columna No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GRUPO	γ	FACTOR β										
		D	L+I	CF	E	B	SF	W	WL	LF	R+S+	EQ
I	1.3	β_D	1.67	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0
IA	1.3	β_D	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IB	1.3	β_D	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0
II	1.3	β_D	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0
III	1.3	β_D	1	1	β_E	1	1	0.3	1	1	0	0
IV	1.3	β_D	1	1	β_E	1	1	0	0	0	1	0
V	1.25	β_D	0	0	β_E	1	1	1	0	0	1	0
VI	1.25	β_D	1	1	β_E	1	1	0.3	1	1	1	0
VII	1.0	Bd*	0	0	Be*	1	1	0	0	0	0	1*
VIII	1.3	β_D	1	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0
IX	1.2	β_D	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0
X	1.3	1	1.67	0	β_E	0	0	0	0	0	0	0

5.1.2 Carga Viva

La carga viva es el peso de las cargas móviles aplicadas de los vehículos y peatones de acuerdo con la Sección A.3.4 del código CCDSP-95.

5.1.2.1 Carga viva vehicular

La carga viva para puentes de carreteras está conformada por camiones estándar o líneas de carga que son equivalentes a trenes de camiones.

Hay dos clases de cargas de carretera: C 40-95 y C 32-95. La carga C 32-95 es el 80% de la carga C 40-95.

El peso y el espaciamiento de los ejes y de las ruedas para el camión estándar deben ser como se especifica en la Figura 1.

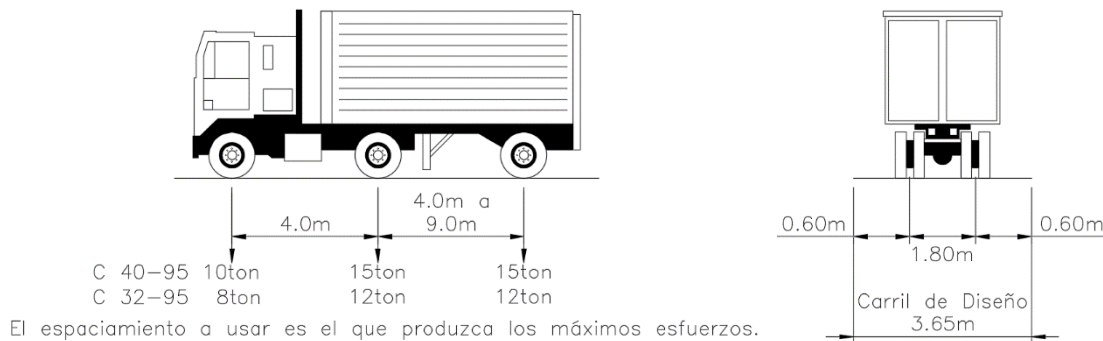
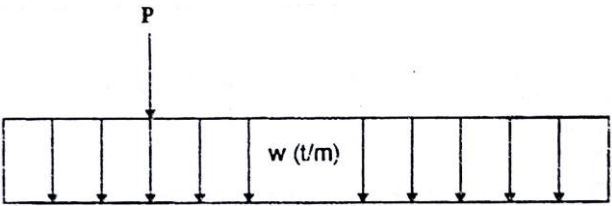


Figura 1 Camión estándar definido en CCDSP-95 (Sección A.3.4.2.1).

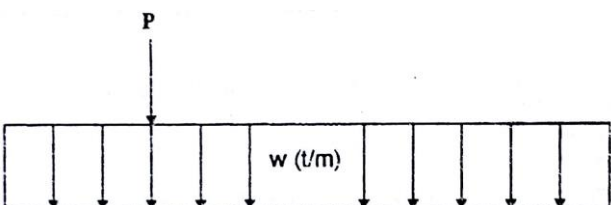
Los puentes ubicados en las vías que forman parte de la Red Nacional de Carreteras, deben diseñarse para la carga C 40-95.

Cada línea de carga consiste de una carga uniforme por metro lineal de carril y una carga concentrada (o adicionando otra carga concentrada en otra de las luces en el caso de luces continuas, según el numeral A.3.4.6.3) colocadas de tal manera que produzca los máximos esfuerzos de momento negativo. Se supone que, tanto la carga concentrada como la uniforme se distribuyen en un ancho de 3.05 m sobre una línea perpendicular al carril. Para

el cálculo de momentos y cortantes deben usarse diferentes cargas concentradas, como se indica en la Figura 2. La carga concentrada más liviana debe usarse cuando se calculen esfuerzos de flexión y la más pesada cuando los esfuerzos a calcular son de cortante.



LUZ	CARGA
Momento:	
$L < 28.0$	Camión $P = 12.0t$
$28.0 \leq L < 100$	Carril $w = 1.50 - \frac{L - 28}{200}$ $P = 12.0t$
$L > 100$	Carril $w = 1.14$ t/m $P = 12.0t$
Cortante:	
$L < 24.0$	Camión $P = 16.0t$
$24.0 \leq L < 134$	Carril $w = 1.50 - \frac{L - 24}{300}$ $P = 16.0t$
$L \geq 134$	Carril $w = 1.14$ t/m $P = 16.0t$
C 40 - 95	



LUZ	CARGA
Momento:	
$L < 28.0$	Camión $P = 9.6$ t
$28.0 \leq L < 100$	Carril $w = 1.20 - \frac{L - 28}{200}$ $P = 9.6$ t
$L > 100$	Carril $w = 0.912$ t/m $P = 9.6$ t
Cortante:	
$L < 24.0$	Camión $P = 12.8$ t
$24.0 \leq L < 134$	Carril $w = 1.20 - \frac{L - 24}{300}$ $P = 12.8$ t
$L \geq 134$	Carril $w = 0.912$ t/m $P = 12.8$ t
C 32 - 95	

Figura 2 Carga de carril CCDSP-95 (Numeral A3.4.2).

5.1.2.2 Impacto

La carga viva de los vehículos debe incrementarse para aquellos elementos estructurales indicados en el grupo A, para tener en cuenta los efectos dinámicos, vibratorios y de impacto. Se permite que el impacto no se aplique a los elementos del grupo B.

El impacto se incluye como una de las cargas transmitidas de la superestructura a la infraestructura, pero no debe aplicarse en las cargas transmitidas a cimientos o a las partes de pilas o columnas que están enterradas.

- **Grupo A.** Elementos estructurales sobre los que se aplica impacto.
 - 1) Superestructura, incluyendo brazos de marcos rígidos.
 - 2) Pilas (con o sin apoyos de cualquier tipo) excluyendo los cimientos y las partes enterradas.
 - 3) Las partes de los pilotes de concreto o acero que están por encima del terreno y que soportan la superestructura.
- **Grupo B.** Elementos estructurales sobre los que no se aplica el impacto.
 - 1) Estribos, muros de contención y pilotes, excepto lo especificado en el numeral A.3.4.3.1.1 (3).
 - 2) Esfuerzos en las cimentaciones y zapatas.
 - 3) Estructuras de madera.
 - 4) Cargas de los andenes.
 - 5) Alcantarillas y estructuras sobre las que existe un relleno de más de 1.0 m de altura.

El incremento permitido por efecto del impacto se expresa como un porcentaje del esfuerzo de la carga viva y debe incrementarse de acuerdo a la siguiente formula:

$$I = \frac{16}{L + 40} \leq 0.30$$

5.1.2.3 Reducción de la intensidad de las cargas

Cuando los esfuerzos máximos en cualquier miembro provienen de haber cargado un número de carriles simultáneamente, los siguientes porcentajes de carga viva deben usarse teniendo en cuenta la baja probabilidad de la coincidencia de cargas máximas:

Tabla 2 Reducción de la intensidad de las cargas (CCDSP-95 Numeral A3.4.7).

	Porcentaje
Uno o dos carriles	100
Tres carriles	90
Cuatro carriles o mas	75

5.1.3 Efectos sísmicos – EQ

El efecto sísmico como uno de los aspectos principales de diseño ha recibido especial consideración en el planteamiento de las soluciones estructurales.

5.1.3.1 Coeficiente elástico de respuesta sísmica

El espectro suavizado de diseño, expresado como una fracción de la gravedad está dado por la siguiente ecuación:

$$S_{am} = \frac{1.2AS}{T_m^{2/3}} \leq 2.5A$$

Para perfiles de suelo S_3 y S_4 en zonas donde $A \geq 0.30$, el espectro está definido como:

$$S_{am} = \frac{1.2AS}{T_m^{2/3}} \leq 2.0A$$

Para perfiles de suelo S_3 y S_4 , para modos de vibración diferentes del fundamental cuyo periodo de vibración es menor de 0.30 segundos, el valor de S_{am} se puede obtener de:

$$S_{am} = A(0.80 + 4.0T_m)$$

Para estructuras en las cuales cualquier periodo de vibración T_m excede 4.0 segundos, el valor de S_{am} puede obtenerse de:

$$S_{am} = \frac{3AS}{T_m^{4/3}} \geq \frac{AS}{3}$$

5.1.3.2 Coeficientes de modificación de respuesta

Las fuerzas sísmicas de diseño para cada elemento estructural individual y sus conexiones se determinan dividiendo las fuerzas elásticas por el coeficiente de modificación de respuesta, R, apropiado. El coeficiente de modificación de respuesta, R, debe utilizarse en las dos direcciones horizontales ortogonales de la subestructura. Los coeficientes de modificación de respuesta R, están definidos en la siguiente tabla:

Tabla 3 Factores de modificación de respuesta – subestructuras (CCDSP-95 Numeral A3.5.3.3).

Subestructura	R
Pila tipo muro ⁽¹⁾	2
Viga cabezal de concreto reforzado sobre pilotes	
(a) Sobre pilotes verticales unicamente	3
(b) Con uno o más pilotes inclinados	2
Columnas solas	3
Viga cabezal de acero o acero compuesto con concreto	
(a) Sobre pilotes verticales unicamente	5
(b) Con uno o más pilotes inclinados	3
Pórtico con dos o mas columnas	5

⁽¹⁾ Una pila tipo muro puede diseñarse como una columna en la dirección de la menor inercia de la pila siempre y cuando se cumplan todos los requisitos sísmicos de columna, en ese caso puede utilizarse el coeficiente R de columnas solas.

Para el diseño de la cimentación se debe utilizar un factor de modificación de respuesta, R, igual a 1, de acuerdo al numeral A.3.5.13.1.

Capítulo VI Disposiciones de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14

6.1 Cargas

6.1.1 Cargas permanentes

CR = fuerzas debidas al flujo plástico

DD = fuerza de fricción negativa

DC = peso propio de los componentes estructurales y de los accesorios no estructurales

DW = peso propio carpeta de rodamiento y de las instalaciones

EH = empuje horizontal del suelo

EL = fuerzas misceláneas resultantes del proceso de construcción, incluyendo el izaje de voladizos en construcción por segmentos

ES = sobrecarga de suelo

EV = presión vertical del peso propio del suelo de relleno

PS = fuerzas secundarias debidas a pretensado

SH = fuerzas debidas a la retracción

6.1.2 Cargas transitorias

BL = carga de explosión

BR = fuerza de frenado vehicular

CE = fuerza centrífuga vehicular

CT = fuerza de colisión vehicular

CV = fuerza de colisión de embarcaciones

EQ = carga sísmica

FR = carga de fricción

IC = carga de hielo

IM = incremento de carga dinámica vehicular

LL = carga viva vehicular

LS = sobrecarga de carga viva

PL = carga viva peatonal

SE = fuerzas debidas a asentamiento

TG = fuerzas debidas a gradiente de temperatura

TU = fuerza debida a temperatura uniforme

WA = carga de agua y presión de la corriente

WL = carga de viento sobre la carga viva

WS = carga de viento sobre la estructura

6.1.3 Combinaciones y factores de carga

Tabla 4 Combinaciones y Factores de Carga (CCP-14 Tabla 3.4.1-1).

Estado Límite de la Combinación de carga	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use uno de estos a la vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (a menos que se indique)	γ_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia II	γ_p	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia III	γ_p	-	1.00	1.40 0	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia IV	γ_p	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia V	γ_p	1.35	1.00	0.40 0	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Evento Extremo I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-
Evento Extremo II	γ_p	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.30 0	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{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	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.70 0	-	1.00	1.00/1.20	-	1.0	-	-	-	-	-
Fatiga I- Sólo LL, IM & CE	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fatiga II- Sólo LL, IM & CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 5 Factores para cargas permanentes (CCP-14 Tabla 3.4.1-2).

Tipo de Carga, tipo de Cimentación, y Método para Calcular la fricción negativa	Factor de Carga		
	Máximo	Mínimo	
<i>DC</i> : Componentes y Accesorios	1.25	0.90	
<i>DC</i> : Sólo Resistencia IV	1.50	0.90	
<i>DD</i> : Fricción negativa	Pilas, Método α Tomlinson	1.4	0.25
	Pilas, Método λ	1.05	0.30
	Pozos perforados, Método O'Neill and Reese (1999)	1.25	0.35
<i>DW</i> : Superficie de rodadura e instalaciones	1.50	0.65	
<i>EH</i> : Presión horizontal de suelo			
• Activa	1.50	0.90	
• En reposo	1.35	0.90	
• <i>AEP</i> para muros anclados	1.35	N/A	
<i>EL</i> : Tensiones residuales de Construcción	1.00	1.00	
<i>EV</i> : Presión vertical de suelo			
• Estabilidad general	1.00	N/A	
• Muros de Contención y Estribos	1.35	1.00	
• Estructuras Rígidas Enterradas	1.30	0.90	
• Marcos Rígidos	1.35	0.90	
• Estructuras Flexibles Enterradas			
o Alcantarillas Metálicas y Alcantarillas Armadas Estructurales Corrugas Profundas	1.5	0.9	
o Alcantarillas Termoplásticas	1.3	0.9	
o Todas las demás	1.95	0.9	
<i>ES</i> : Sobrecarga de suelo	1.50	0.75	

6.1.4 Carga Viva LL

Se considera una carga gravitacional denotada como LL de acuerdo con el Numeral 3.6.1 de la norma CCP-14.

6.1.4.1 Carga viva vehicular - LL

La carga viva vehicular en las calzadas del puente o en estructuras incidentales, designada como CC-14, debe consistir en una combinación de:

- Camión o tándem de diseño
- Carga de carril de diseño.

Cada carril de diseño bajo consideración debe estar ocupado por el camión o por el tándem de diseño, coincidente con la carga de carril, donde sea aplicable.

El peso y el espaciamiento de los ejes y de las ruedas para el camión de diseño deben ser como se especifica en la Figura 3, se debe considerar una asignación de carga dinámica como se especifica en el Artículo 3.6.2 del CCP-14.

La carga de carril de diseño debe consistir en una carga de 10.3 kN/m uniformemente distribuida en la dirección longitudinal. Transversalmente, la carga de carril de diseño debe suponerse uniformemente distribuida sobre un ancho de 3.0 m.

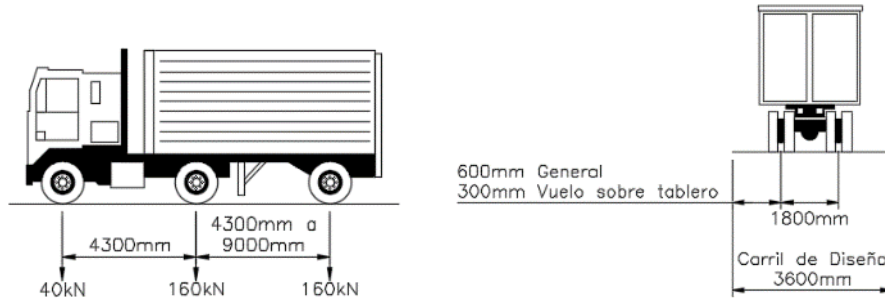


Figura 3 Camión de diseño definido en CCP-14 (Numeral 3.6.1.2.2).

El peso y el espaciamiento de los ejes y de las ruedas para el tándem de diseño deben ser como se especifica en la Figura 4 y al igual que el camión se debe considerar una asignación de carga dinámica como se especifica.

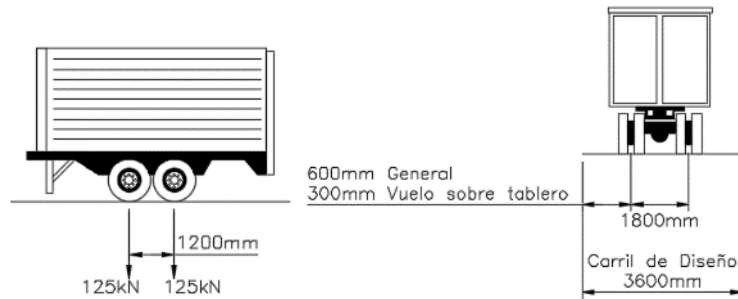


Figura 4 Tándem de diseño definido en CCP-14 (Numeral 3.6.1.2.3).

6.1.4.2 Aplicación de la carga viva vehicular de diseño

De acuerdo al numeral 3.6.1.3.1 de la norma CCP-14 el efecto extremo generado por la carga viva vehicular se debe tomar como el mayor de:

- El efecto del tándem de diseño combinado con el efecto de la carga de carril de diseño, o
- El efecto de un camión de diseño con el espaciamiento entre ejes especificado en el artículo 3.6.1.2.2, combinado con el efecto de la carga de carril de diseño, y
- Para momento negativo entre puntos de inflexión bajo carga uniforme en todos los vanos, y reacción solamente en apoyos internos, se deben usar el mayor entre el: a) 100 por ciento del efecto de dos camiones de diseño espaciados mínimo 15000 mm entre el primer eje de un camión y el eje trasero del otro camión, combinado con el 100 por ciento de la carga de carril de diseño. b) 100 por ciento del efecto de dos tándem espaciados entre 8000 mm y 12000 mm entre el primer eje de un tándem y el eje trasero del otro tándem, combinado con el 100 por ciento del efecto de la carga de carril de diseño. La distancia entre los ejes de 160 KN de cada camión debe tomarse como 4300 mm. Los dos camiones o dos tándem de diseño deben colocarse en vanos adyacentes para producir la máxima fuerza.

6.1.4.3 Amplificación de la carga dinámica - *IM*

Los efectos dinámicos del camión o tándem de diseño, diferentes a las fuerzas centrífugas y de frenado, deben incrementarse por el porcentaje de la Tabla 6.

Tabla 6 Amplificación por carga dinámica (CCP-14 Numeral 3.6.2).

Componente	<i>IM</i>
Juntas del tablero - Todos los Estados Límites	75%
Todos los demás componentes	
• Estado Límite de fatiga y fractura	15%
• Todos los demás Estados Límites	33%

6.1.4.4 Presencia de múltiples sobrecargas - *m*

La solicitud extrema correspondiente a sobrecarga se determina considerando cada una de las posibles combinaciones de número de carriles cargados, multiplicando por un factor de presencia múltiple correspondiente para tomar en cuenta la probabilidad de que los carriles estén ocupados simultáneamente por la totalidad de la sobrecarga de diseño CC-14. Los valores a adoptar se toman de la Tabla 7 donde:

Tabla 7 Factor de presencia múltiple (CCP-14 Numeral 3.6.1.1.2).

Número de carriles cargados	Factor de presencia múltiple, <i>m</i>
1	1,20
2	1,00
3	0,85
> 3	0,65

6.1.5 Efectos sísmicos – EQ

El efecto sísmico como uno de los aspectos principales de diseño ha recibido especial consideración en el planteamiento de las soluciones estructurales.

6.1.5.1 Coeficiente elástico de respuesta sísmica

El coeficiente elástico de respuesta sísmica C_{sm} o S_{DS} , es calculado de acuerdo a lo establecido en el CCP-14 (Numeral 3.10.4.2) así:

$$C_{sm} = A_s + (S_{DS} - A_s) \left(\frac{T_m}{T_0} \right) \text{ donde } A_s = F_{pga} * PGA$$

Ecuación coeficiente elástico (C_{sm}) para periodos menores o iguales que T_0

$$C_{sm} = S_{DS} = F_a * S_s$$

Ecuación coeficiente elástico (C_{sm}) para periodos mayores T_0 y menores o iguales a T_s

$$C_{sm} = \left(\frac{S_{D1}}{T_m} \right) \tag{VI.1}$$

Ecuación coeficiente elástico (C_{sm}) para periodos mayores a T_s

Donde PGA, S_s y S_1 son respectivamente el coeficiente de aceleración pico del terreno en roca, el coeficiente de aceleración espectral de respuesta horizontal $T=0.2\text{seg}$ y el coeficiente de aceleración espectral de respuesta horizontal $T=1.0\text{seg}$. La siguiente figura ilustra el espectro de aceleraciones de diseño (CCP-14)

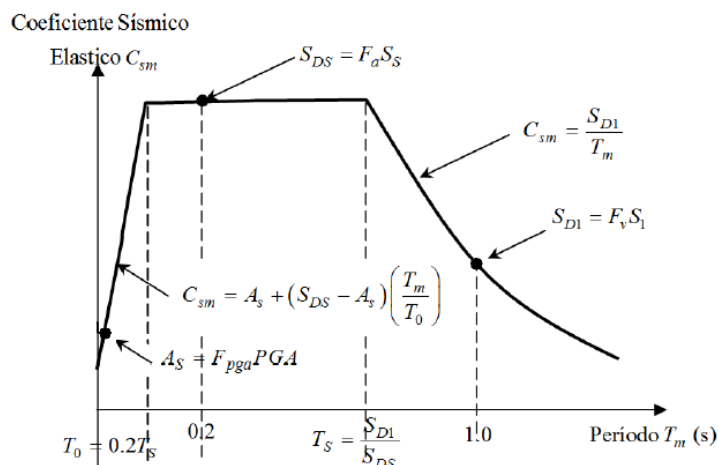


Figura 5 Espectro de Aceleraciones de Diseño CCP-14 (Numeral 3.10.4.1)

6.1.5.2 Factores de modificación de respuesta - R

Las fuerzas de diseño para la subestructura se deben determinar dividiendo las fuerzas del análisis elástico del puente por el factor de modificación de respuesta, R.

El factor de modificación de respuesta, R, se obtiene de la tabla 3.10.7.1-1 del CCP- 14.

Tabla 8 Factores de modificación de respuesta – subestructuras (CCP-14 Numeral 3.10.7.1).

Subestructura	Categoría Operacional		
	Crítica	Esencial	Otra
Pilares tipo muro-dimensión mayor	1.5	1.5	2.0
Pórticos de concreto reforzado			
• Pilas verticales únicamente	1.5	2.0	3.0
• Con pilas inclinadas	1.5	1.5	2.0
Columnas solas	1.5	2.0	3.0
Pórticos de acero o compuestos hacer/concreto			
• Pilas verticales únicamente	1.5	3.5	5.0
• Con pilas inclinadas	1.5	2.0	3.0
Pórticos con múltiples columnas	1.5	3.5	5.0

Para el diseño de la cimentación se debe utilizar un factor de modificación de respuesta, R, igual a 1, de acuerdo al numeral 3.10.9.4.2.

Capítulo VII Estructuras a analizar

Se analizarán tres puentes en diferentes zonas del territorio Nacional, con suelos diferentes y tipologías igualmente disimiles. Aunque los tres se podrían catalogar como puentes importantes, es decir, de una envergadura considerable en el territorio Nacional. A continuación, se efectúa una breve descripción de estos:

7.1 Puente Vía a Minca

El Puente Vía a Minca hace parte de la Intersección vehicular que se localiza a la altura del Barrio 11 de noviembre en la ciudad de Santa Marta (zona de riesgo sísmico bajo), y se ubica en la Transversal 62 comunicando la Ciudad de Santa Marta con el Municipio de Minca.

Consta de una viga cajón, de 1.60 m de altura y 9.25 m de ancho, en concreto reforzado, continua de 4 luces comprendidas entre 24.0 m y 32.0 m, con un alineamiento curvo en planta, apoyado sobre pilas de altura variable y sección semicircular de 2.40 m x 1.20 m.

Los terraplenes del puente estarán constituidos por un relleno en tierra mecánicamente estabilizada con una altura aproximada de 6.50 m. En estas zonas el puente se apoyará mediante una viga cabezal apoyada a su vez en dos columnas de 1.0 m x 1.0 m.

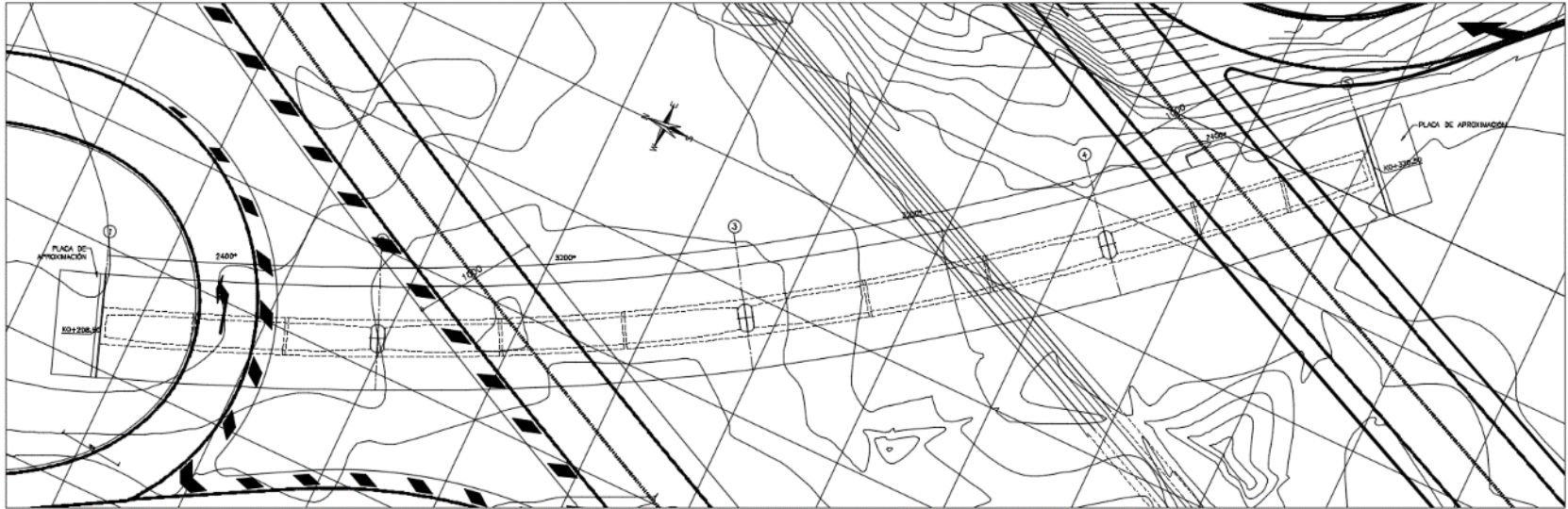


Figura 6 Planta Puente Vía a Minca

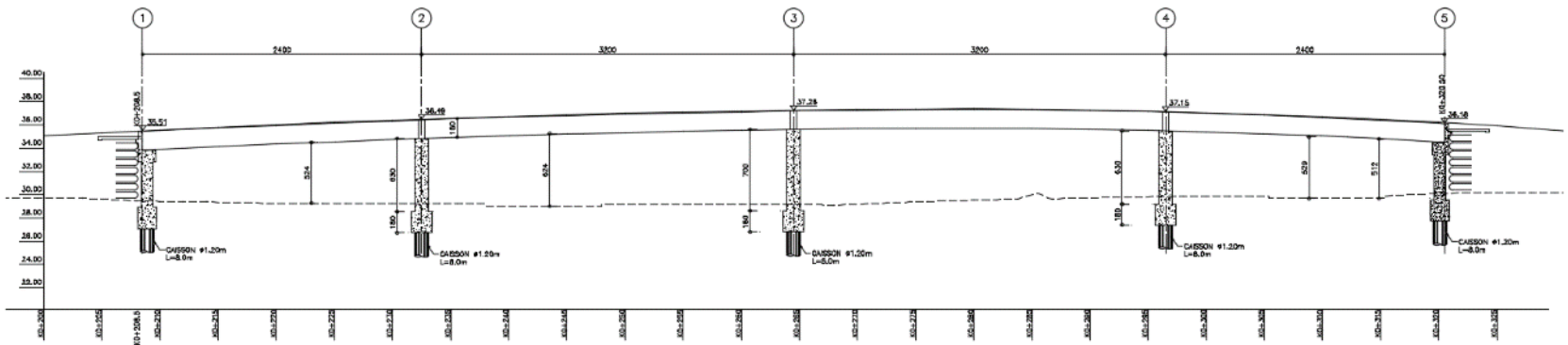


Figura 7 Perfil Puente Vía a Minca

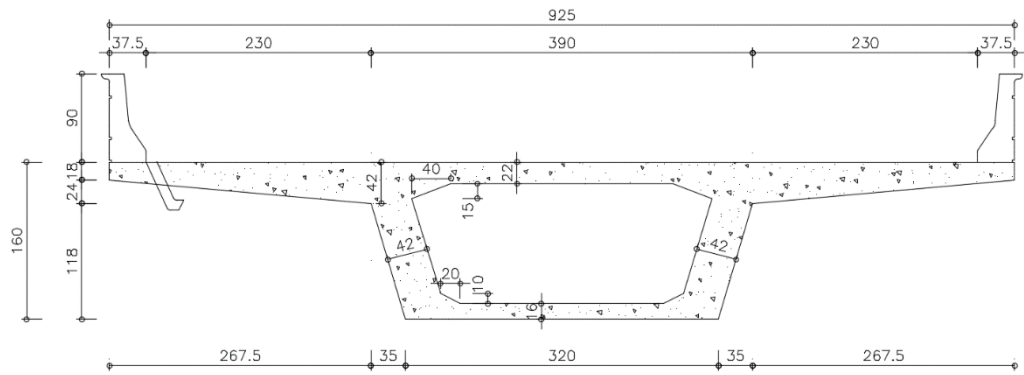


Figura 8 Sección transversal típica – Puente Vía a Minca

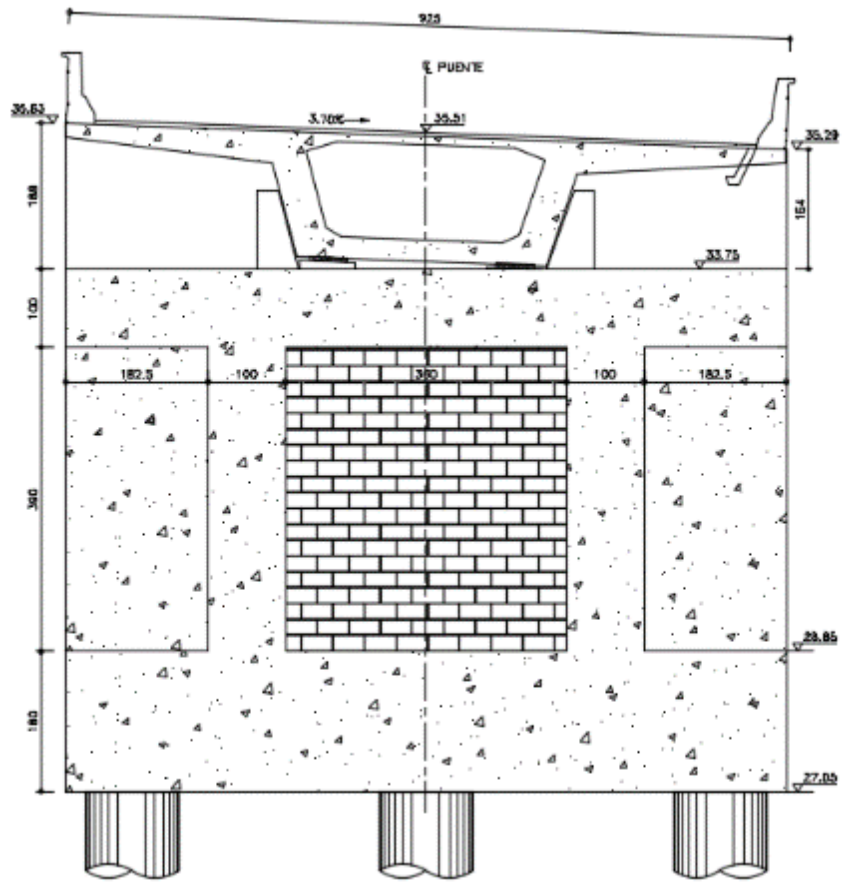


Figura 9 Geometría apoyo eje 1 – Puente Vía a Minca

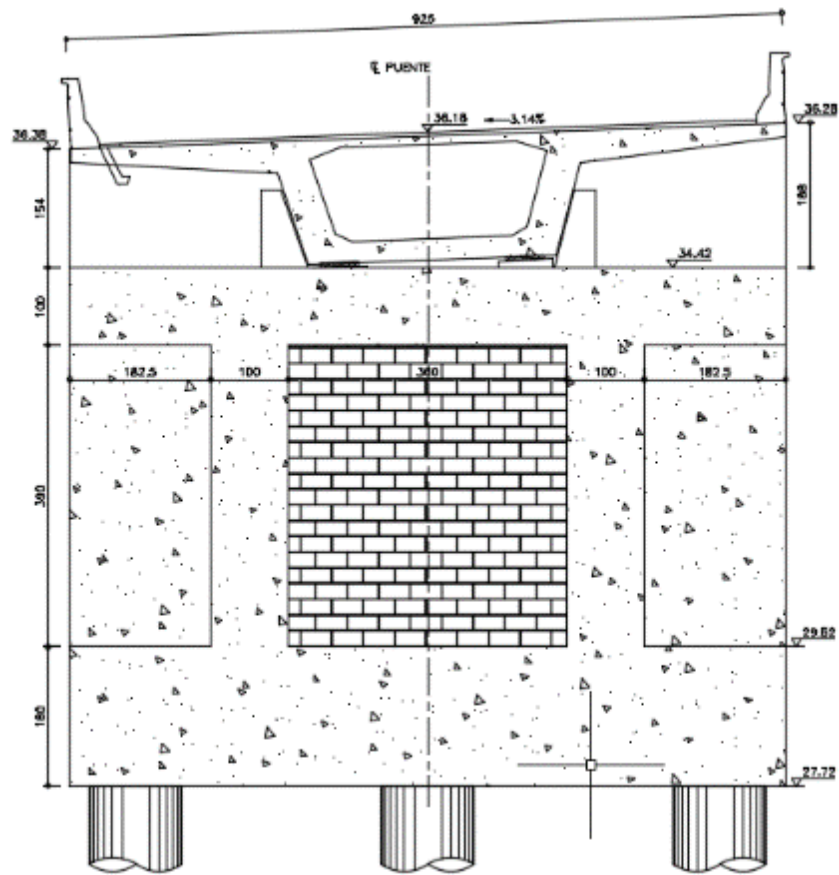


Figura 10 Geometría apoyo eje 5 – Puente Vía a Minca

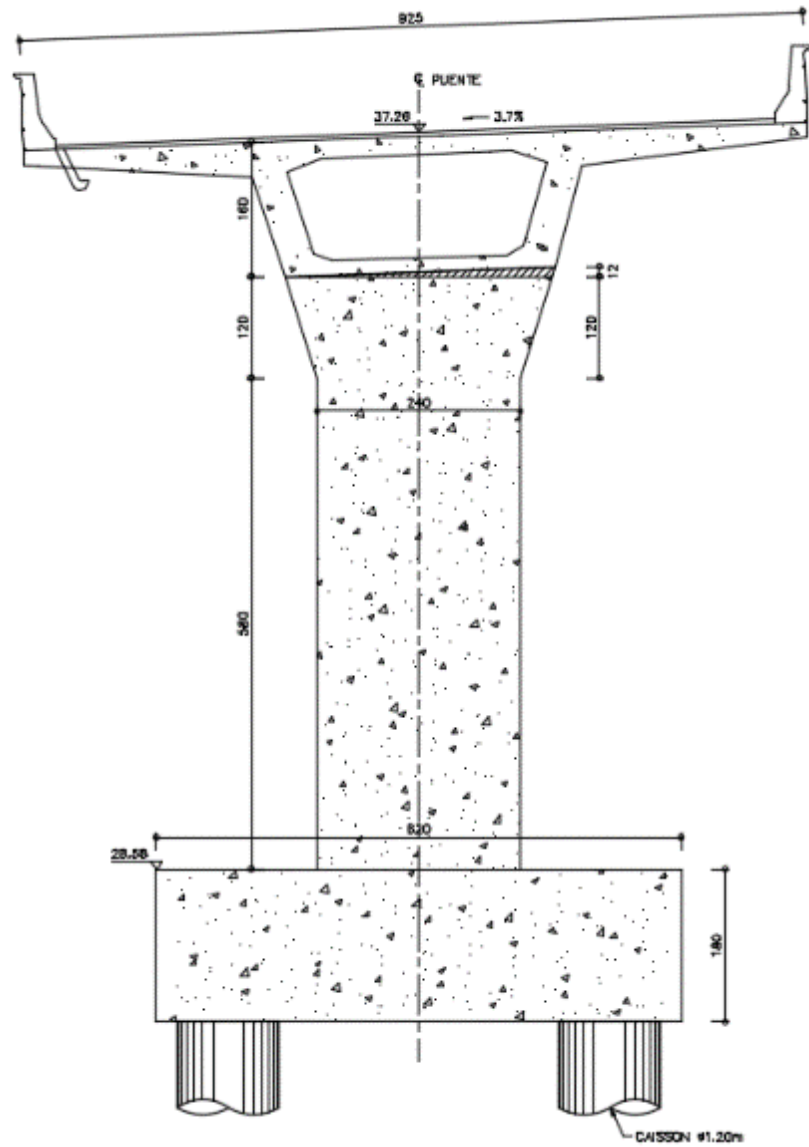


Figura 11 Geometría apoyo eje 3 – Puente Vía a Minca

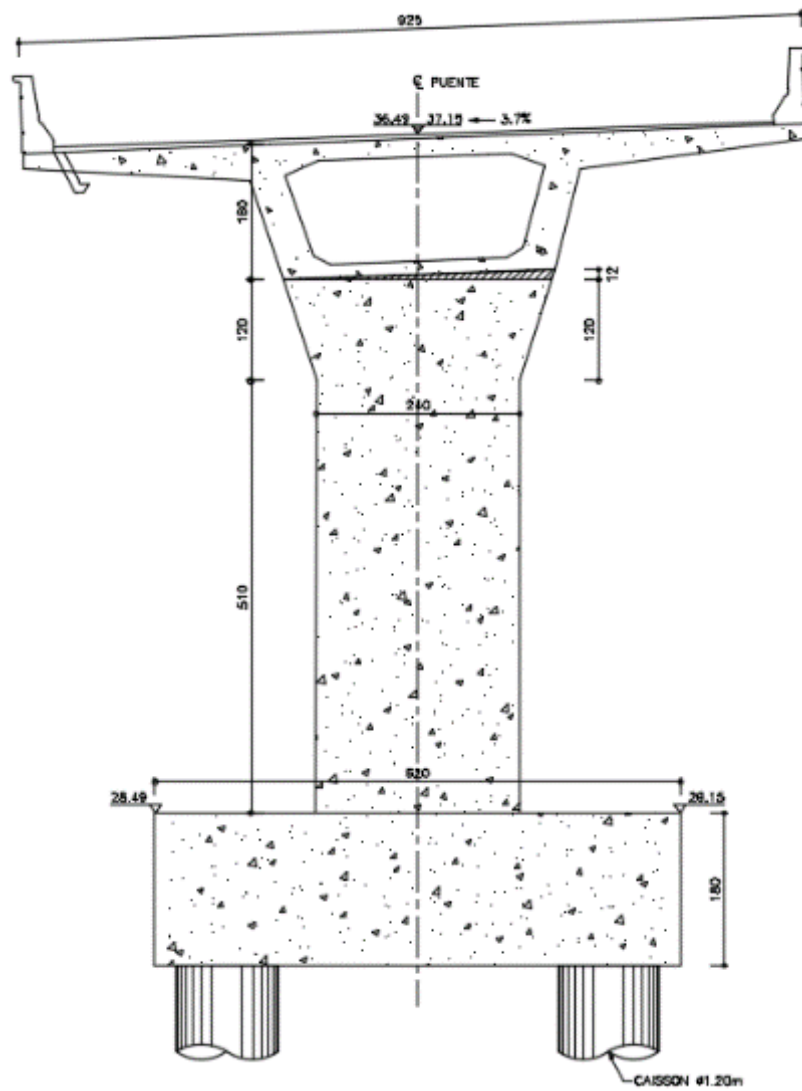


Figura 12 Geometría apoyos ejes 2 y 4 – Puente Vía a Minca

7.1.1 Materiales

Las características de los materiales empleados en el diseño se resumen a continuación:

- **Concreto**

Viga cajón principal $f'c=350 \text{ kgf/cm}^2$ (35.0 MPa.)

Vigas cabezal y columnas: $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ (28.0 MPa.)

Cimentación y demás elementos: $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ (21.0 MPa)

Concreto de limpieza: $f'c=140 \text{ kgf/cm}^2$ (14.0 MPa)

Peso unitario: $\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$

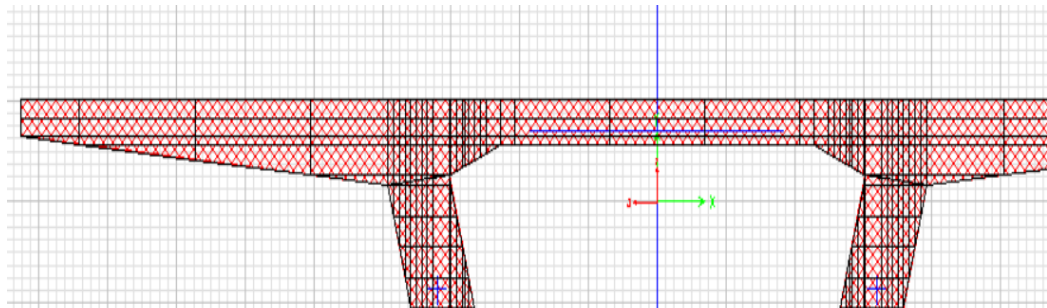
Módulo de elasticidad: $E_c (f'c) = 12500\sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

- **Acero de Refuerzo**

$f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$:

NTC 2289 Todo el acero de refuerzo

7.1.2 Propiedades de la viga



Properties

Base Material

Xcg

Ycg

Axis Angle >>

A	4.1982
J	2.4127
I33	1.1717
I22	21.2887
I23	-2.121E-04
AS2	1.6398
AS3	3.0221
S33(+face)	2.3096
S33(-face)	1.0723
S22(+face)	4.5908
S22(-face)	4.5907
Z33	1.6537
Z22	8.2219
r33	0.5283
r22	2.2519
d33pna	0.2747
d22pna	1.593E-04

OK

Figura 13 Geometría típica viga cajón continua - Puente Vía a Minca

7.1.3 Propiedades de las columnas

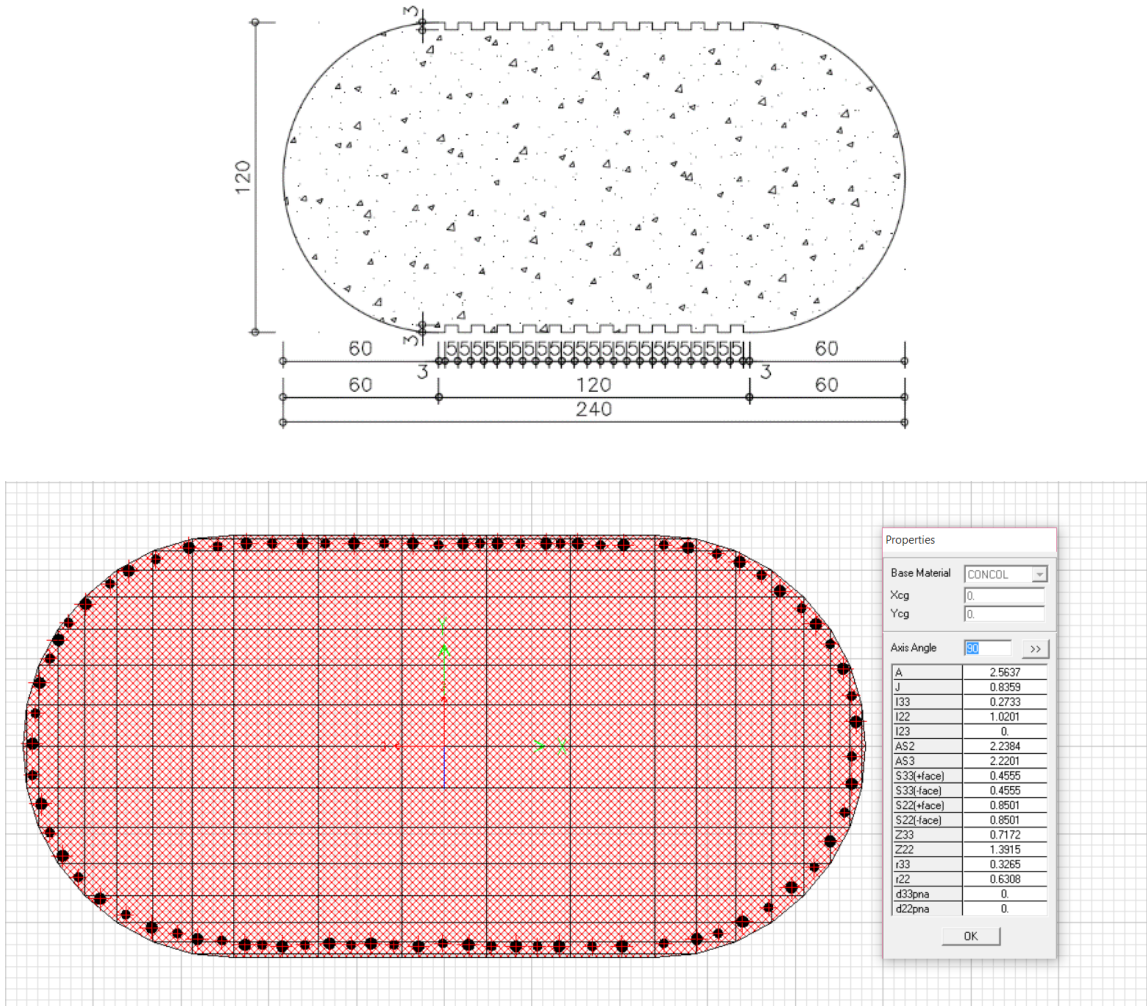


Figura 14 Geometría típica columnas - Puente Vía a Minca

7.2 Puente Bermúdez

Este puente hace parte de la concesión Pasto –Rumichaca (zona de riesgo sísmico alto).

La sección vial está conformada por dos calzadas. La solución estructural adoptada corresponde a un puente de 130 m de longitud por el sistema de voladizos sucesivos, con luz central de 65m y dos luces laterales de 32.5m. El diseño vial contempla una estructura de alineamiento recto en planta y con pendiente longitudinal del -2.0%.

La superestructura está conformada por una sección cajón de altura variable entre 3.42m y 2.00m. El ancho de la base del cajón es constante, de 5.0m. El ancho del tablero es de 9.58m, e incluye en un costado un andén de 0.70 m de ancho con su baranda combinada, y barrera de tráfico en el otro costado.

La infraestructura está conformada por 2 apoyos intermedios y 2 apoyos extremos. Los apoyos extremos corresponden a un sistema de pilotes vinculados en el extremo superior por una viga cabezal que recibe las cargas de superestructura.

Los apoyos intermedios están conformados por la viga cajón continua, a través de la dovela de arranque, con una columna de sección cajón. Cada uno de los apoyos esta soportado por una zapata apoyada sobre 4 pilotes.

La transmisión de las fuerzas sísmicas de la superestructura a la infraestructura se realizará por medio del sistema de continuidad dovela – columna en el puente de voladizos.

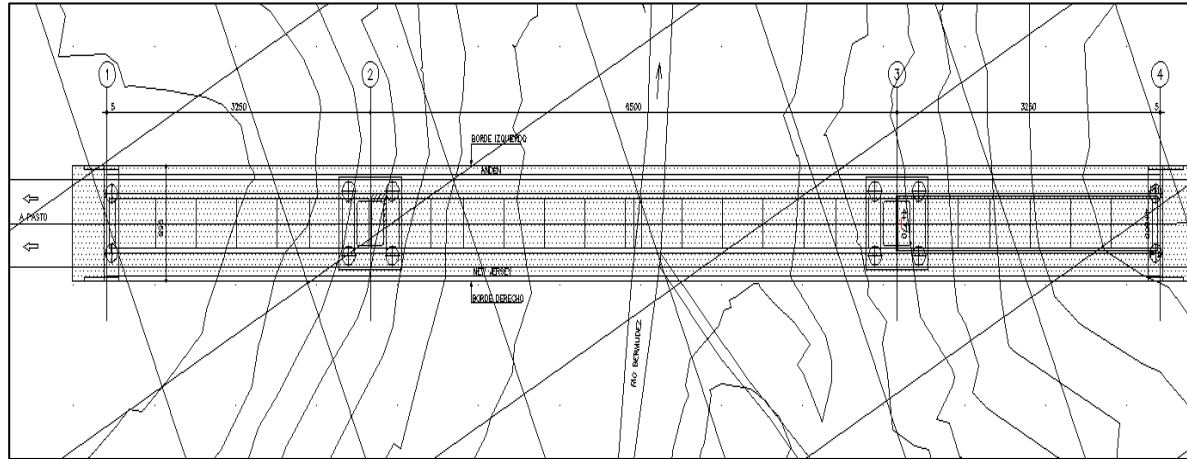


Figura 15 Planta tablero Puente Bermúdez

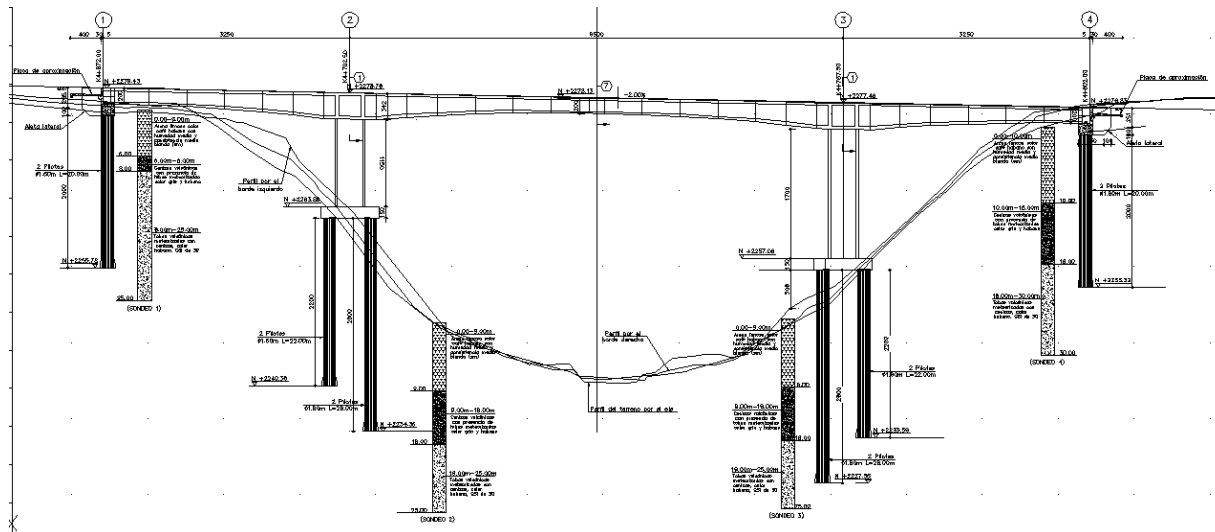


Figura 16 Perfil Puente Bermúdez

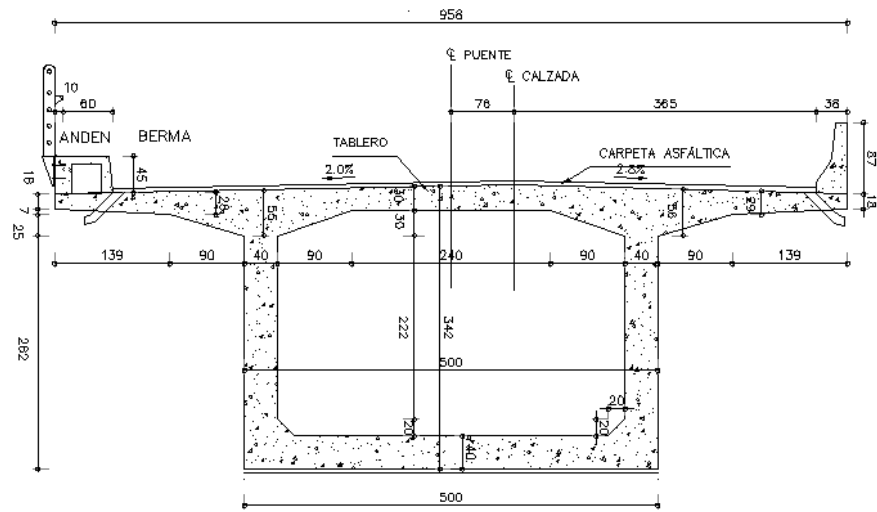


Figura 17 Sección transversal sobre pila - Puente Bermúdez

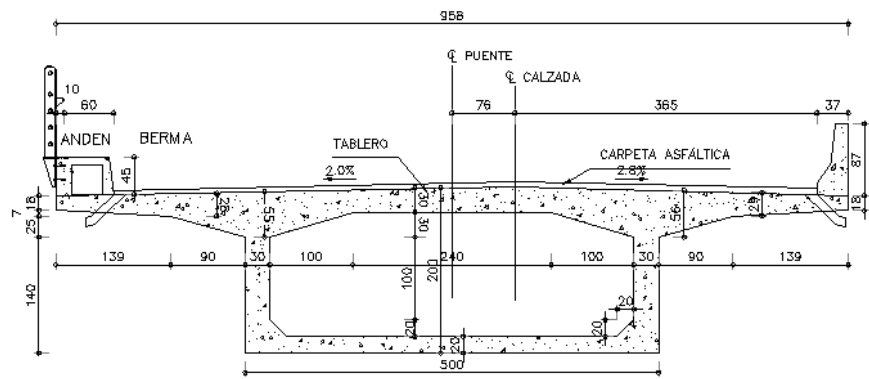


Figura 18 Sección transversal centro de luz - Puente Bermúdez

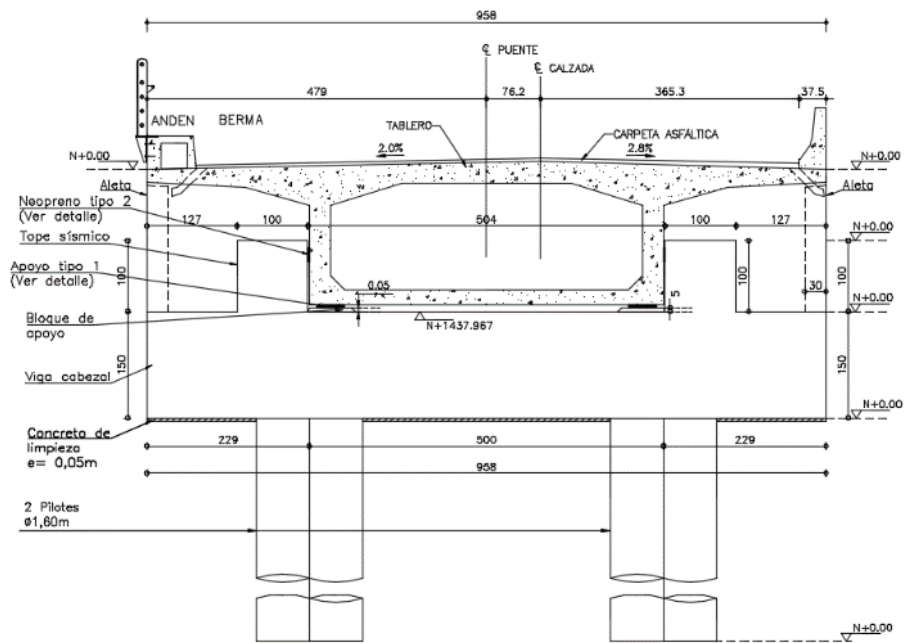


Figura 19 Geometría apoyos ejes 1 y 4 – Puente Bermúdez

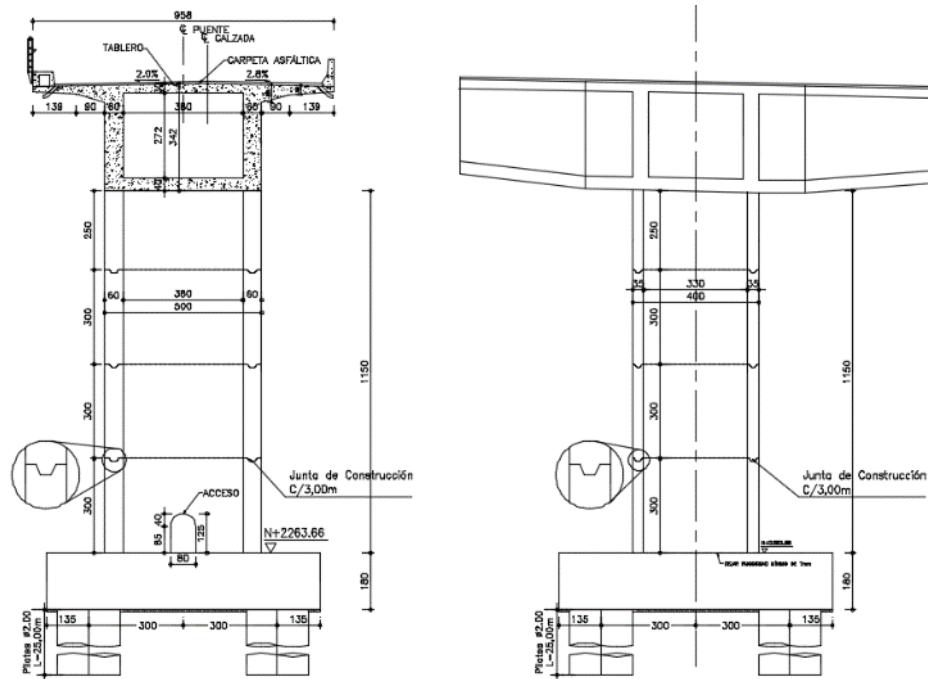


Figura 20 Geometría apoyo eje 3 – Puente Bermúdez

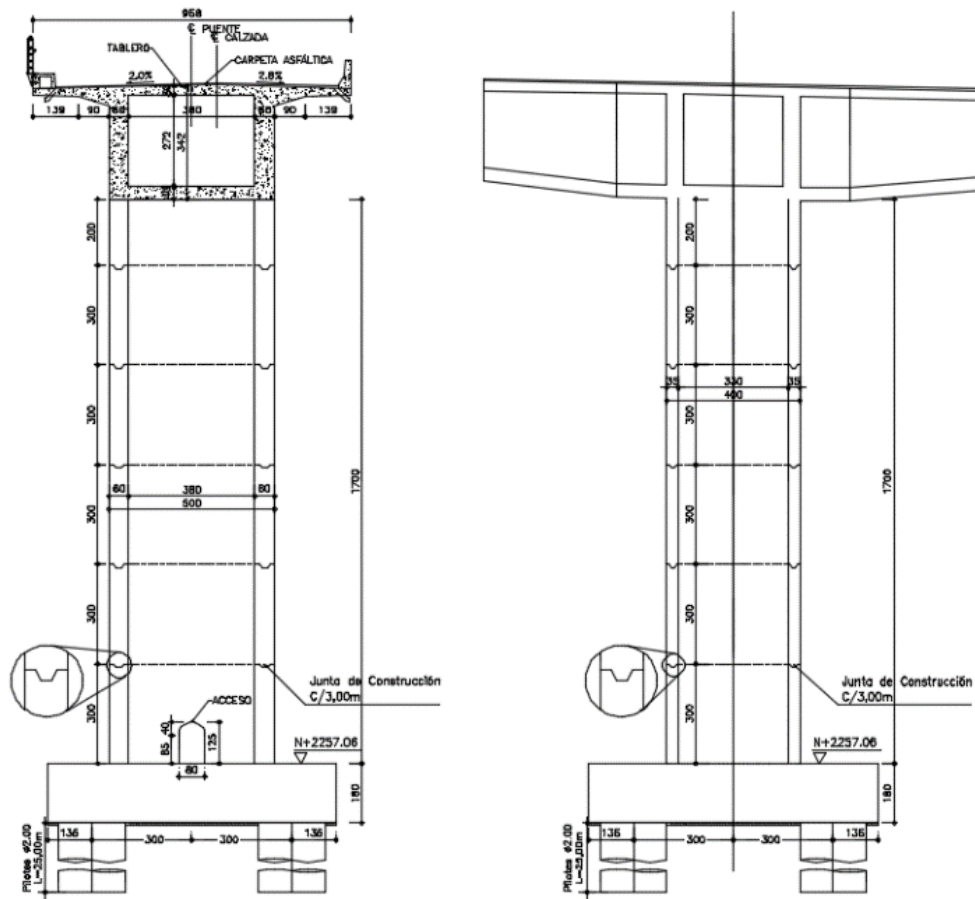


Figura 21 Geometría apoyo eje 4 – Puente Bermúdez

7.2.1 Materiales

Las características de los materiales empleados en el diseño se resumen a continuación:

- **Concreto**

Pilotes:	$f'c=245 \text{ kgf/cm}^2$ (24.5 MPa)
Dados:	$f'c=245 \text{ kgf/cm}^2$ (24.5 MPa)
Columnas	$f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ (28 MPa)
Placa y diafragmas:	$f'c=350 \text{ kgf/cm}^2$ (35 MPa)
Viga cajón voladizos	$f'c=350 \text{ kgf/cm}^2$ (35 MPa)
Andenes y barreras de tráfico:	$f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ (21 MPa)
Aletas, topes sísmicos y placas de aprox	$f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ (21 MPa)
Concreto de limpieza:	$f'c=140 \text{ kgf/cm}^2$ (14 MPa)
Peso unitario:	$\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$
Módulo de elasticidad:	$E_c (f'c) = 12500\sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

- **Acero de Refuerzo**

$f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$:

NTC 2289 Todo el acero de refuerzo

- **Acero de Tensionamiento**

NTC2010 (ASTM A-416)

Cables de baja relajación

Esfuerzo último: 18900 kgf/cm² (1890 MPa).

Módulo de elasticidad $E_s = 1.950.000$ kgf/cm² (195000 MPa).

7.2.2 Propiedades de las vigas

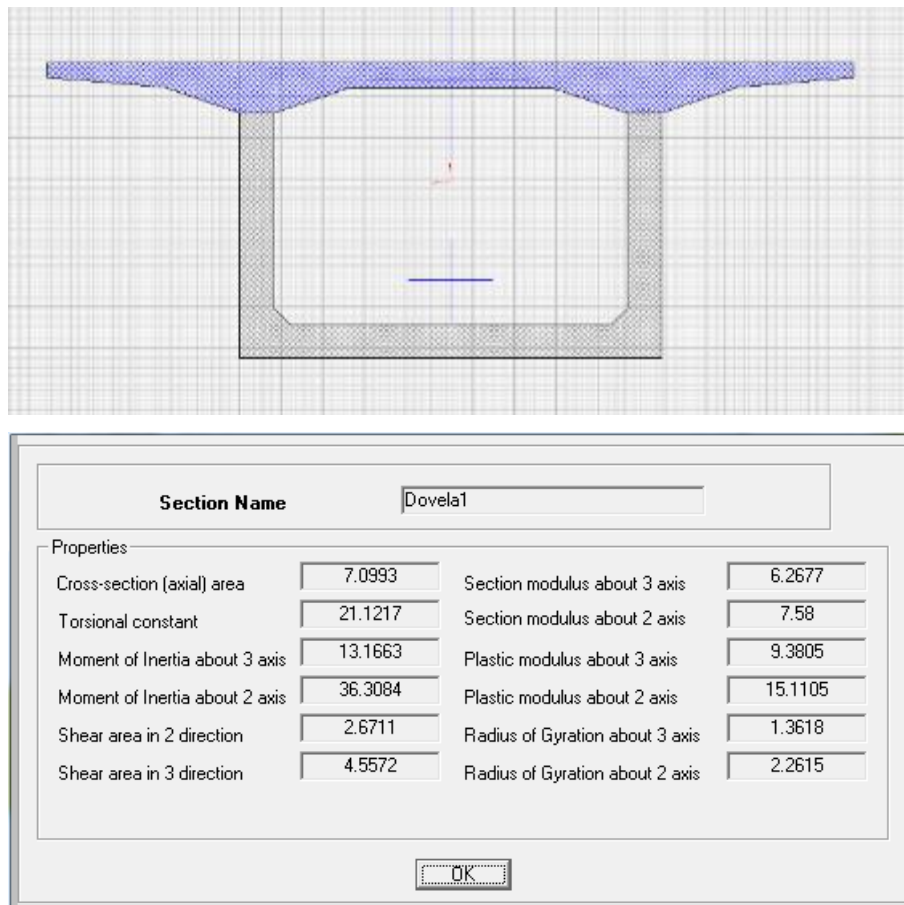
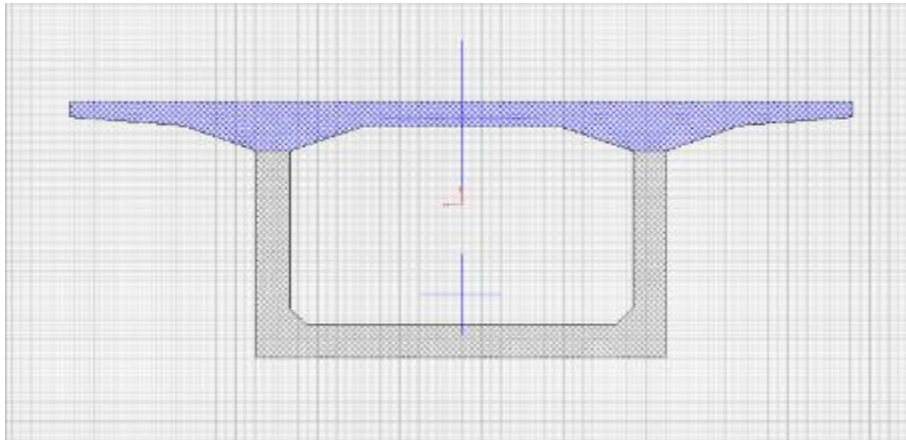


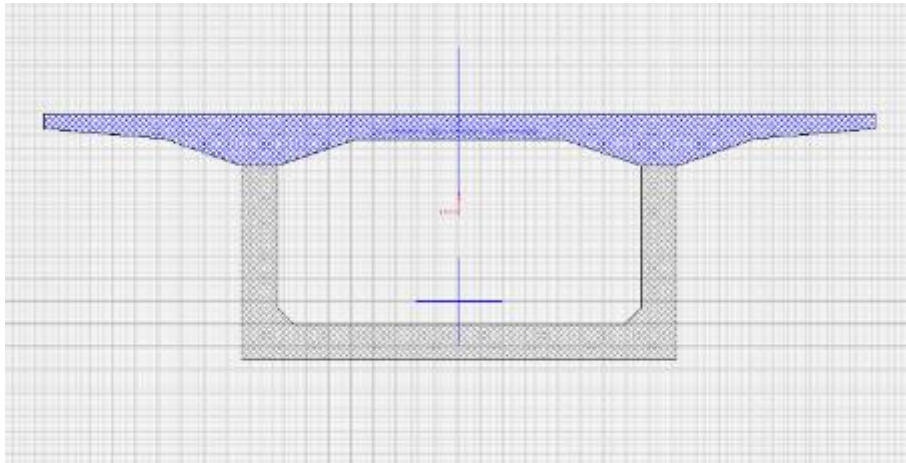
Figura 22 Geometría dovela 1 - Puente Bermúdez



Section Name		Dovela2a	
Properties			
Cross-section (axial) area	6.8059	Section modulus about 3 axis	5.2383
Torsional constant	16.978	Section modulus about 2 axis	7.2552
Moment of Inertia about 3 axis	9.7697	Plastic modulus about 3 axis	7.8708
Moment of Inertia about 2 axis	34.7526	Plastic modulus about 2 axis	14.3561
Shear area in 2 direction	2.4128	Radius of Gyration about 3 axis	1.1981
Shear area in 3 direction	4.5816	Radius of Gyration about 2 axis	2.2597

OK

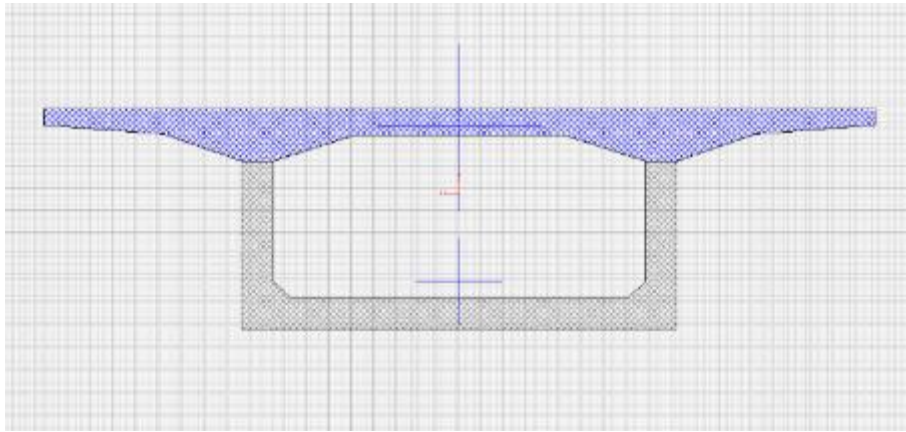
Figura 23 Geometría dovela 2A - Puente Bermúdez



Section Name		Dovela3a	
Properties			
Cross-section (axial) area	6.5912	Section modulus about 3 axis	4.518
Torsional constant	14.1147	Section modulus about 2 axis	7.0176
Moment of Inertia about 3 axis	7.6395	Plastic modulus about 3 axis	6.8088
Moment of Inertia about 2 axis	33.6141	Plastic modulus about 2 axis	13.8041
Shear area in 2 direction	2.2298	Radius of Gyration about 3 axis	1.0766
Shear area in 3 direction	4.5988	Radius of Gyration about 2 axis	2.2583

OK

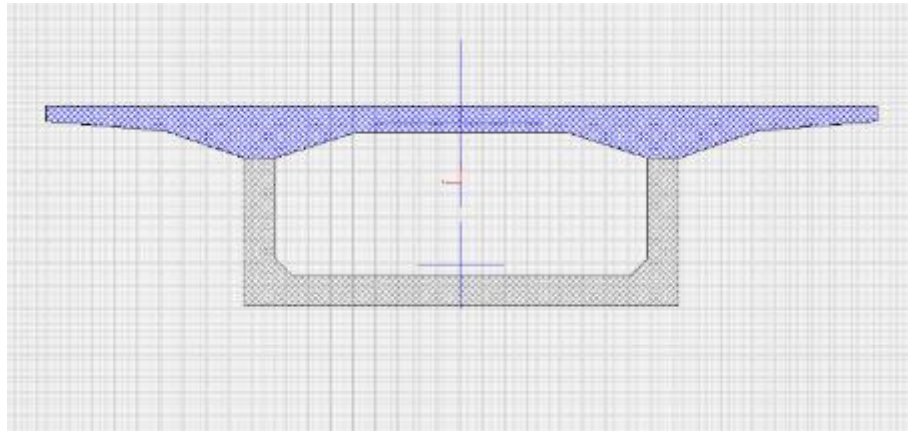
Figura 24 Geometría dovela 3A - Puente Bermúdez



Section Name		Dovela4a	
Properties			
Cross-section (axial) area	6.0333	Section modulus about 3 axis	3.526
Torsional constant	10.7928	Section modulus about 2 axis	6.5809
Moment of Inertia about 3 axis	5.4933	Plastic modulus about 3 axis	5.2939
Moment of Inertia about 2 axis	31.5226	Plastic modulus about 2 axis	12.6727
Shear area in 2 direction	1.8059	Radius of Gyration about 3 axis	0.9542
Shear area in 3 direction	4.3636	Radius of Gyration about 2 axis	2.2858

OK

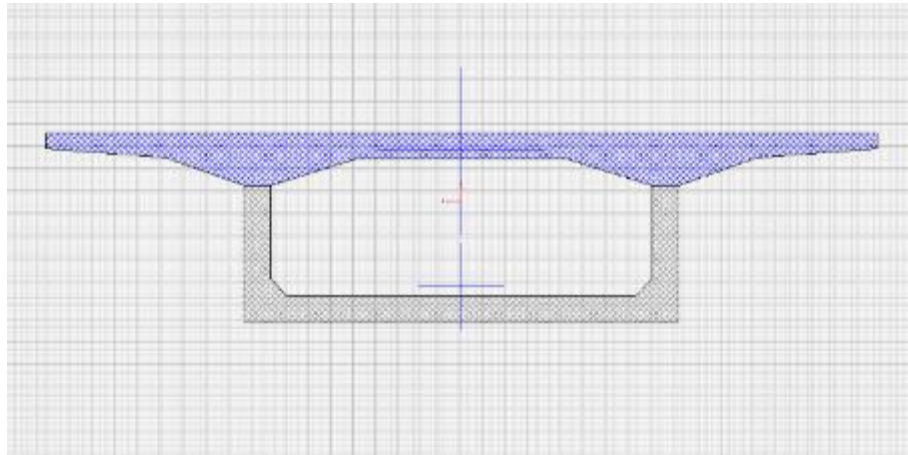
Figura 25 Geometría dovela 4A - Puente Bermúdez



Section Name		Dovela5a	
Properties			
Cross-section (axial) area	5.8956	Section modulus about 3 axis	3.0848
Torsional constant	9.0698	Section modulus about 2 axis	6.4252
Moment of Inertia about 3 axis	4.3908	Plastic modulus about 3 axis	4.6477
Moment of Inertia about 2 axis	30.7766	Plastic modulus about 2 axis	12.3147
Shear area in 2 direction	1.6986	Radius of Gyration about 3 axis	0.863
Shear area in 3 direction	4.3742	Radius of Gyration about 2 axis	2.2848

OK

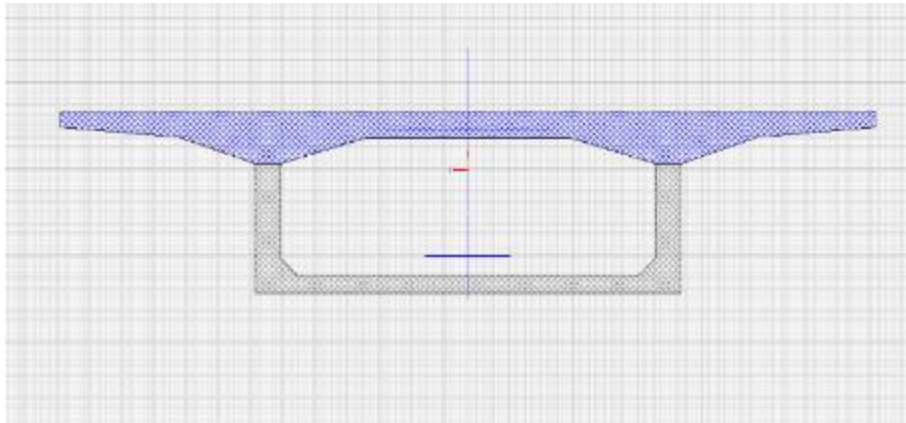
Figura 26 Geometría dovela 5A - Puente Bermúdez



Section Name		Dovela6a	
Properties			
Cross-section (axial) area	5.4933	Section modulus about 3 axis	2.5691
Torsional constant	7.5735	Section modulus about 2 axis	6.1498
Moment of Inertia about 3 axis	3.5611	Plastic modulus about 3 axis	3.8522
Moment of Inertia about 2 axis	29.4575	Plastic modulus about 2 axis	11.57
Shear area in 2 direction	1.4113	Radius of Gyration about 3 axis	0.8051
Shear area in 3 direction	4.128	Radius of Gyration about 2 axis	2.3157

OK

Figura 27 Geometría dovela 6A - Puente Bermúdez



Section Name		Dovela7a	
Properties			
Cross-section (axial) area	5.0675	Section modulus about 3 axis	1.97
Torsional constant	6.2504	Section modulus about 2 axis	5.9801
Moment of Inertia about 3 axis	2.821	Plastic modulus about 3 axis	3.0287
Moment of Inertia about 2 axis	28.6445	Plastic modulus about 2 axis	11.0014
Shear area in 2 direction	1.3768	Radius of Gyration about 3 axis	0.7461
Shear area in 3 direction	3.6228	Radius of Gyration about 2 axis	2.3775

OK

Figura 28 Geometría dovela 7A - Puente Bermúdez

7.3 Puente San Pedro

El puente San Pedro se localiza en la vía denominada “Marginal de la Selva” (zona de riesgo sísmico intermedio), entre los municipios de Florencia y San José del Fragua en el departamento del Caquetá.

El puente está conformado por dos calzadas de 3.65 m cada una, dos bermas de 1.80 m y dos pasos peatonales de 1.35 m. Ver Figura 31 y Figura 32. El puente entre los ejes 1 y 3 se desarrolló mediante vigas postensadas y tablero, con dos luces de 30.0 m cada una. Entre los ejes 3 y 6 se resolvió mediante un puente por el sistema de voladizos sucesivos totalmente compensado con una luz central de 90.0 m y luces adyacentes de 45.0 m. El diseño vial contempla una estructura de alineamiento casi recto en planta y con pendiente longitudinal del 4.0%.

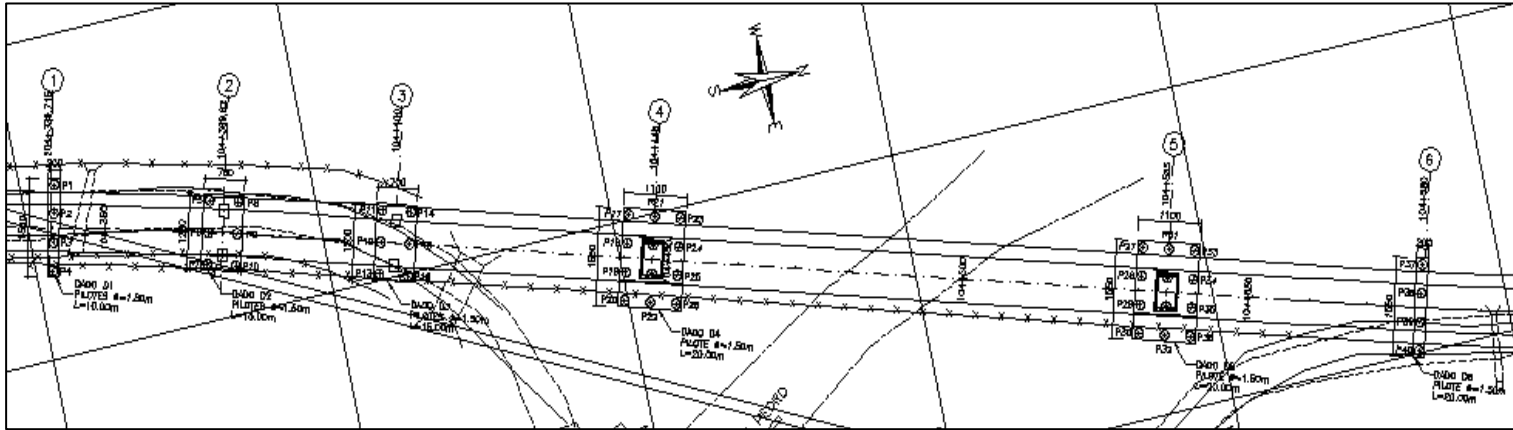


Figura 29 Planta tablero Puente San Pedro

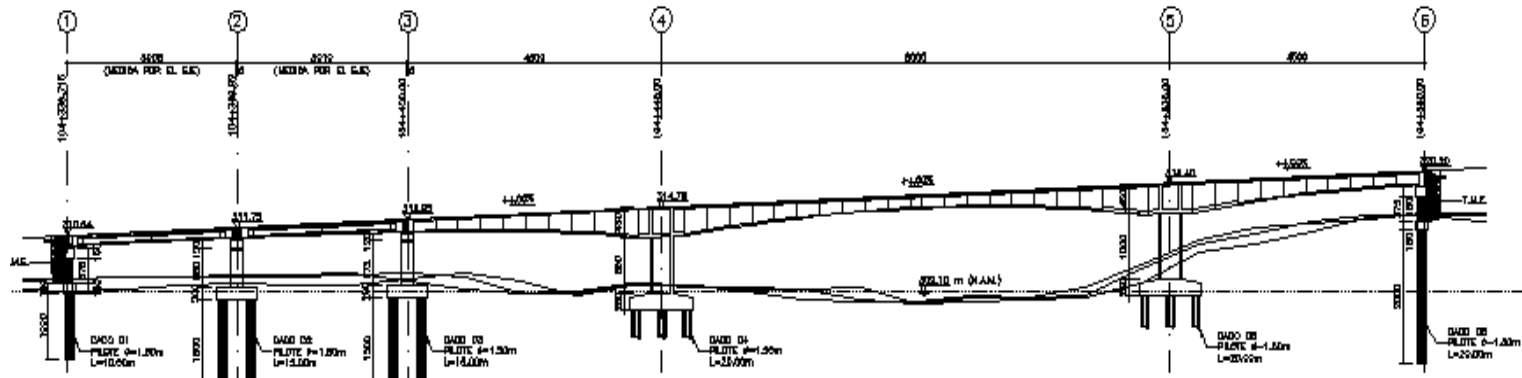


Figura 30 Perfil Puente San Pedro

Para el sector del puente definido en vigas y tablero, se plantearon 5 vigas postensadas de 1.55 de altura las cuales sirven de apoyo a un tablero de 0.20 m de espesor.

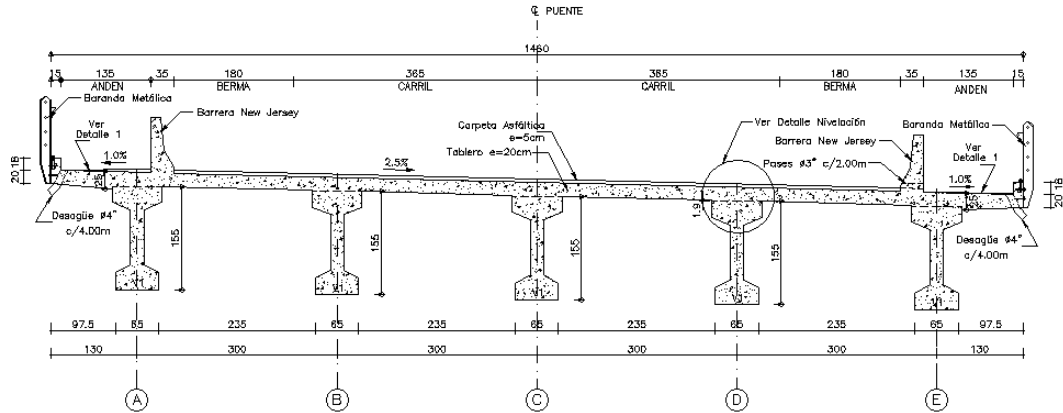


Figura 31 Sección transversal puente San Pedro – Zona vigas postensadas y tablero

Para el puente de voladizos, el sistema estructural de la superestructura está conformado una sección cajón de altura variable entre 4.5 m y 2.0 m. El ancho de la base del cajón es variable y su longitud va a depender de la altura de cada dovela, ya que las paredes de las mismas son inclinadas con una pendiente constante.

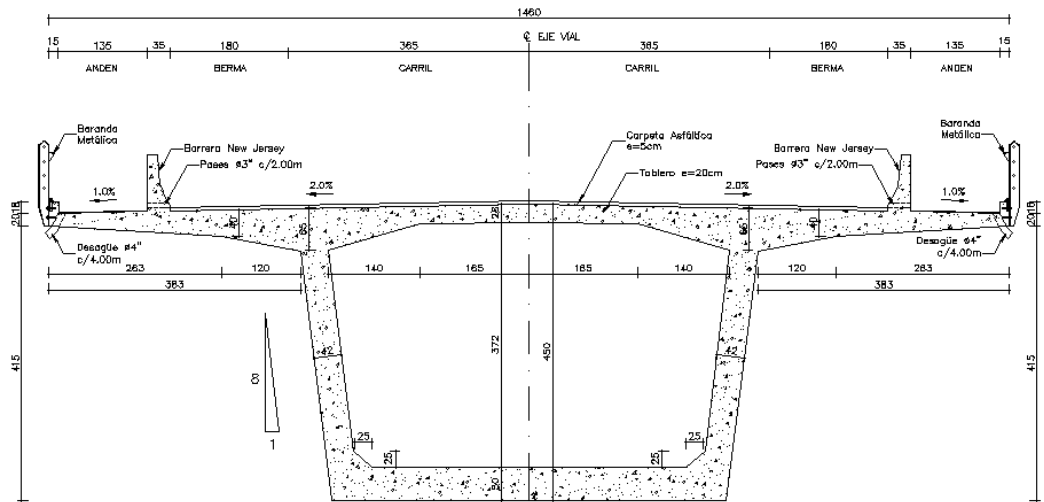


Figura 32 Sección transversal puente San Pedro – Zona voladizos

La infraestructura está conformada por 4 apoyos intermedios y 2 apoyos extremos. Los apoyos extremos corresponden a un sistema de pilotes vinculados en el extremo superior

por una viga cabezal que recibe las cargas de superestructura. El terraplén de acceso estará resuelto mediante el sistema de suelo mecánicamente estabilizado.

El sector del puente comprendido por vigas postensadas de 30.0 m, está soportado por pilas, en forma de “doble martillo”, cimentadas sobre 6 pilotes de 1.50 m de diámetro y 15.0 m de longitud. Para el sector definido en el sistema de voladizos sucesivos, los apoyos intermedios están conformados por la viga cajón continua, a través de la dovela de arranque, con una columna de sección cajón, cada una de los apoyos, esta soportada por una zapata apoyada sobre 12 pilotes de 1.50 m de diámetro y 20.0 m de longitud.

La transmisión de las fuerzas sísmicas de la superestructura a la infraestructura se realizará por medio del sistema de continuidad dovela – columna en el puente de voladizos.

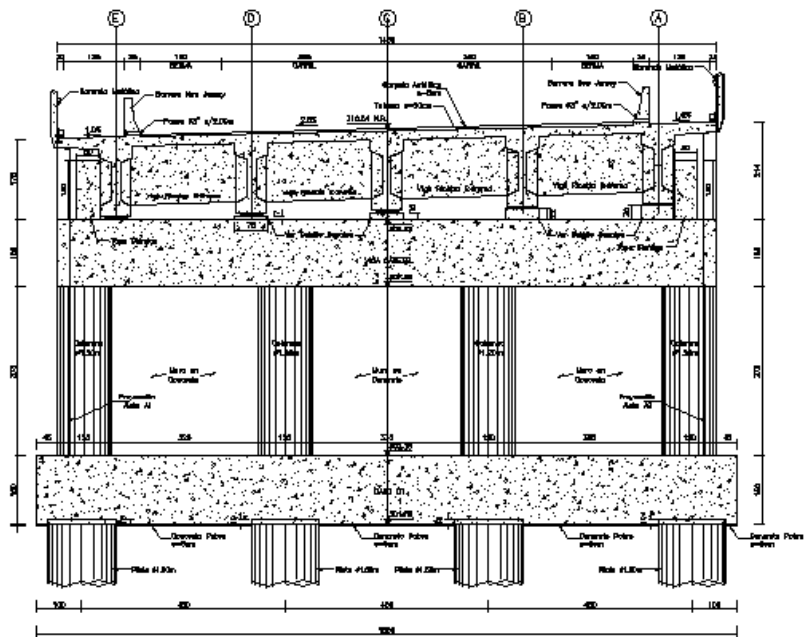


Figura 33 Geometría apoyo eje 1 – Puente San Pedro

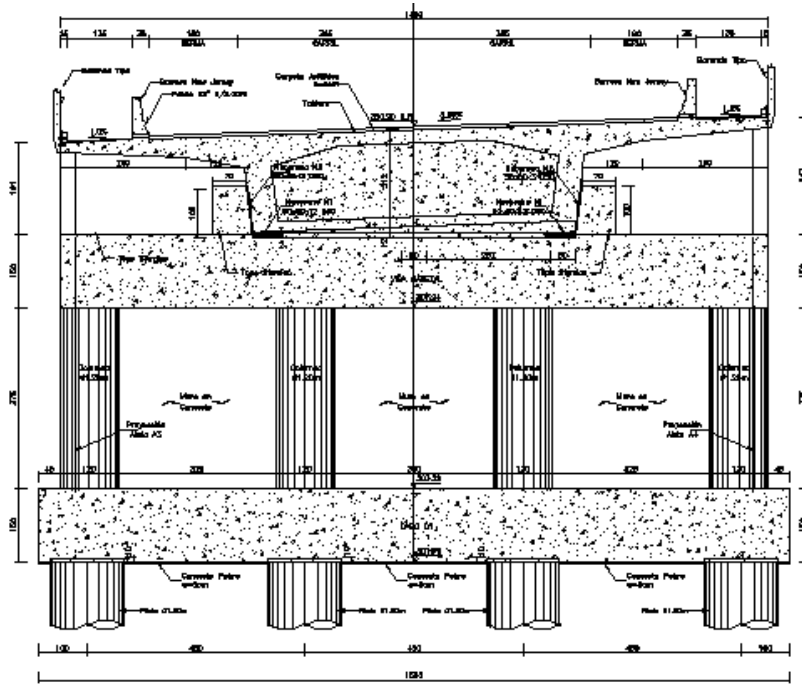


Figura 34 Geometría apoyo eje 6 – Puente San Pedro

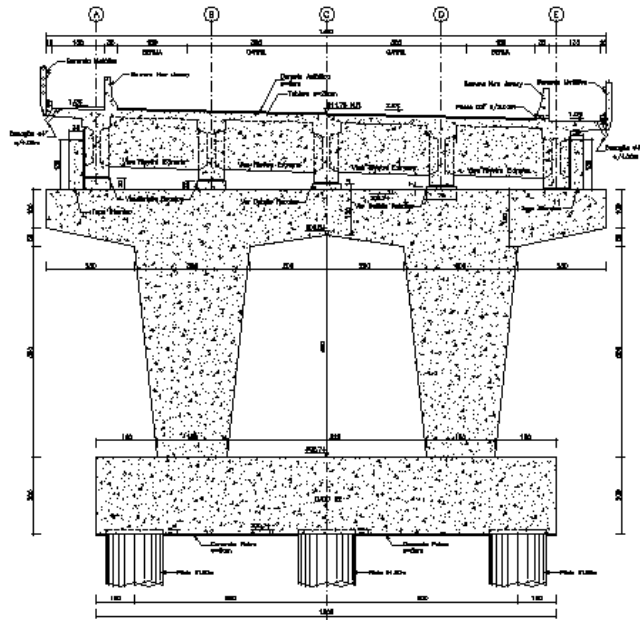


Figura 35 Geometría apoyos ejes 2 y 3 – Puente San Pedro

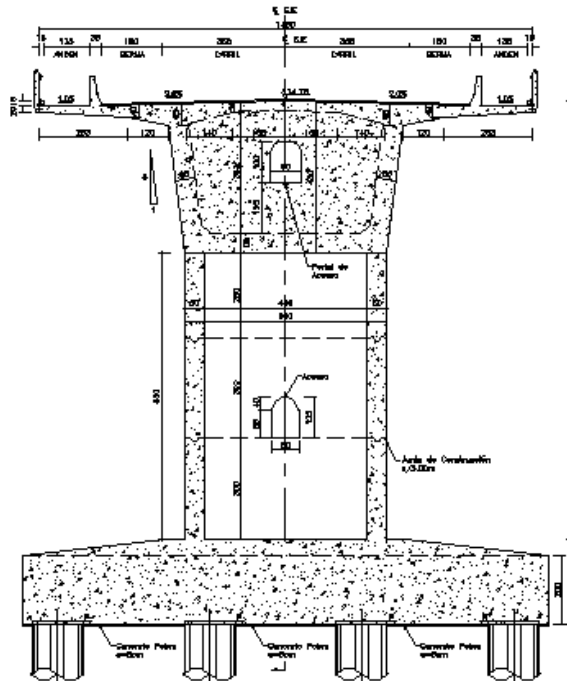


Figura 36 Geometría apoyos ejes 4 y 5 – Puente San Pedro

7.3.1 Materiales

Las características de los materiales empleados en el diseño se resumen a continuación:

- **Concreto**

Vigas I Postensadas y Viga cajón voladizos	$f'c=350 \text{ kgf/cm}^2$ (35.0 MPa.)
Tablero:	$f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ (28.0 MPa.)
Pilas y Columnas	$f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ (28.0 MPa)
Vigas Cabezales y Riostras:	$f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ (28.0 MPa)
Dados:	$f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ (28.0 MPa)
Barrera New Jersey:	$f'c=245 \text{ kgf/cm}^2$ (24.5 MPa)
Pilotes, Aletas, topes sísmicos y placas de aprox	$f'c=245 \text{ kgf/cm}^2$ (24.5 MPa)
Concreto de limpieza:	$f'c=140 \text{ kgf/cm}^2$ (14.0 MPa)
Peso unitario:	$\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$
Módulo de elasticidad:	$E_c (f'c) = 12500\sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2)$

- **Acero de Refuerzo**

$f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$:

NTC 2289 Todo el acero de refuerzo

- Acero de Tensionamiento

NTC2010 (ASTM A-416)

Cables de baja relajación

Esfuerzo último: 18900 kgf/cm² (1890 MPa).

Módulo de elasticidad $E_s = 1.950.000$ kgf/cm² (195000 MPa).

7.3.2 Propiedades de las vigas

7.3.2.1 Viga I L=30m

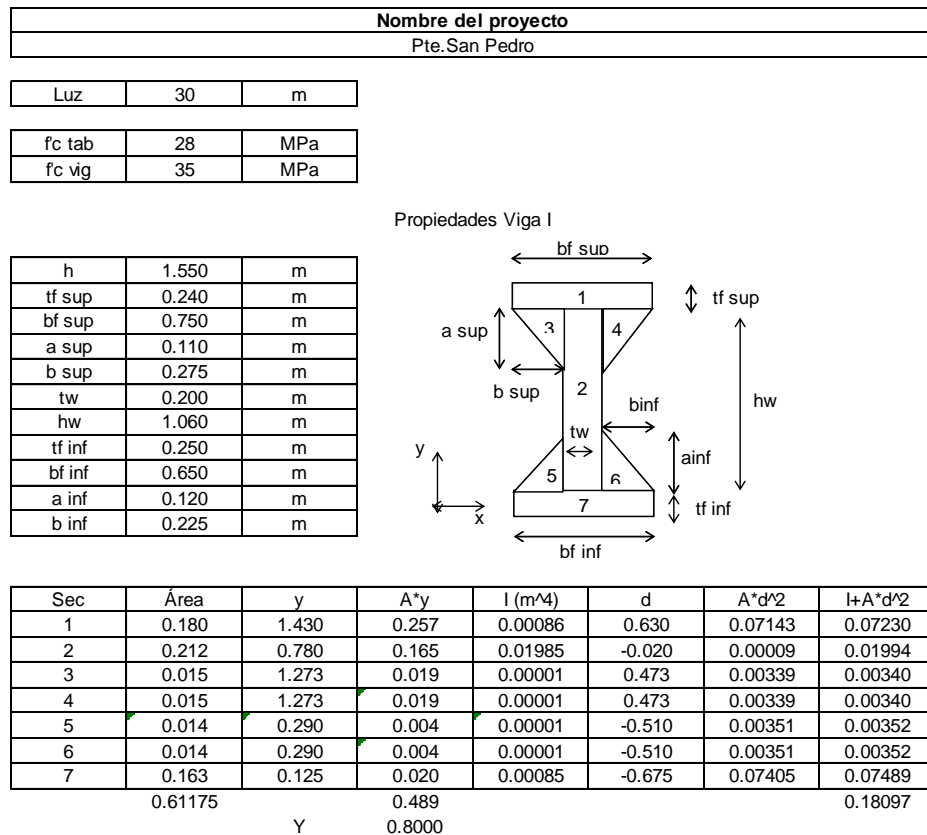
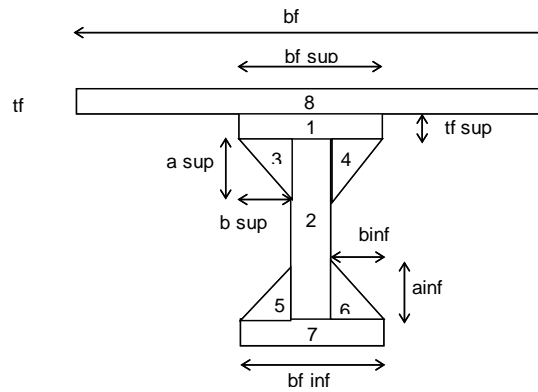


Figura 37 Propiedades geométricas - Viga 30.0m- Puente San Pedro

Propiedades Viga I más Tablero

h	1.750	m
tf sup	0.240	m
bf sup	0.750	m
a sup	0.110	m
b sup	0.275	m
tw	0.200	m
hw	1.060	m
tf inf	0.250	m
bf inf	0.650	m
a inf	0.120	m
b inf	0.225	m
tf	0.200	m
s a ejes	3.000	m
s	2.525	m
L	30.000	m
12*tf+bw	3.150	m
L/4	7.500	m
bf	2.258	m



Sec	Área	y	A*y	I (m ⁴)	d	A*d ²	I+A*d ²
1	0.180	1.430	0.257	0.00086	0.269	0.01302	0.01388
2	0.212	0.780	0.165	0.01985	-0.381	0.03078	0.05063
3	0.015	1.273	0.019	0.00001	0.112	0.00019	0.00020
4	0.015	1.273	0.019	0.00001	0.112	0.00019	0.00020
5	0.014	0.290	0.004	0.00001	-0.871	0.01024	0.01025
6	0.014	0.290	0.004	0.00001	-0.871	0.01024	0.01025
7	0.163	0.125	0.020	0.00085	-1.036	0.17443	0.17527
8	0.452	1.650	0.745	0.00151	0.489	0.10799	0.10949
		1.06344		1.235			0.37019
		Y		1.1611			

Figura 38 Propiedades geométricas - Viga 30.0m + Tablero- Puente San Pedro

7.3.2.2 Dovelas

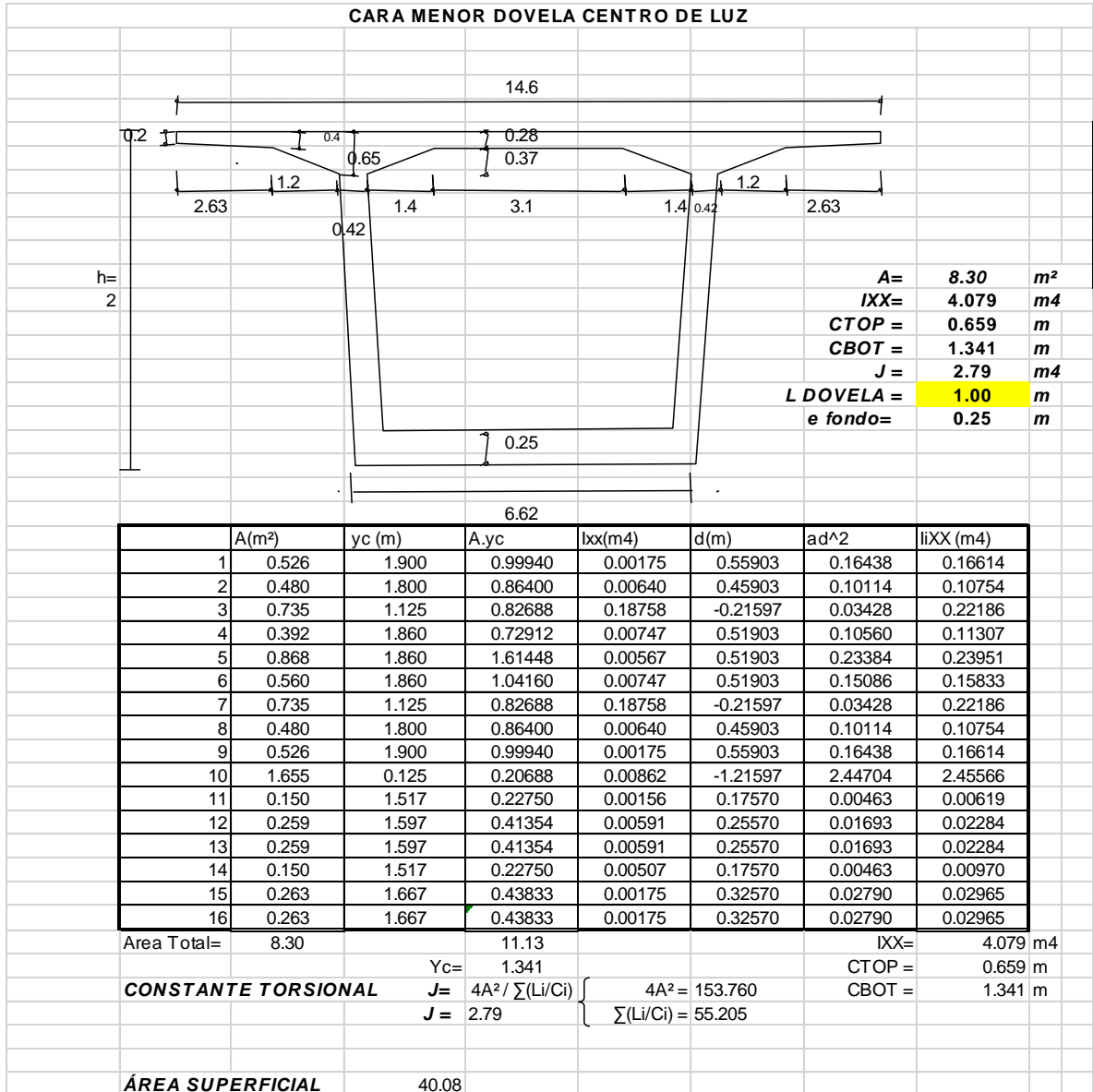


Figura 39 Geometría cara menor dovela centro de luz - Puente San Pedro

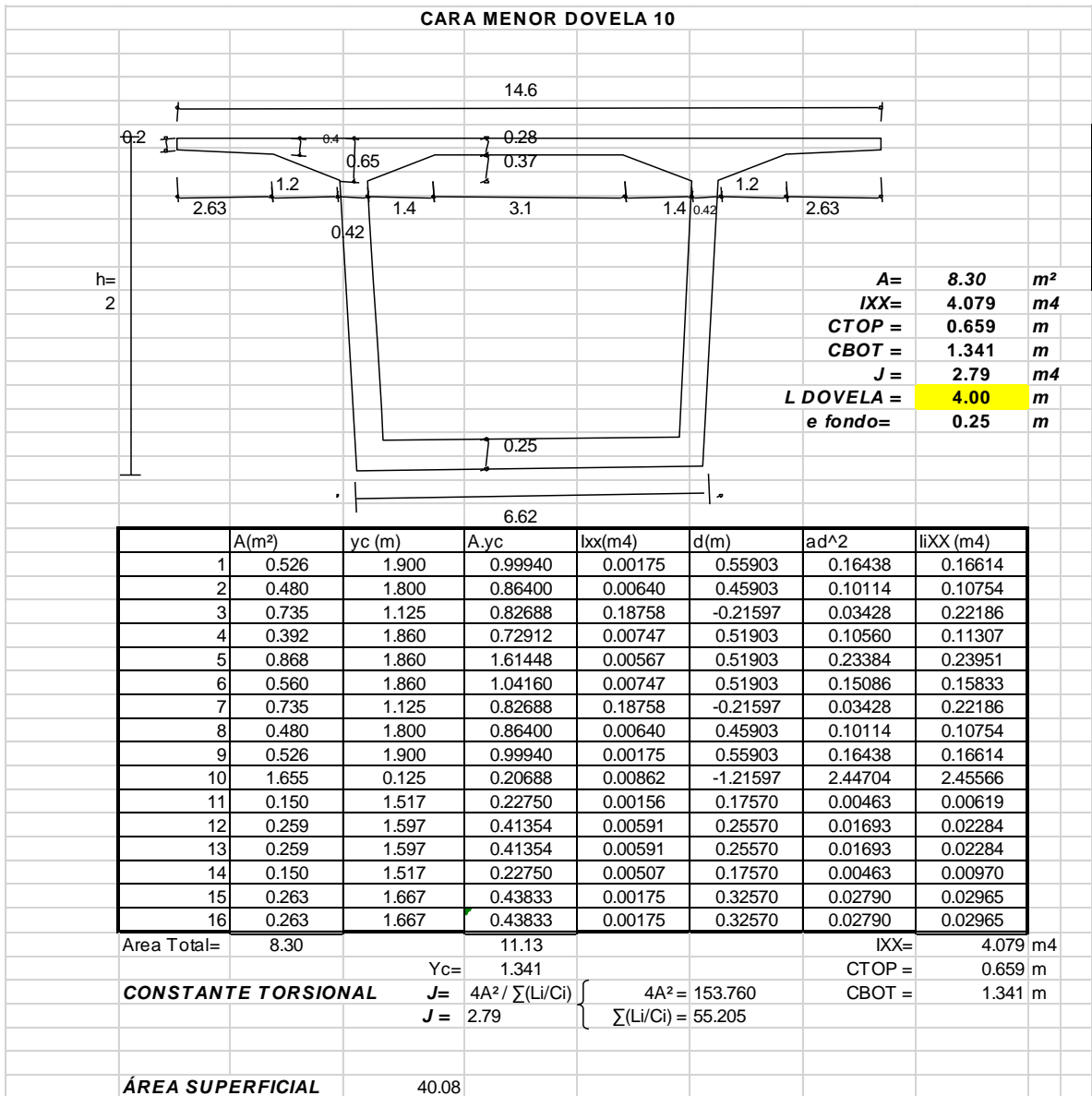


Figura 40 Geometría cara menor dovela 10 - Puente San Pedro

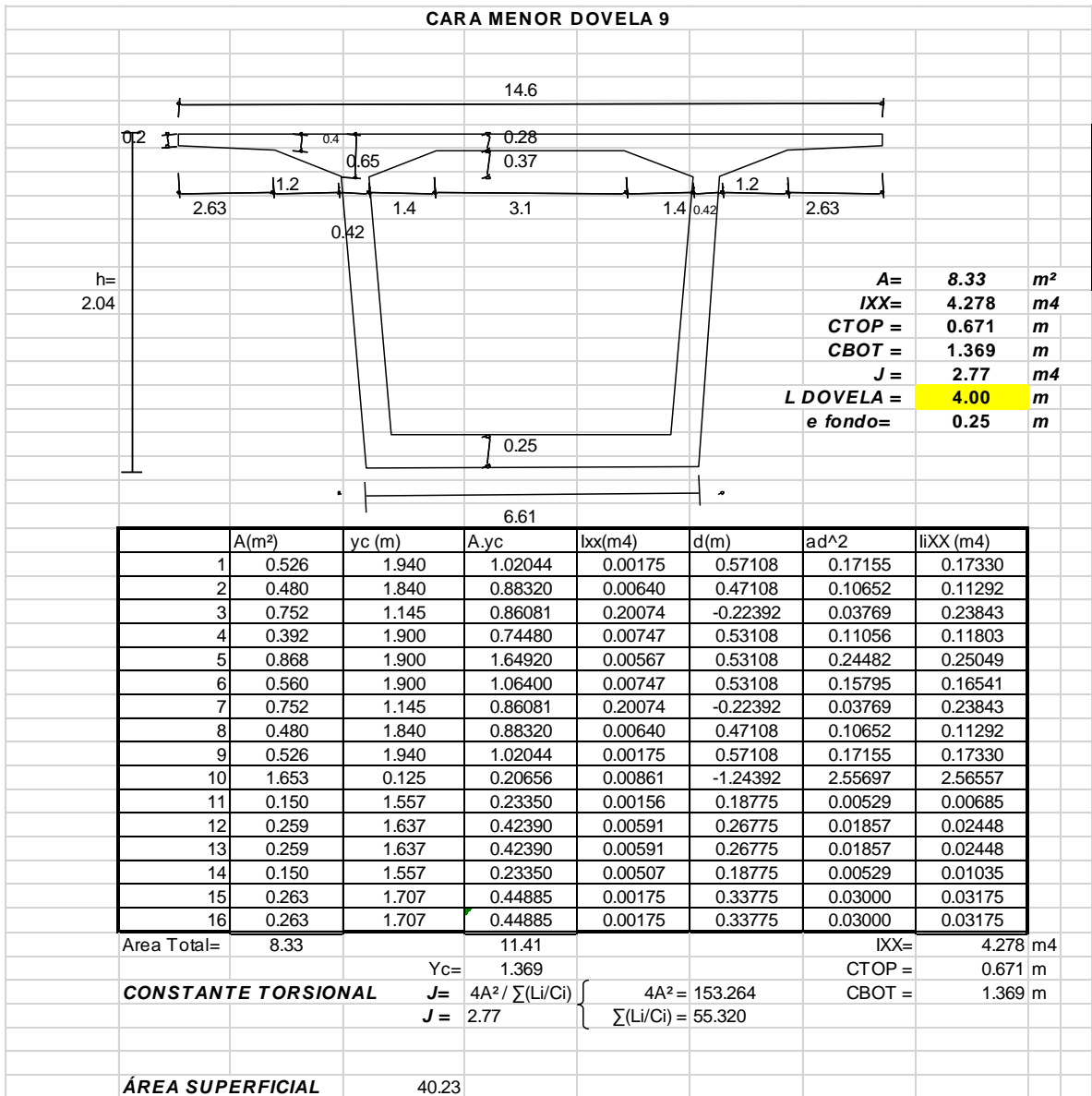


Figura 41 Geometría cara menor dovela 9 - Puente San Pedro

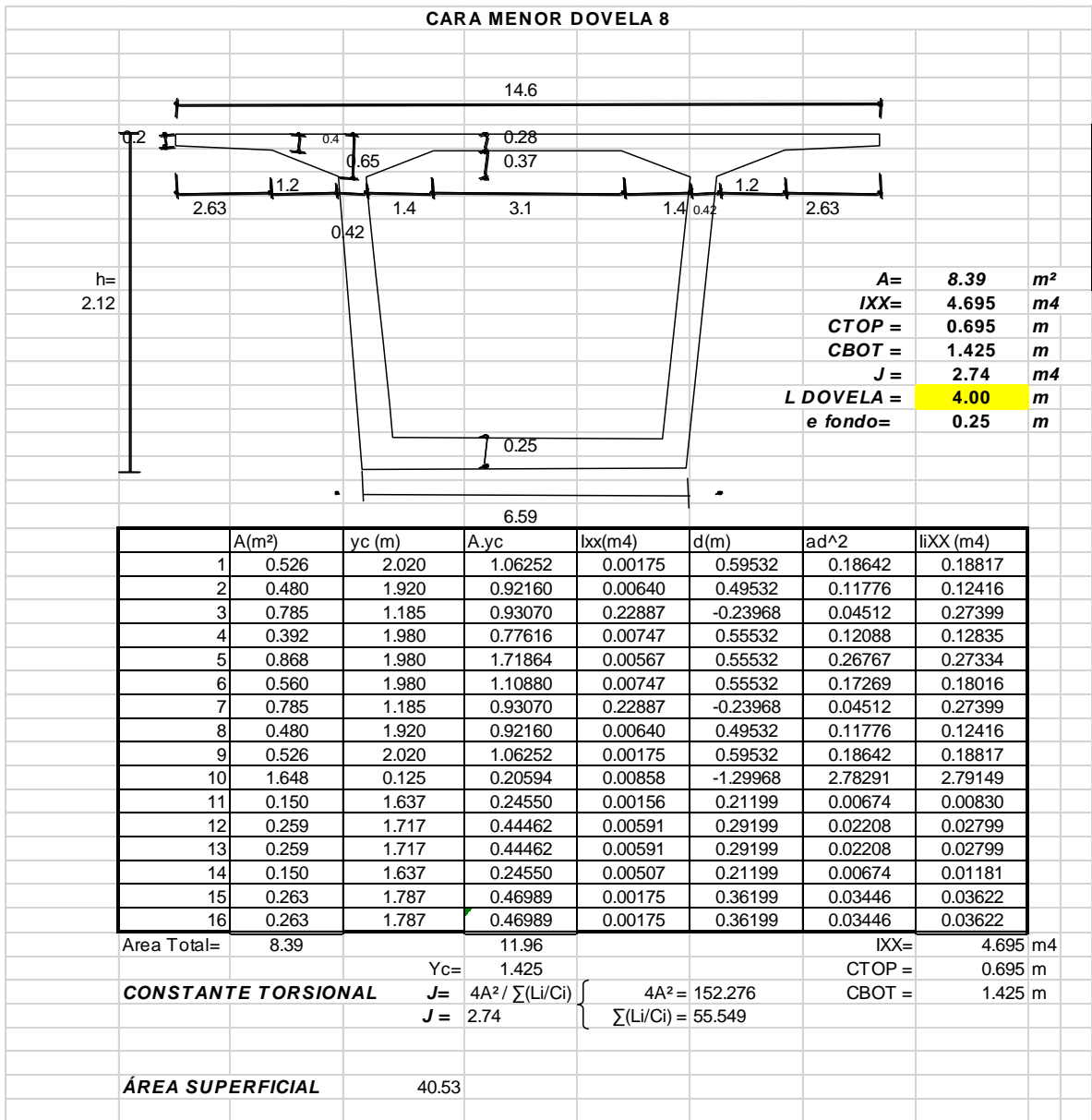


Figura 42 Geometría cara menor dovela 8 - Puente San Pedro

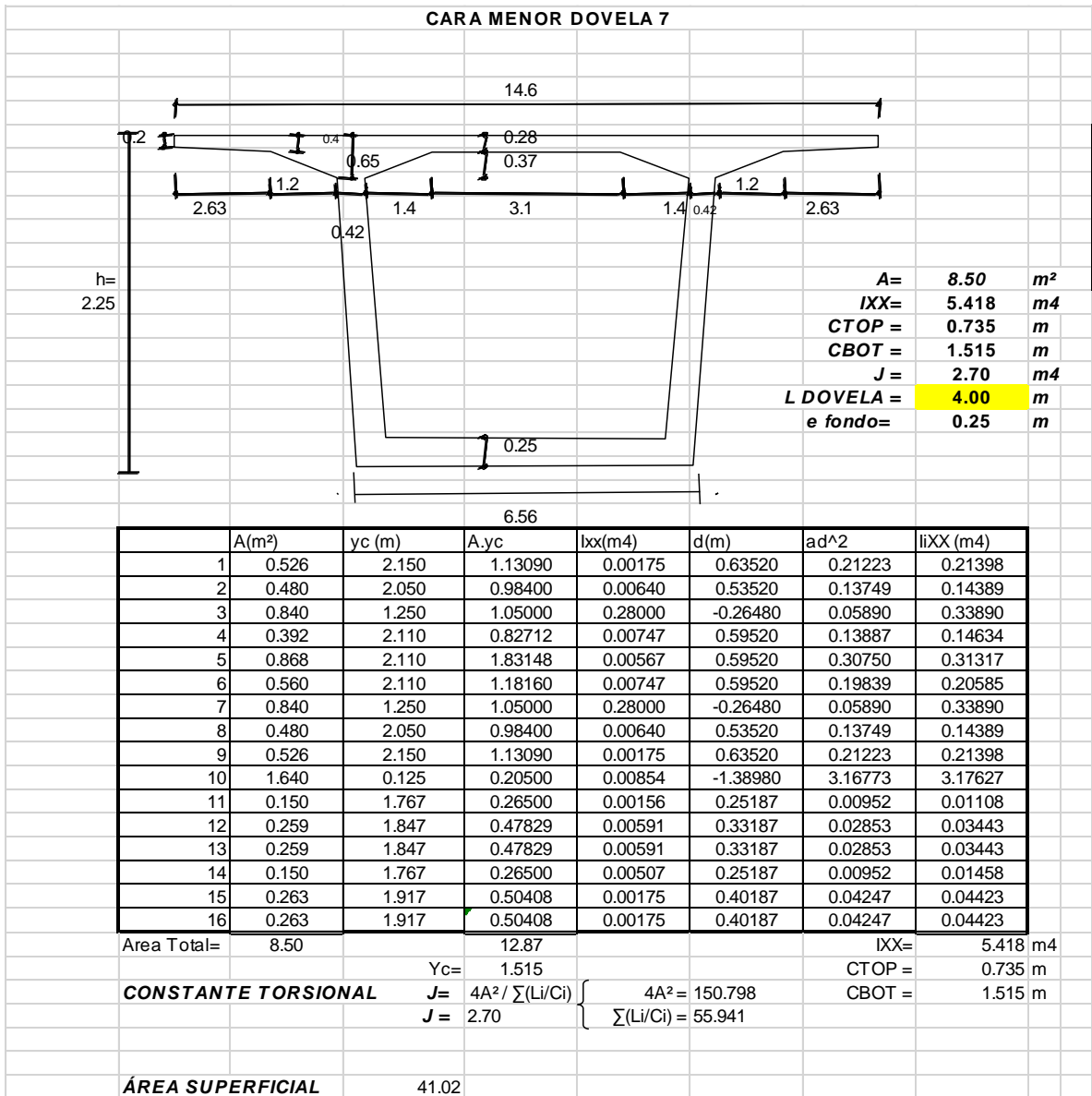


Figura 43 Geometría cara menor dovela 7 - Puente San Pedro

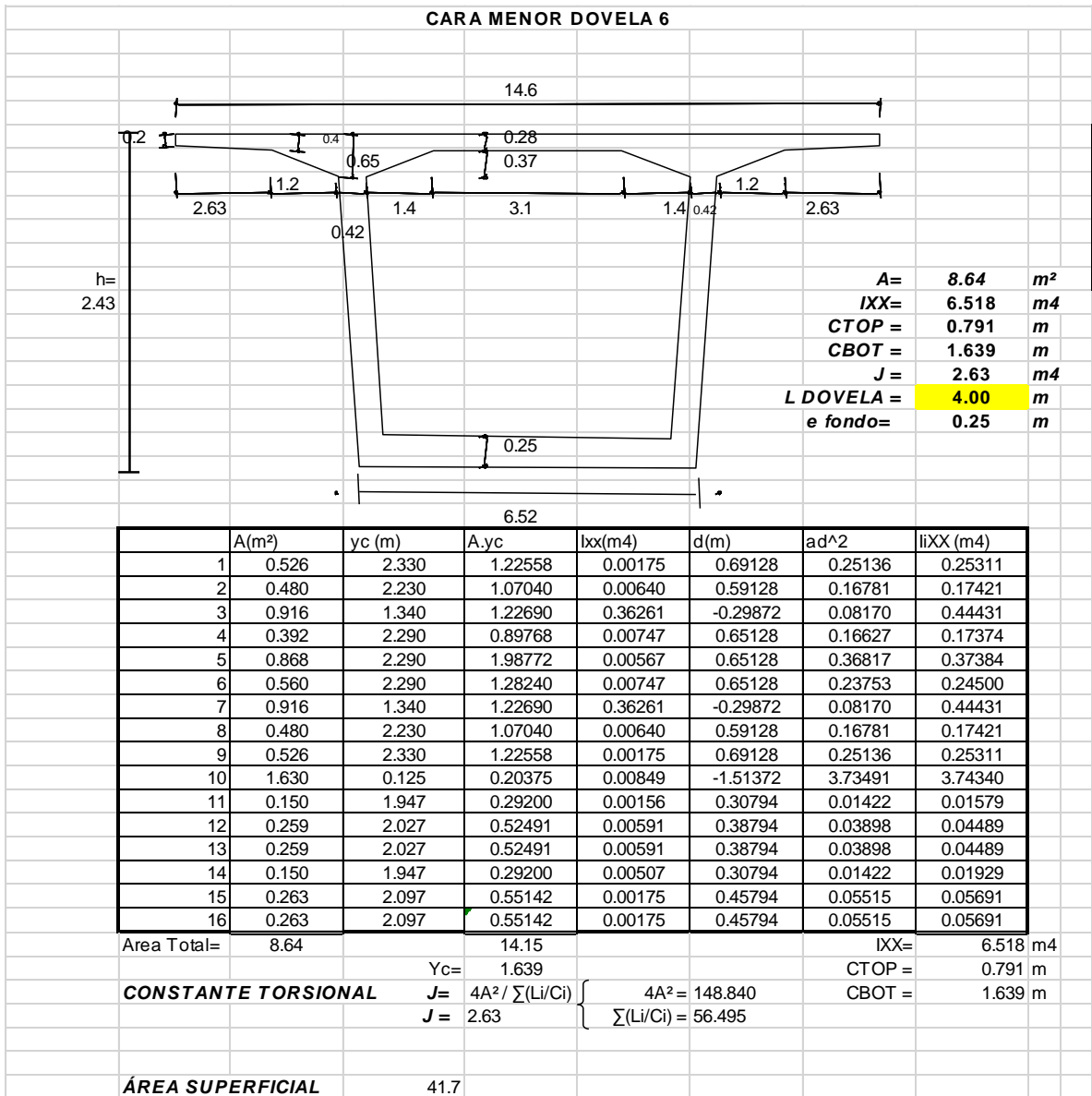


Figura 44 Geometría cara menor dovela 6 - Puente San Pedro

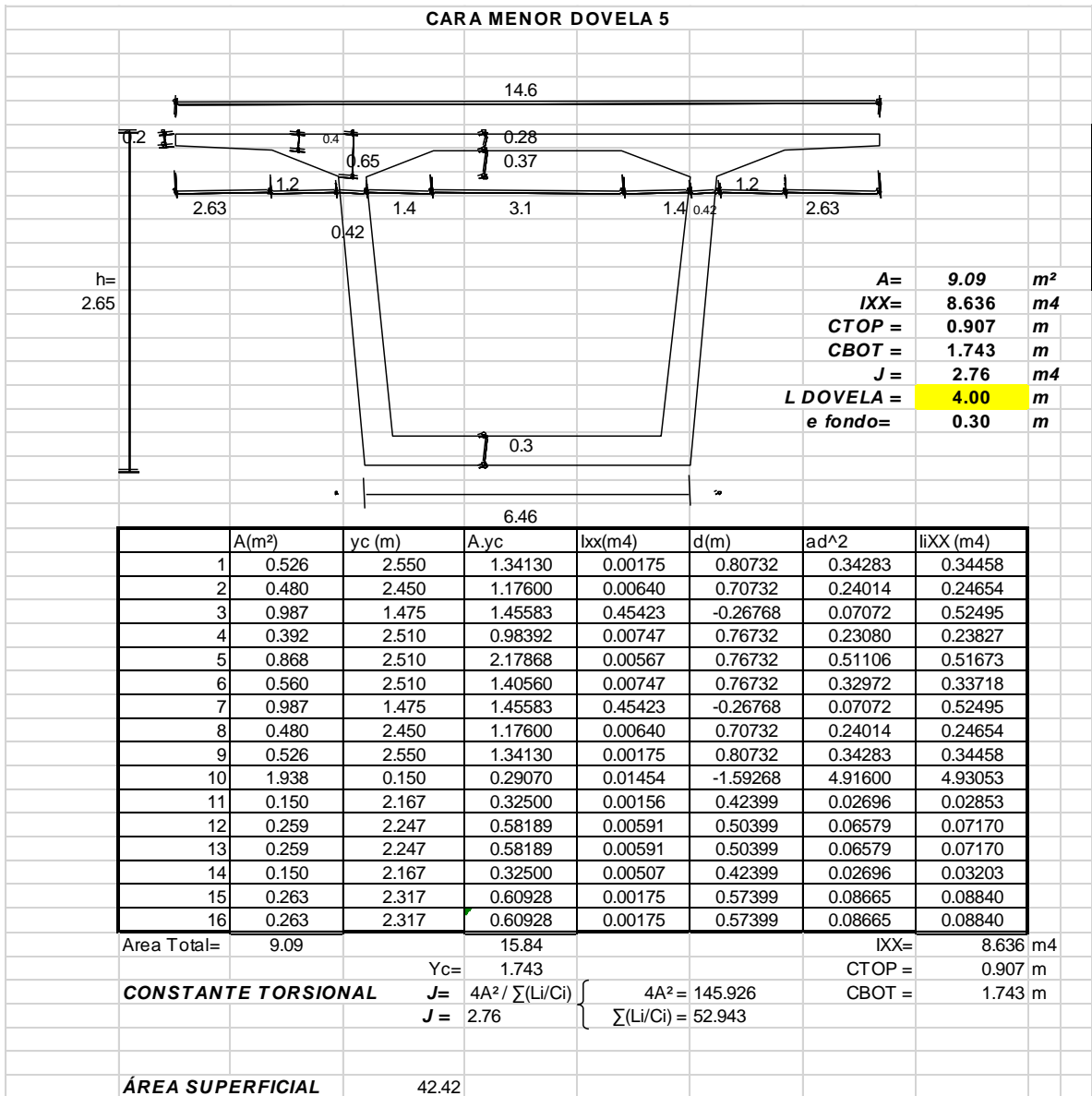


Figura 45 Geometría cara menor dovela 5 - Puente San Pedro

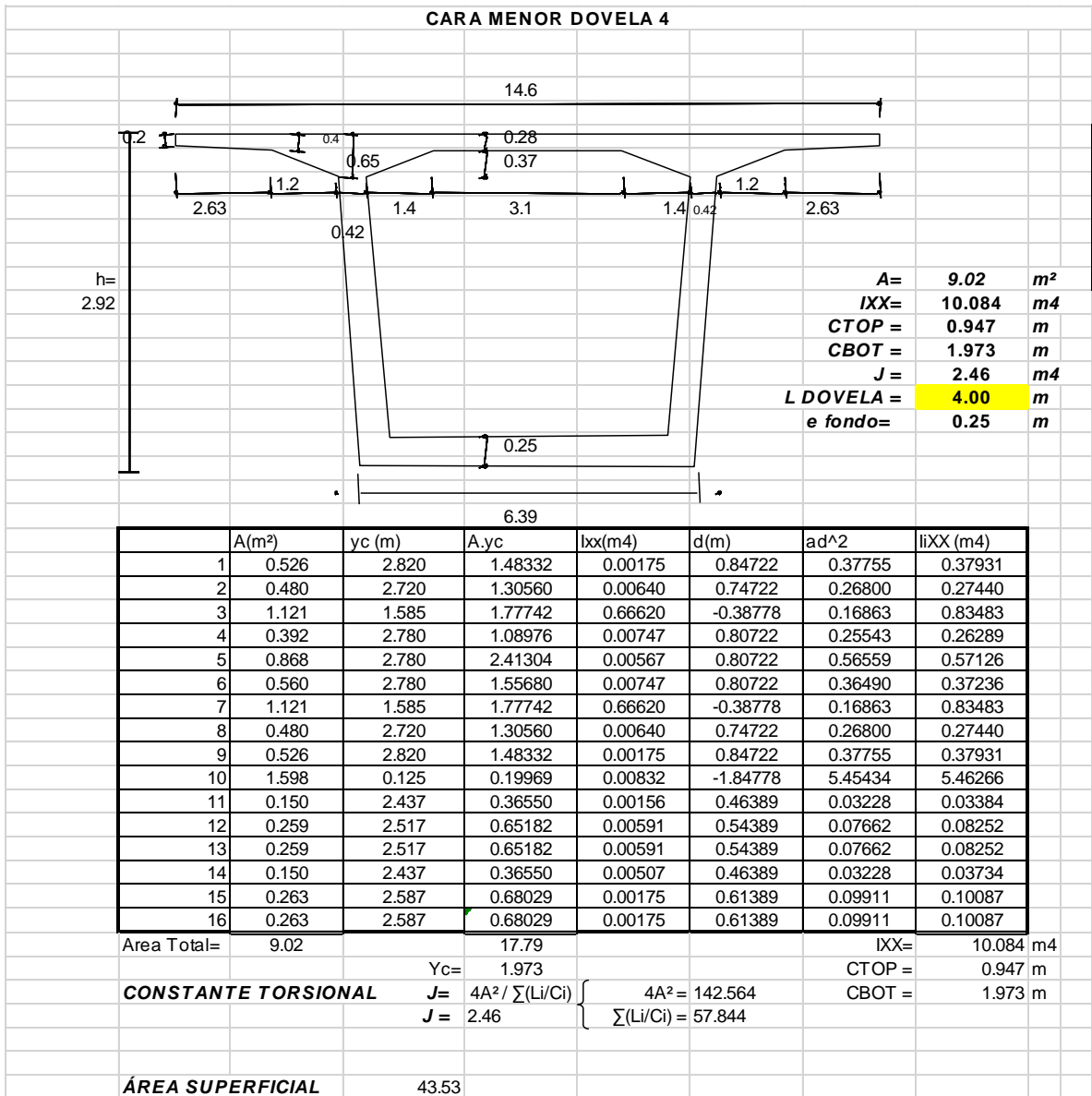


Figura 46 Geometría cara menor dovela 4 - Puente San Pedro

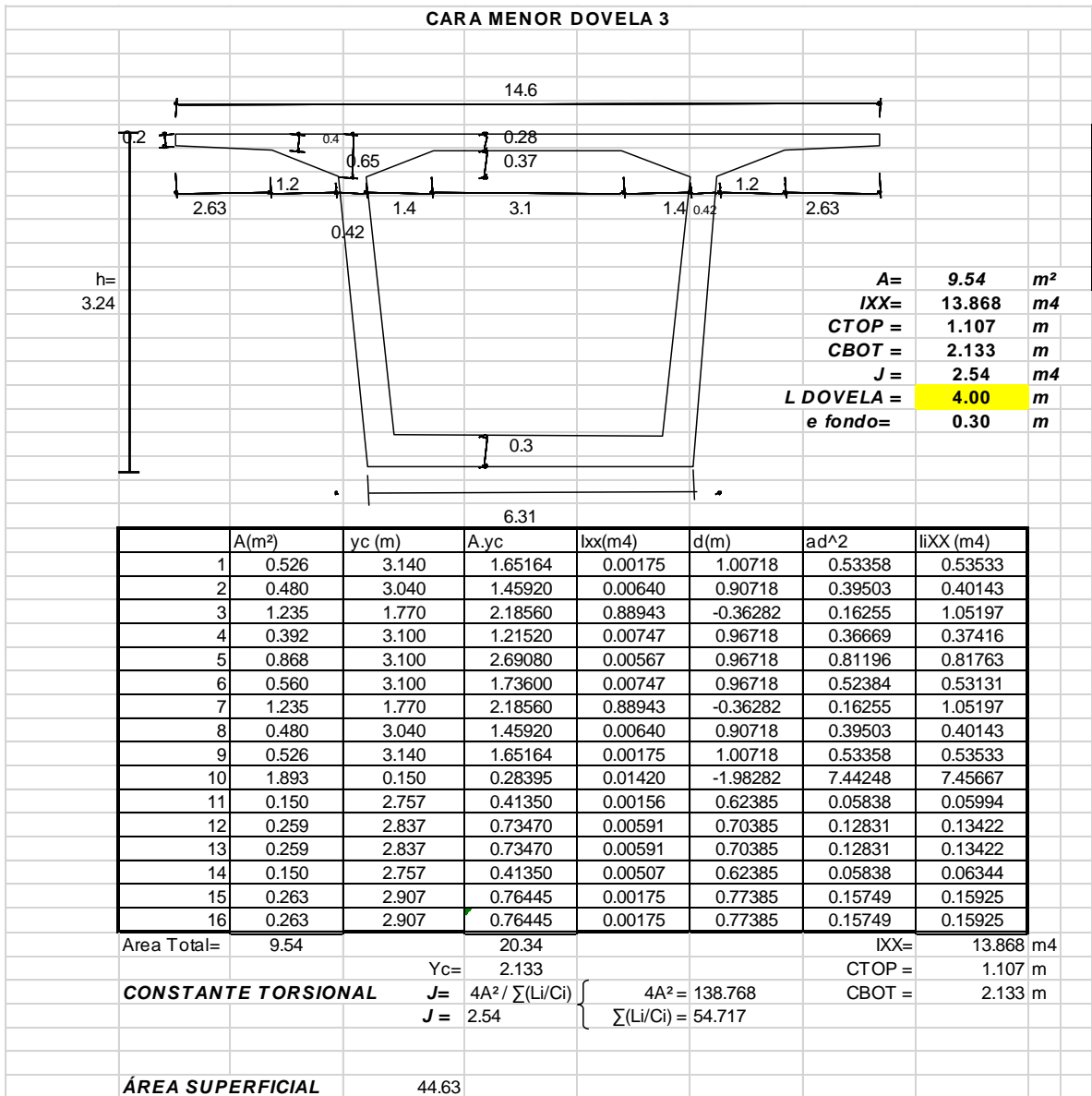


Figura 47 Geometría cara menor dovela 3 - Puente San Pedro

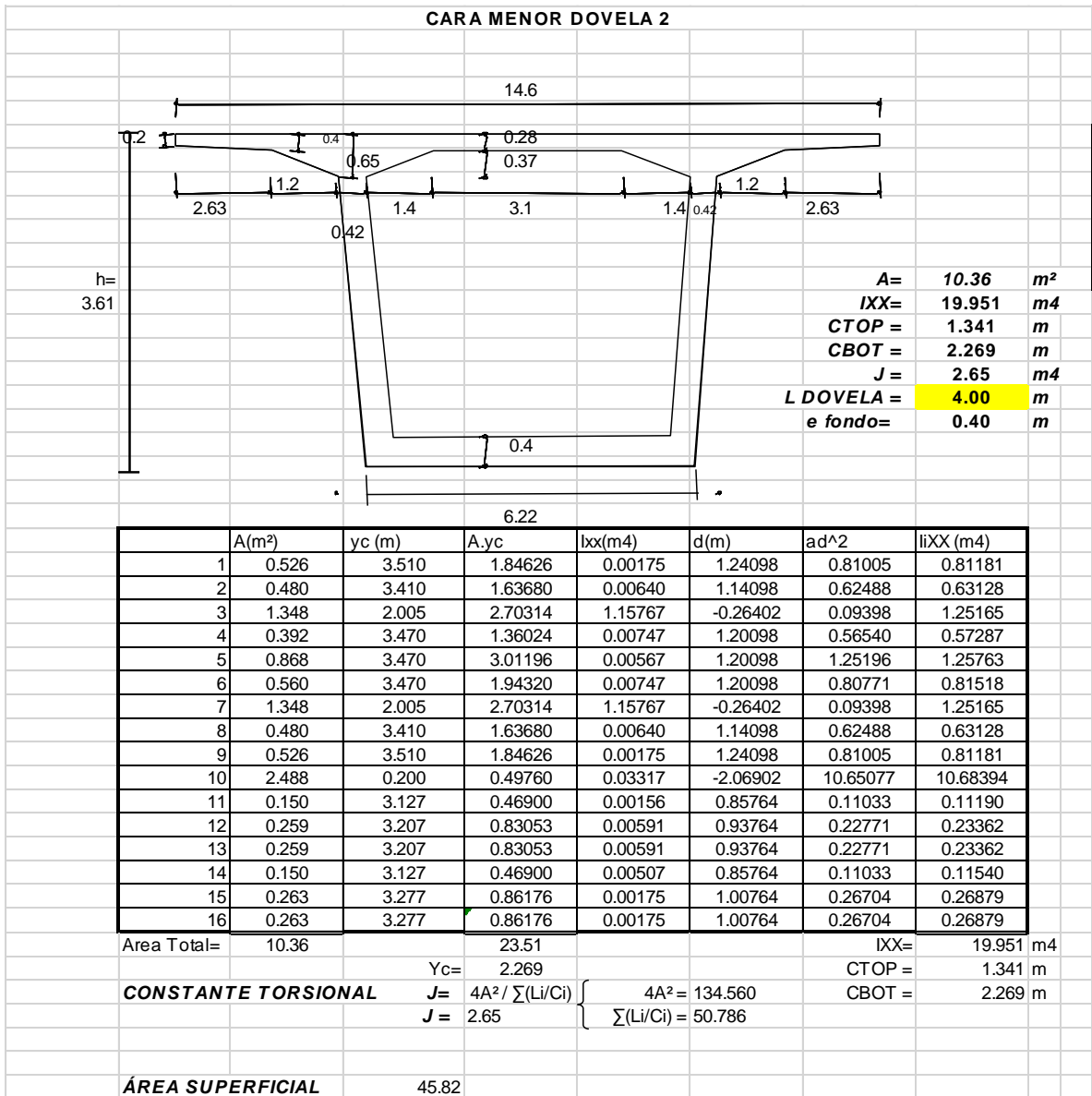


Figura 48 Geometría cara menor dovela 2 - Puente San Pedro

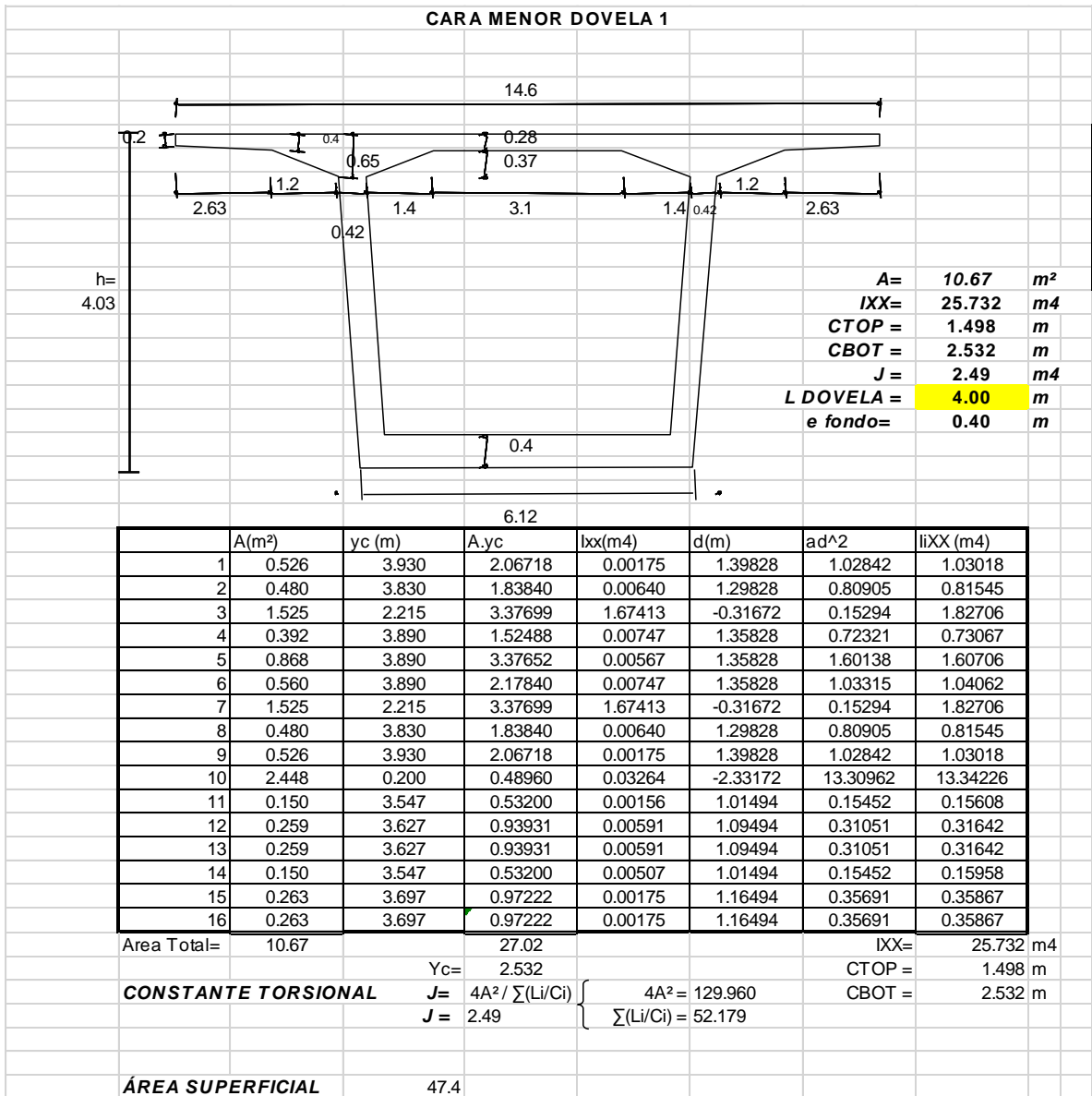


Figura 49 Geometría cara menor dovela 1 - Puente San Pedro

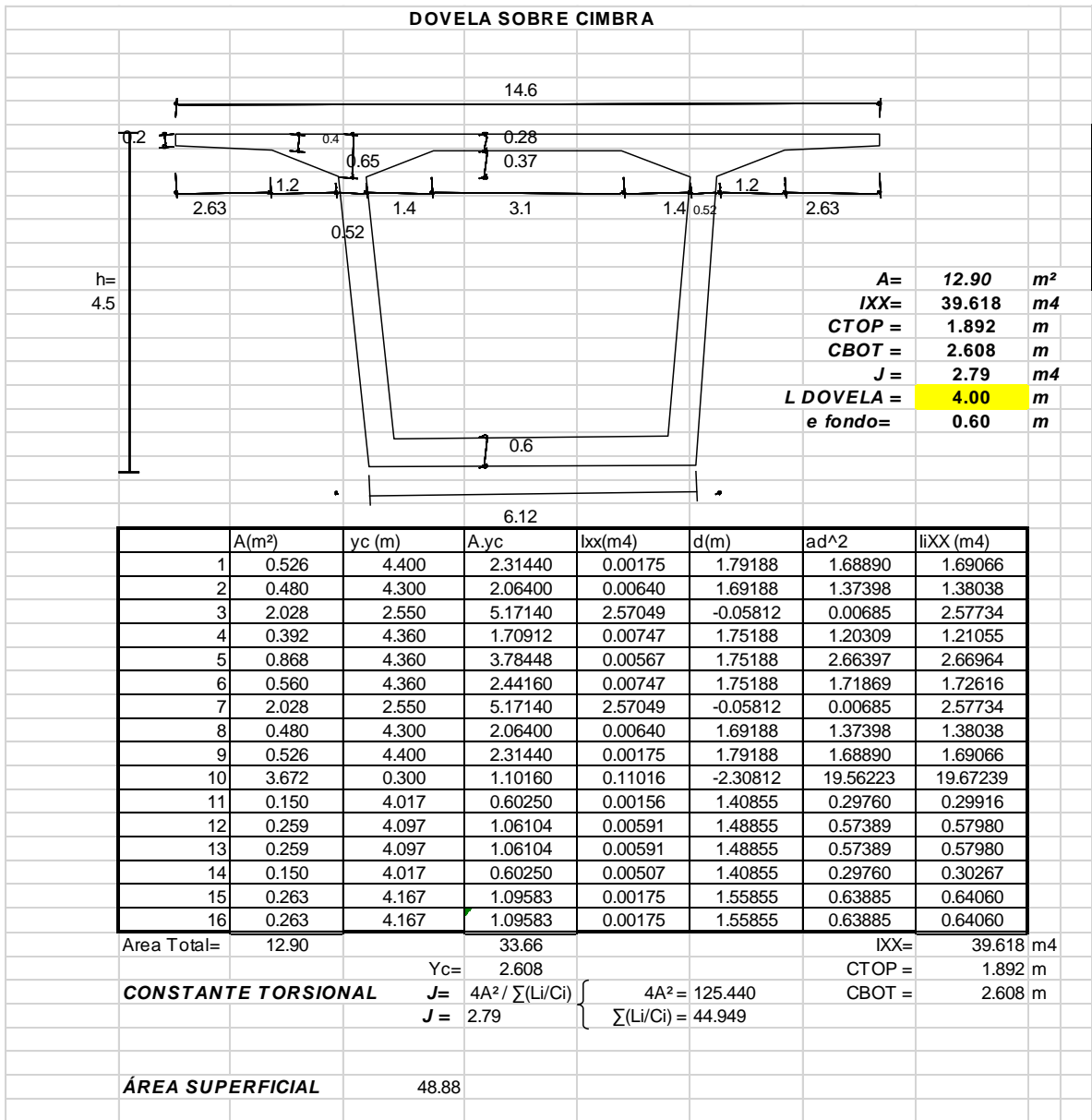


Figura 50 Geometría dovela sobre cimbra - Puente San Pedro

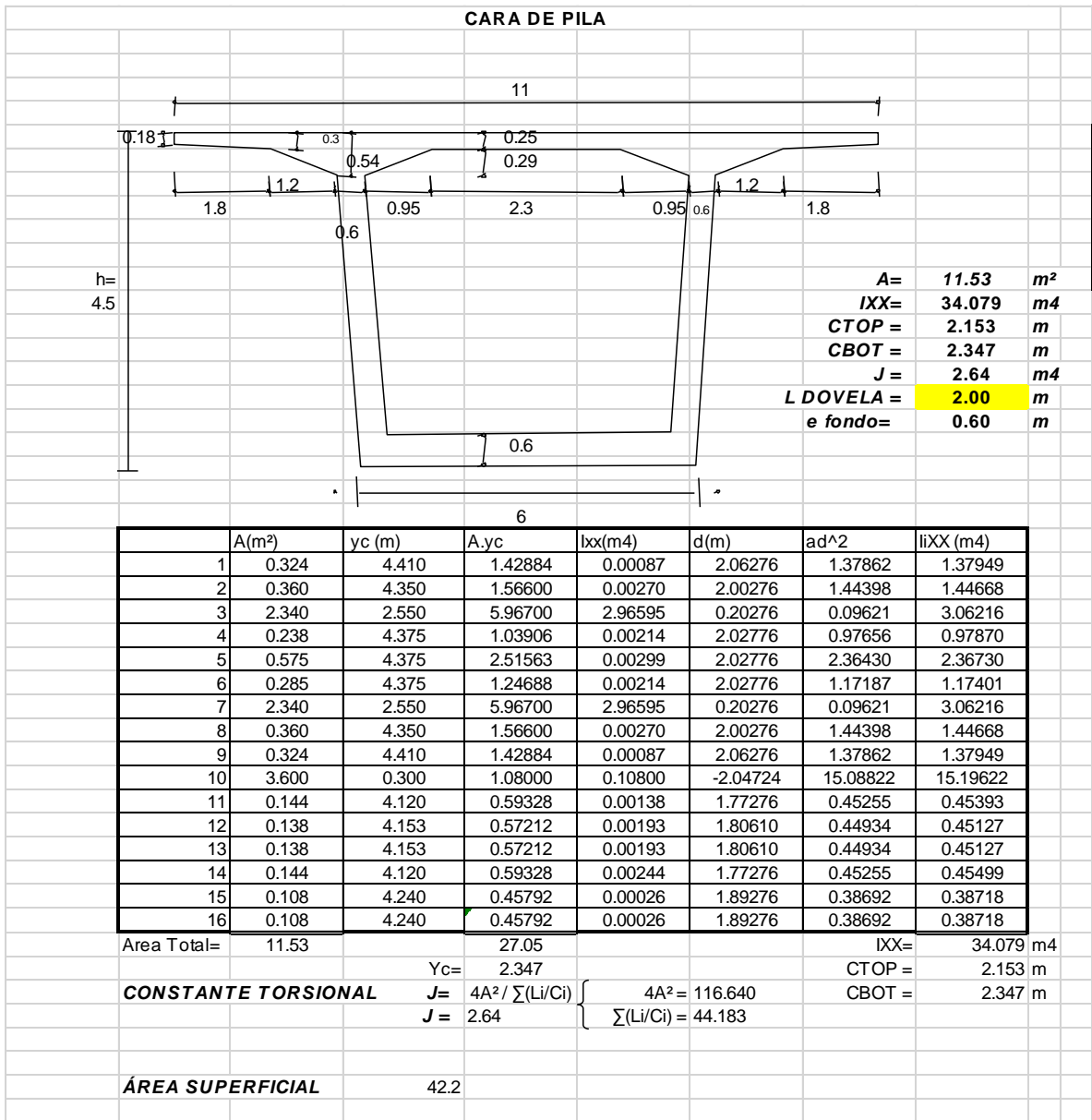


Figura 51 Geometría dovela cara de pila - Puente San Pedro

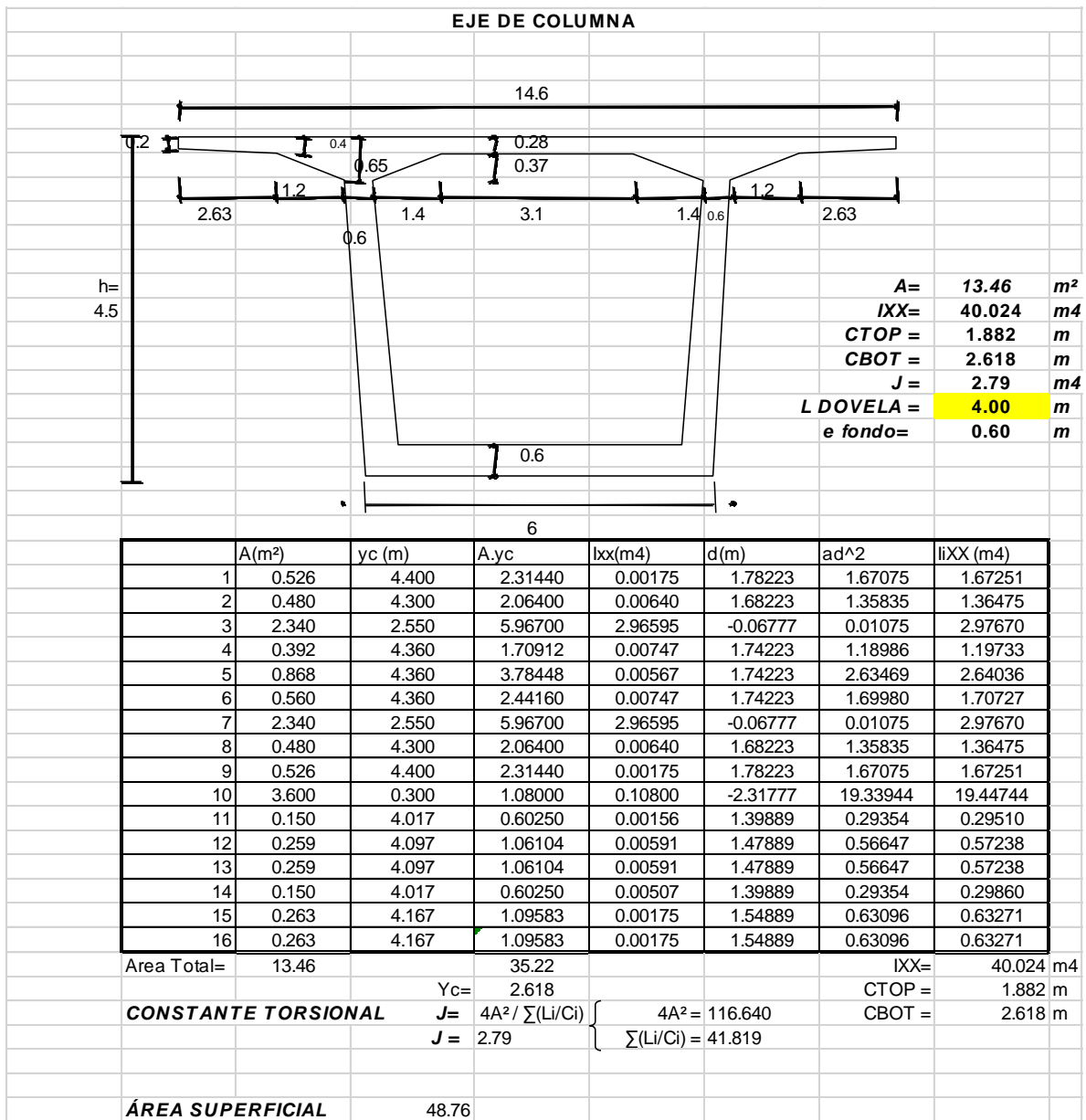


Figura 52 Geometría dovela eje de columna - Puente San Pedro

Capítulo VIII Análisis estructural

8.1 Puente Vía a Minca – CCDSP-95

8.1.1 Evaluación de cargas

8.1.1.1 Carga Viva (LL)

La carga viva con la que se analizó el puente corresponde a la del camión C-40-95, cuyo peso total es de 40.0 t.

De forma conservadora se tomó un valor del 25% para el impacto para el análisis de todas las luces que conforman el puente.

Tabla 9 Porcentajes de impacto – Puente Vía a Minca.

Luz (m)	% Impacto
24	0.25
32	0.22

Para las luces mayores a 28.0 m se introdujo la carga viva como carga de carril y para las luces menores a 28.0 m como el camión propiamente dicho.

8.1.1.2 Factor de reducción de carga

El análisis por carga viva se realizó teniendo en cuenta dos condiciones:

1. El paso de un solo camión, permitiéndole desplazarse transversalmente a través del ancho libre del puente, con un factor de 1.0.
2. El paso de dos camiones, permitiéndoles desplazarse transversalmente por la mitad del ancho libre del puente, con un factor de 1.0

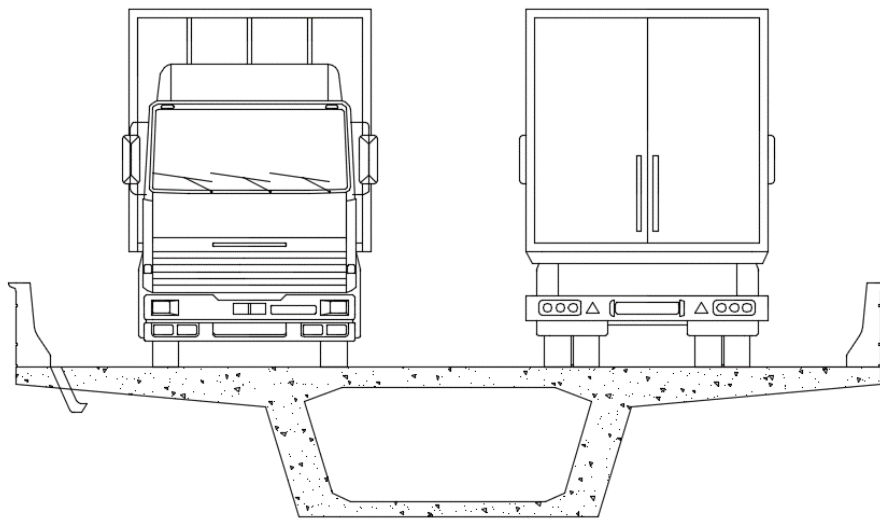


Figura 53 Número de carriles Puente Vía Minca

8.1.2 Combinaciones de diseño

Para el análisis de la superestructura se obtuvieron los esfuerzos por la combinación de diseño Grupo I.

La subestructura se analizó con la combinación de diseño Grupo VII.

8.1.3 Análisis sísmico

Los siguientes aspectos son importantes en el análisis sísmico.

- El puente vehicular se encuentra ubicado en cercanías de la ciudad de Santa Marta en el departamento del Magdalena, por lo que se empleó un coeficiente de aceleración efectiva $A_a = 0.15$, de acuerdo a la figura A.3.5-1 del CCP 200-95.
- El espectro empleado en el análisis estructural se presenta en la siguiente figura.

$$\begin{aligned} A &= 0.15 \\ \text{Tipo de Suelo} &= S3 \\ S &= 1.5 \\ S_{am} &= \frac{1.2 \times A \times S}{T_m^{2/3}} \leq 2.5 \times A \end{aligned}$$

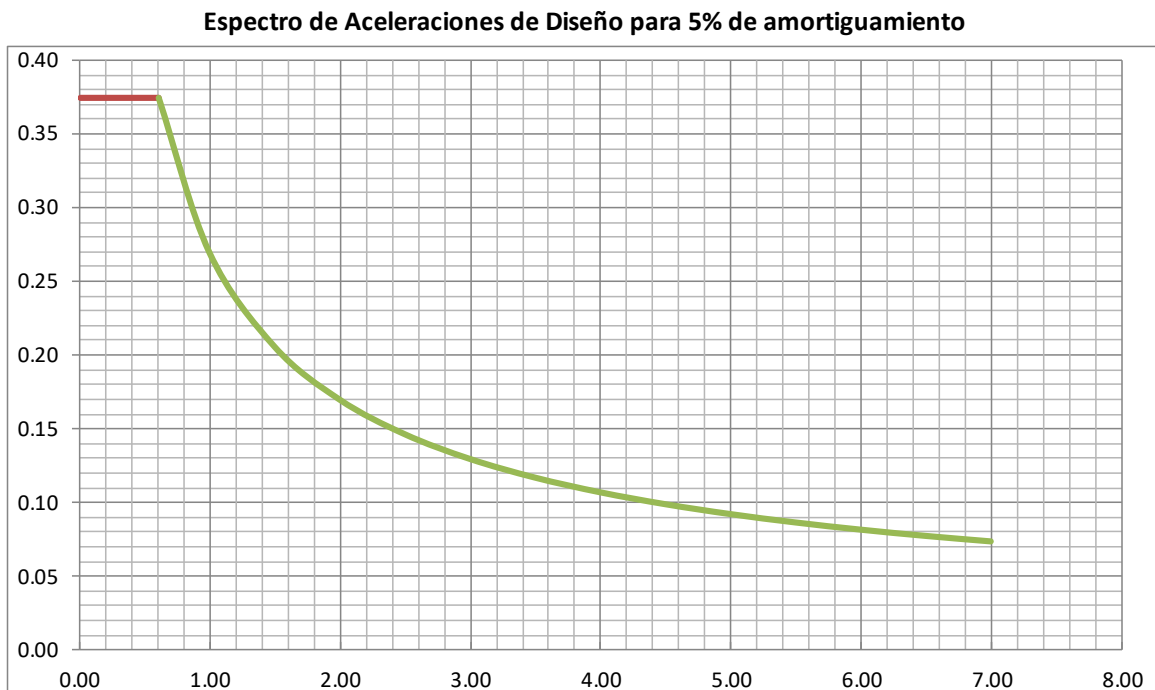


Figura 54 Espectro de diseño Puente Vía a Minca CCDSP-95

8.1.4 Entrada de datos al programa SAP 2000

8.1.4.1 Esquema 3D

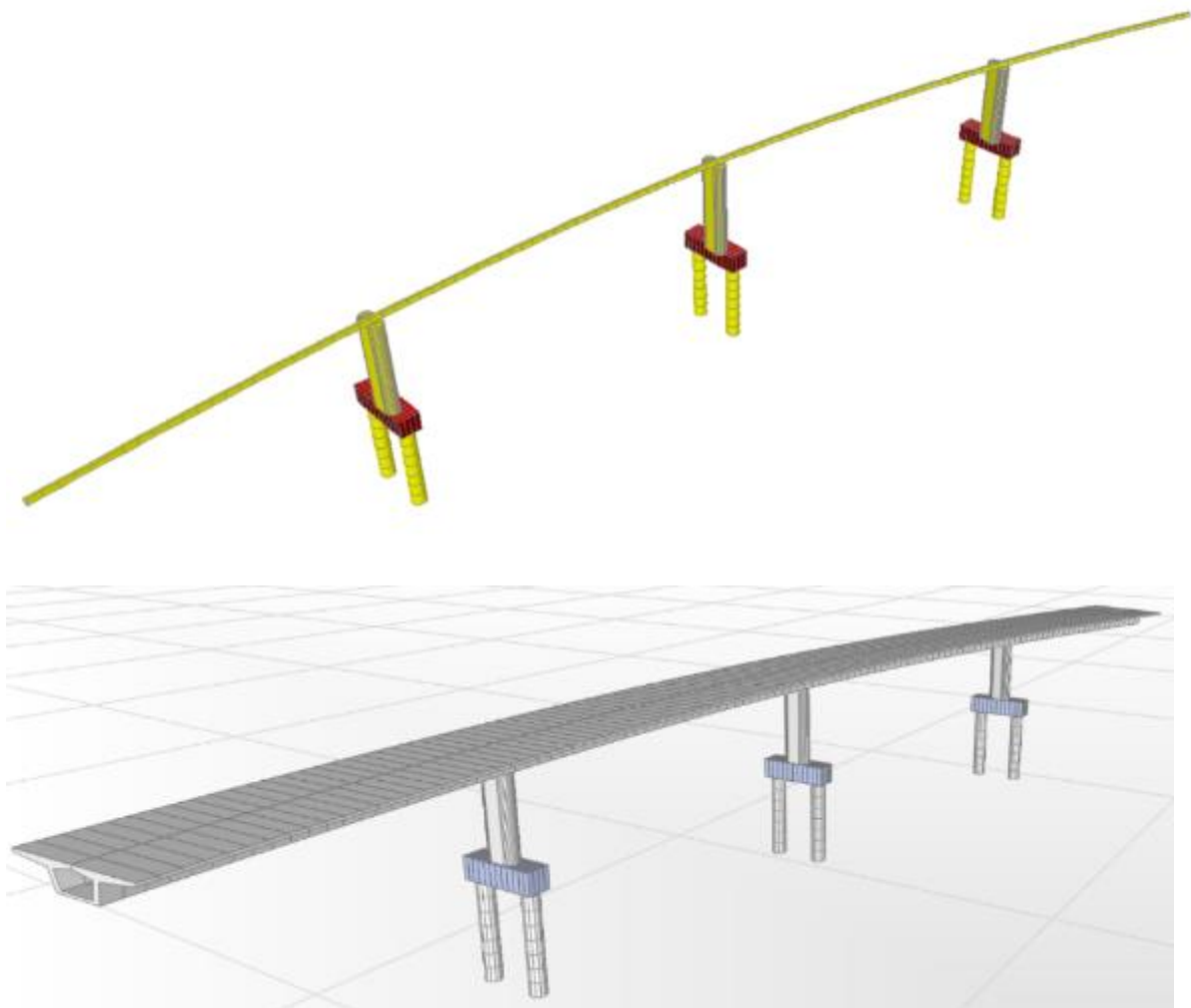


Figura 55 Esquema 3D – Puente Vía a Minca

8.1.4.2 Carga Viva Vehicular

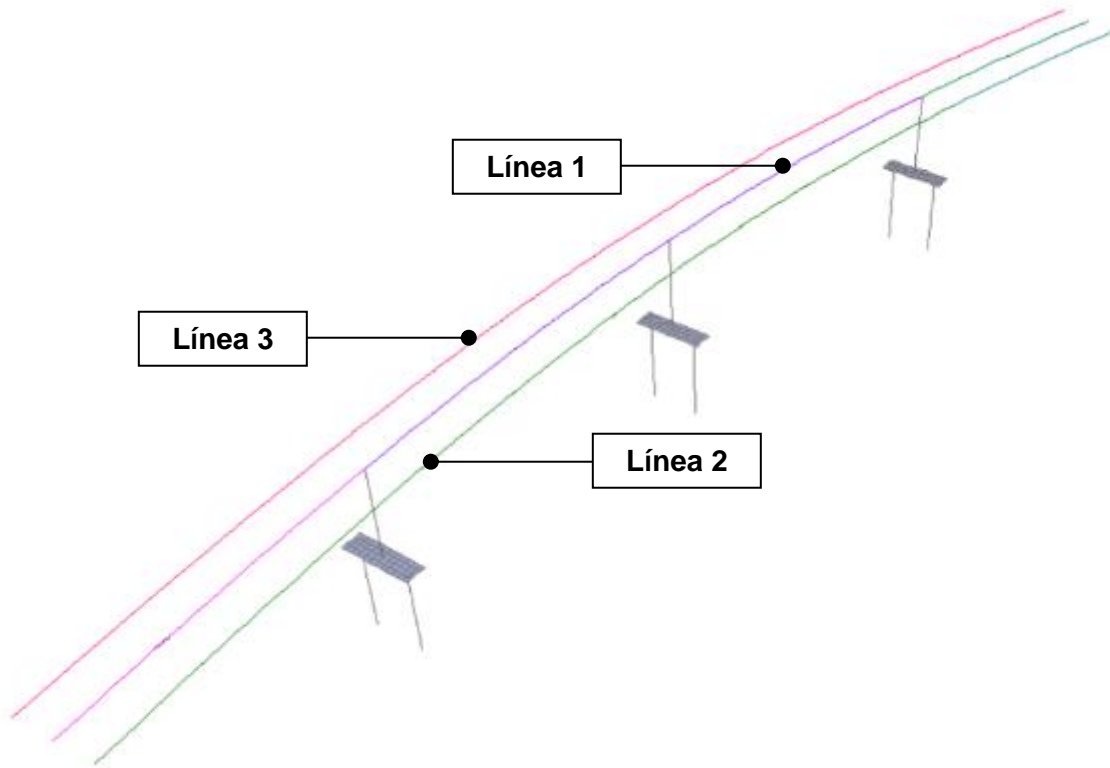


Figura 56 Líneas de carga - CCDSP-95 SAP2000 - Puente Vía a Minca

General Vehicle Data

Vehicle name: CAMION1 Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3048
Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects:

Axle: User Modify/Show...
Uniform: User Modify/Show...

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Fixed Length	4		0	Zero Width		15	One Point	
Fixed Length	4		0	Zero Width		15	One Point	
Variable Length	4	9	0	Zero Width		15	One Point	
Fixed Length	4		0	Zero Width		10	One Point	
Trailing Load	Infinite		0	Zero Width				

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 57 Carga de camión C40-95 SAP2000 - Puente Vía a Minca

General Vehicle Data

Vehicle name: C4095LINEA-1CDR Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3048
Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects:

Axle: None Modify/Show...
Uniform: None Modify/Show...

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		1.5	Zero Width		16	One Point	
Leading Load	Infinite		1.5	Zero Width		16	One Point	
Trailing Load	Infinite		1.5	Zero Width				

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 58 Línea de tráfico para cortante C40-95 SAP2000 - Puente Vía a Minca

General Vehicle Data

Vehicle name: C4095LINEA-1MDM Units: Tonf. m. C

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3048
Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects:

Axle: None
Uniform: None

Load Plan

Load Elevation

Loads:

Load	Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite			1.5	Zero Width		12	One Point	
Trailing Load	Infinite			1.5	Zero Width				

Add Insert Modify Delete

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 59 Línea de tráfico para momento C40-95 SAP2000 - Puente Vía a Minca

8.1.5 Análisis Viga Cajón Continua

8.1.5.1 Diagrama de momentos y cortantes (Unidades: kN-m)

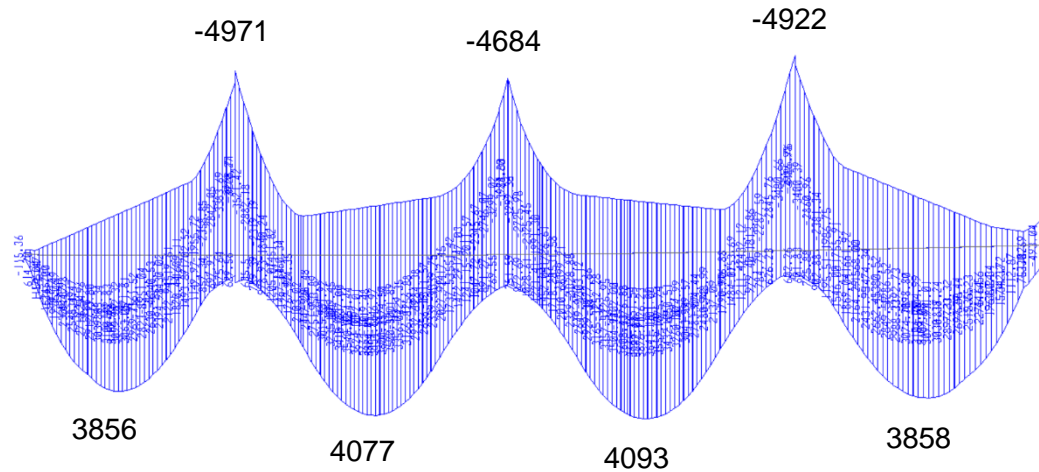


Figura 60 Momento carga viva vehicular – Viga cajón continua - Puente Vía a Minca

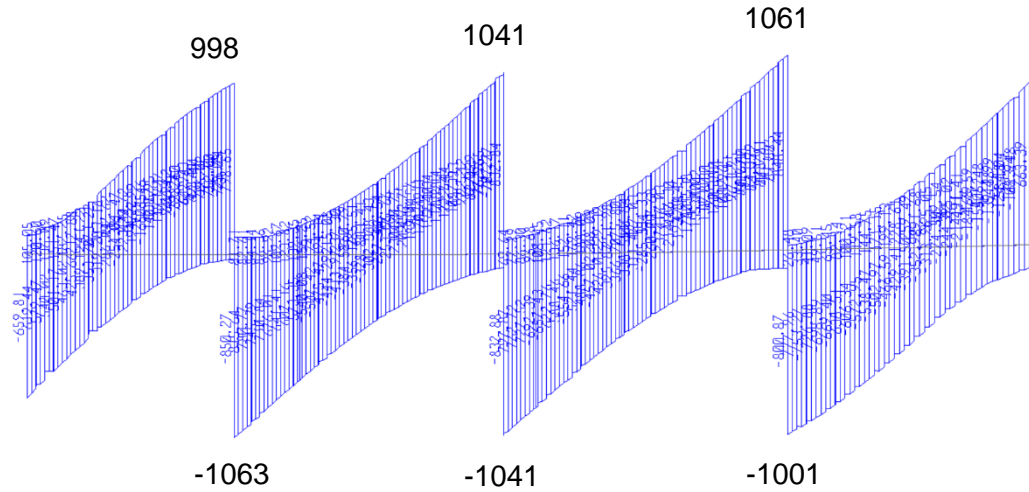


Figura 61 Cortante carga viva vehicular - Viga cajón continua - Puente Vía a Minca

Con las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 5.1.1 se obtuvieron los diagramas de momentos y cortantes, para la envolvente de diseño.

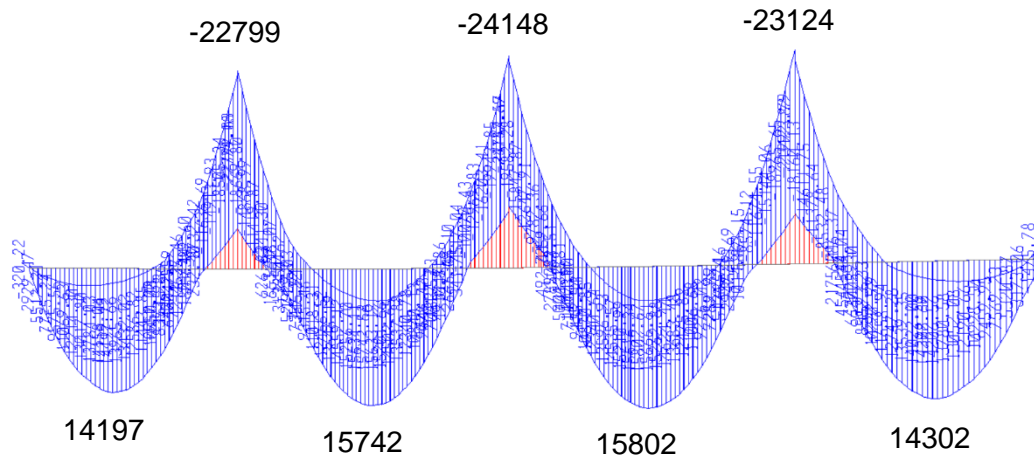


Figura 62 Momento por envolvente de diseño – Viga cajón continua - Puente Vía a Minca

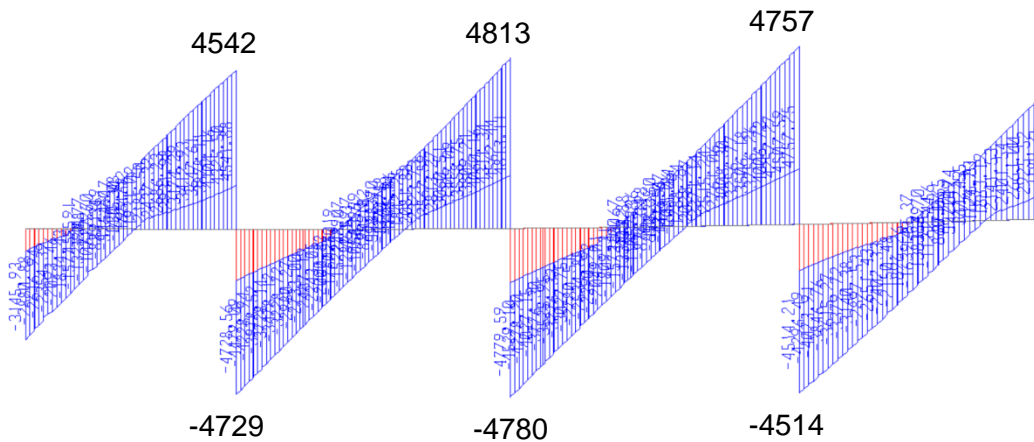


Figura 63 Cortante por envolvente de diseño - Viga cajón continua - Puente Vía a Minca

8.1.6 Análisis de columnas

8.1.6.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)



Figura 64 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Vía a Minca

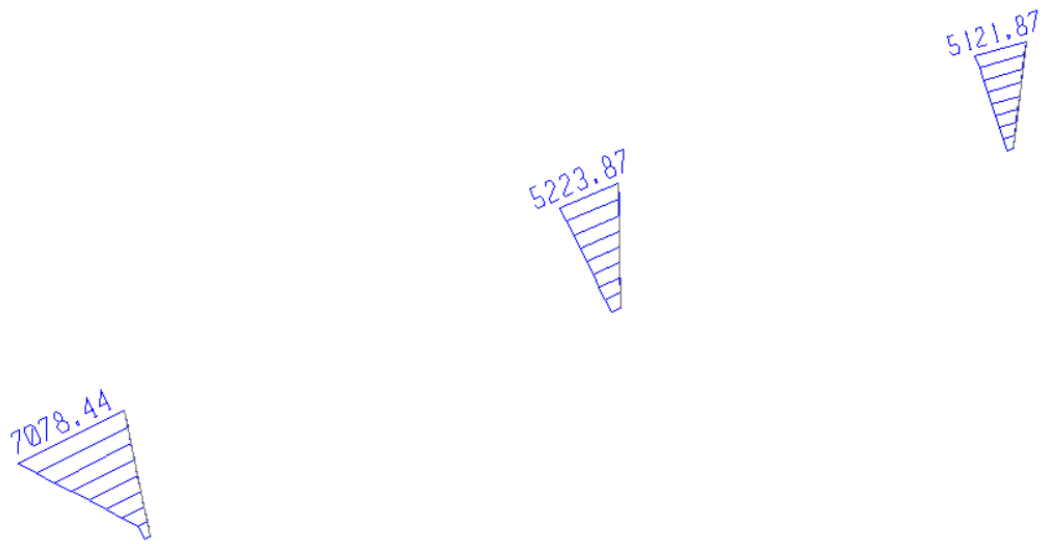


Figura 65 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca

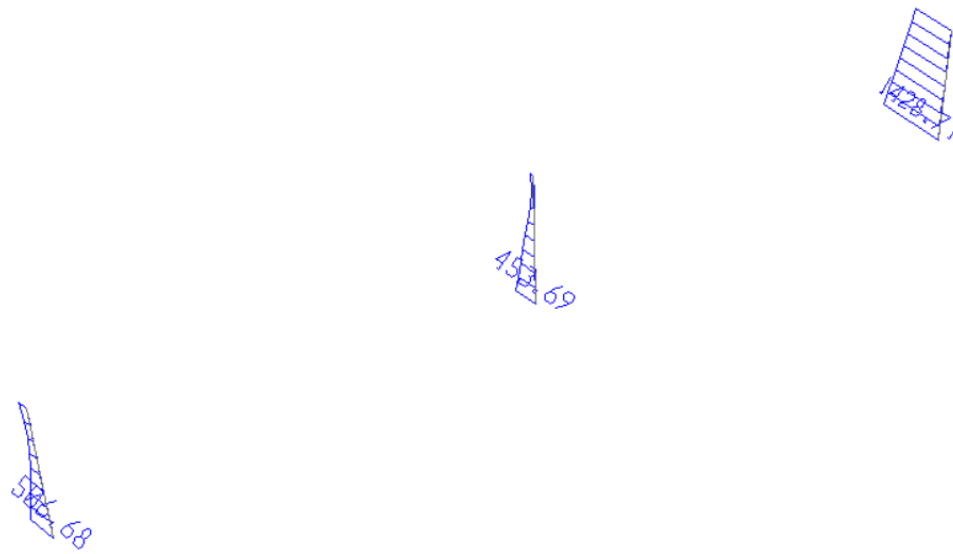


Figura 66 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca

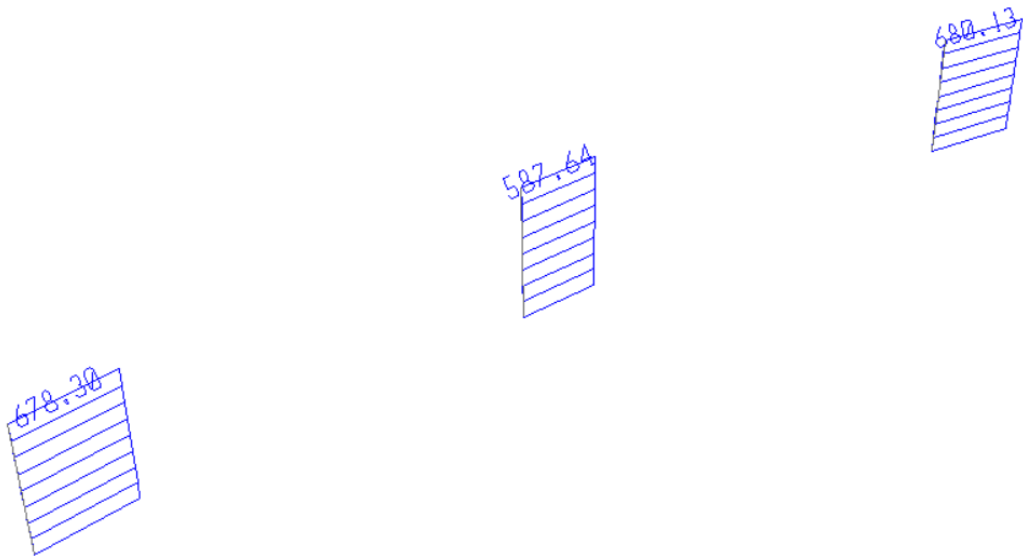


Figura 67 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Vía a Minca

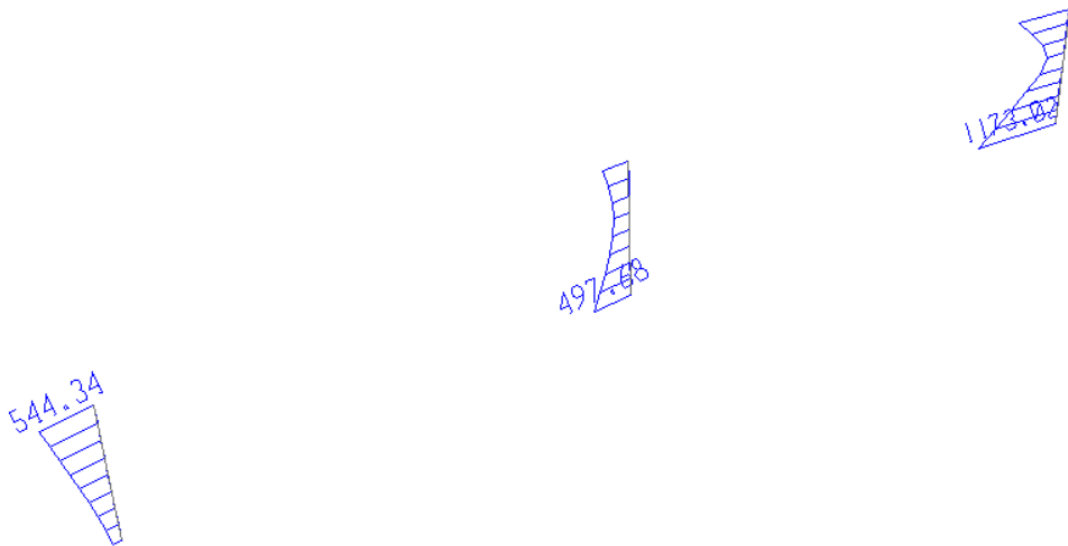


Figura 68 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca

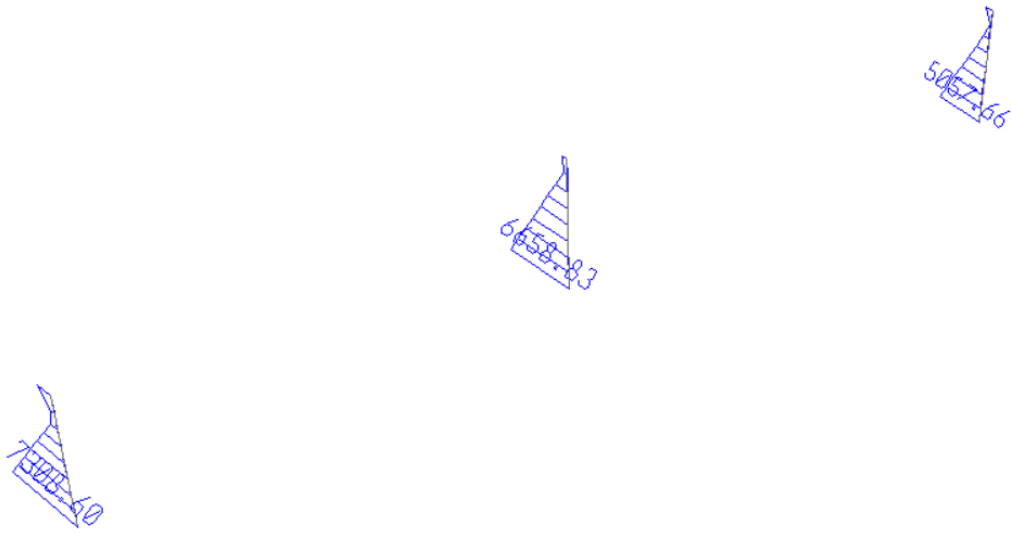


Figura 69 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca

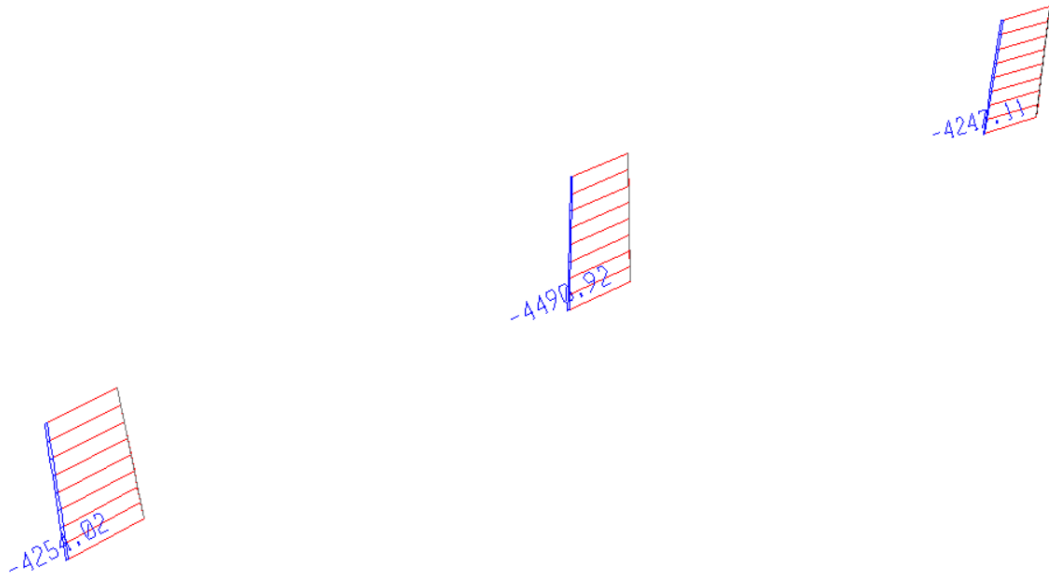


Figura 70 Diagrama de Carga Axial por Envoltorio de Diseño – Puente Vía a Minca

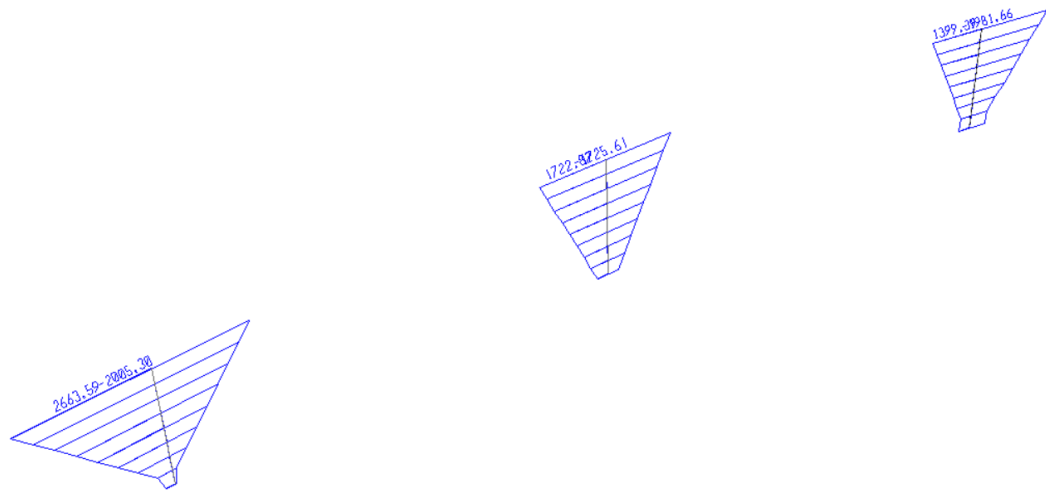


Figura 71 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca

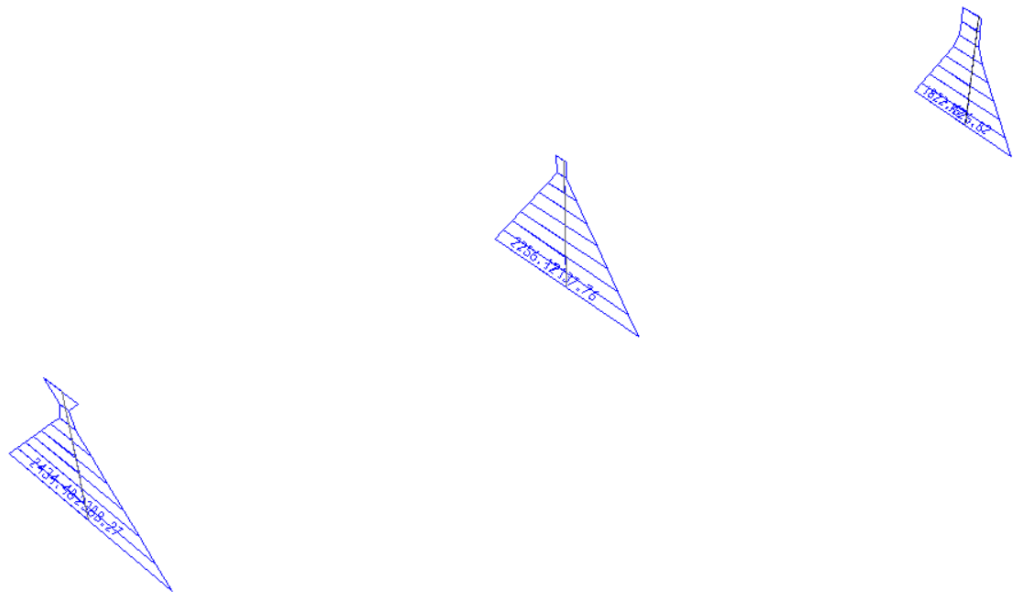


Figura 72 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca

8.1.7 Análisis de pilotes

8.1.7.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

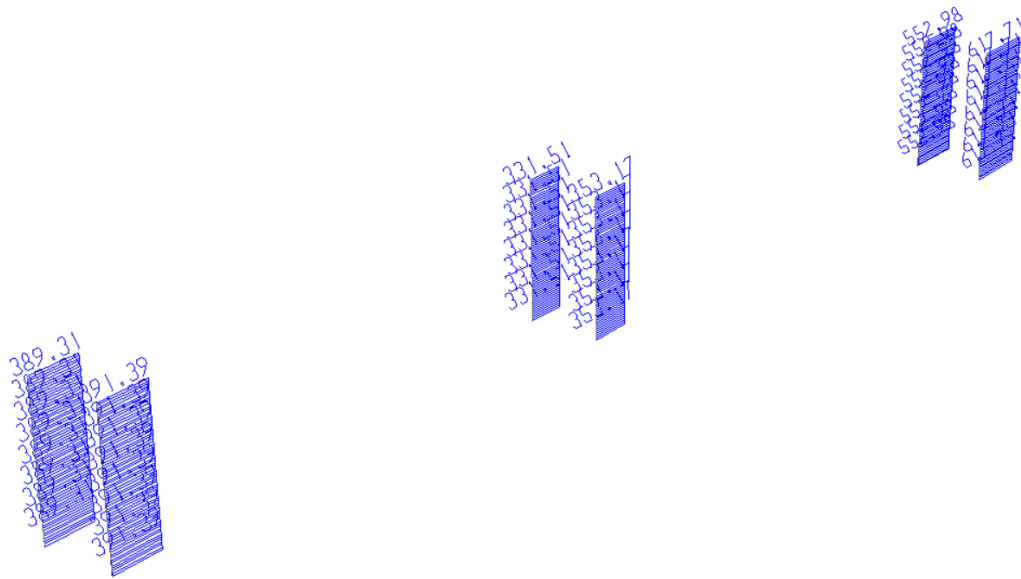


Figura 73 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Vía a Minca

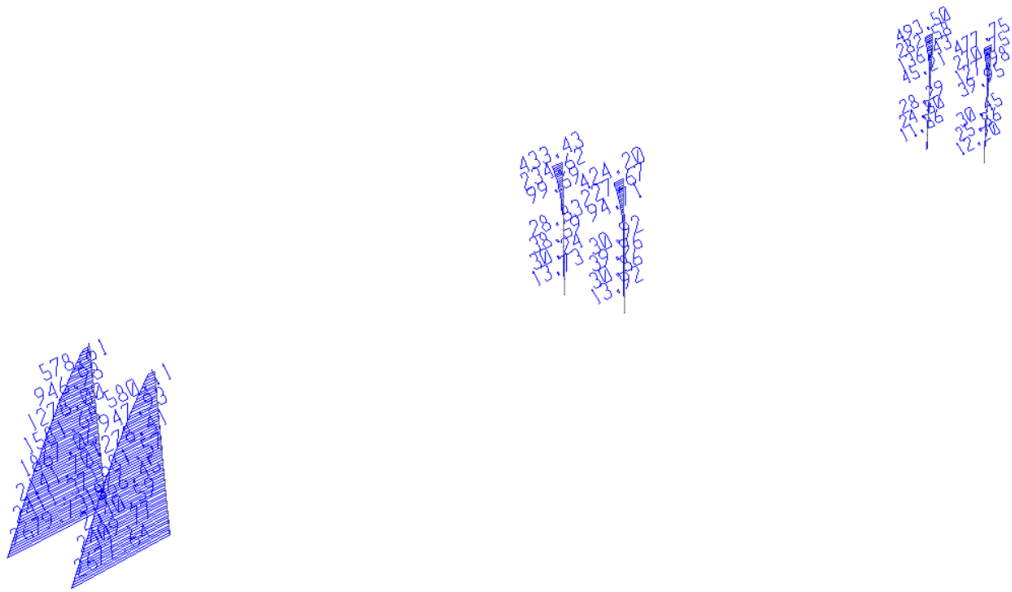


Figura 74 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca

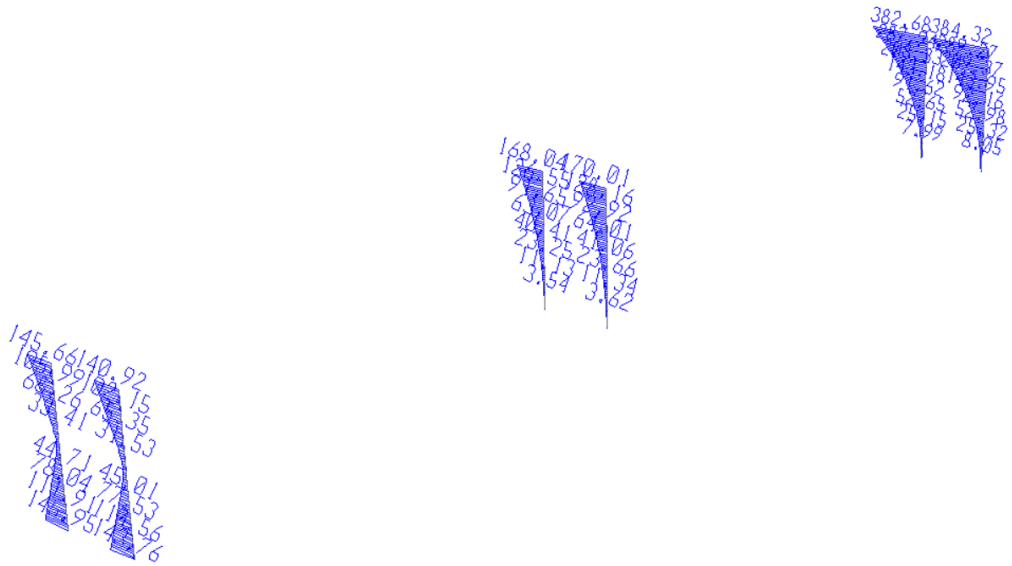


Figura 75 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca

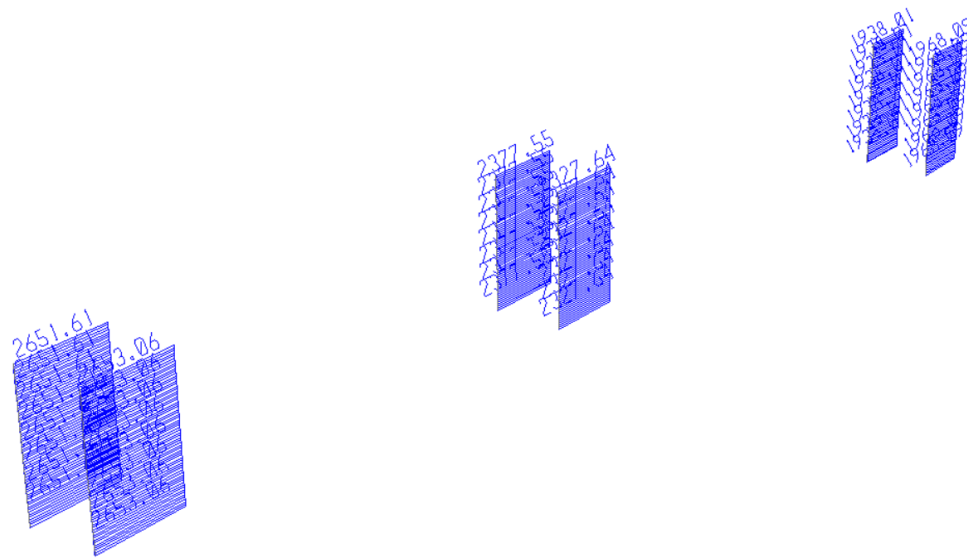


Figura 76 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Vía a Minca

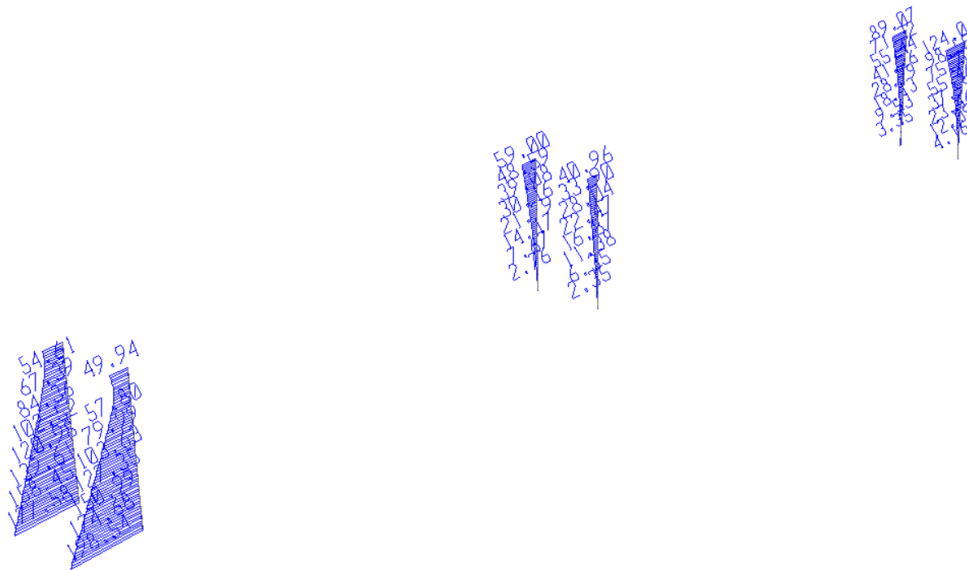


Figura 77 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca

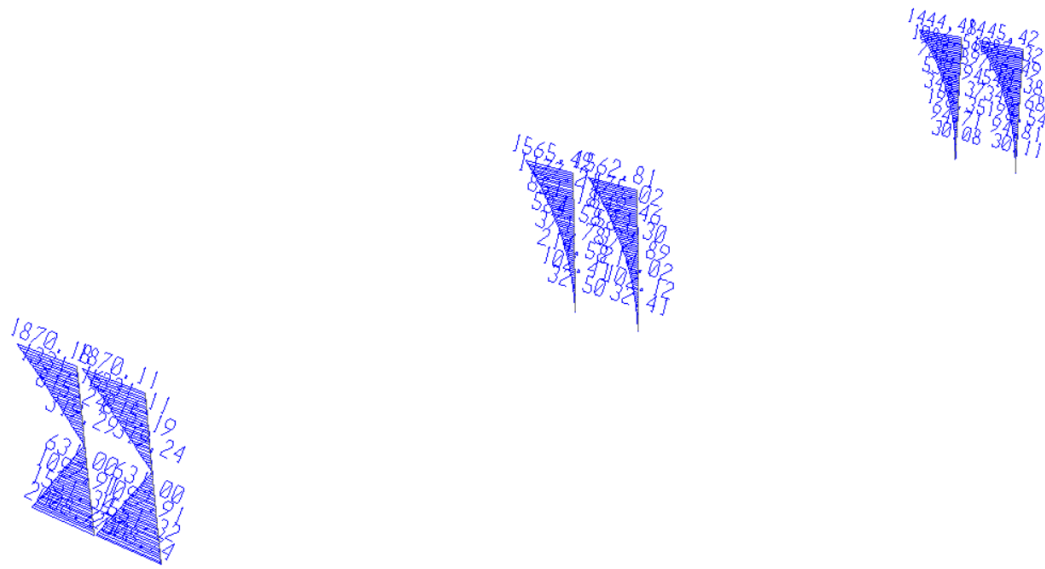


Figura 78 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca



Figura 79 Diagrama de Carga Axial por Envoltorio de Diseño – Puente Vía a Minca

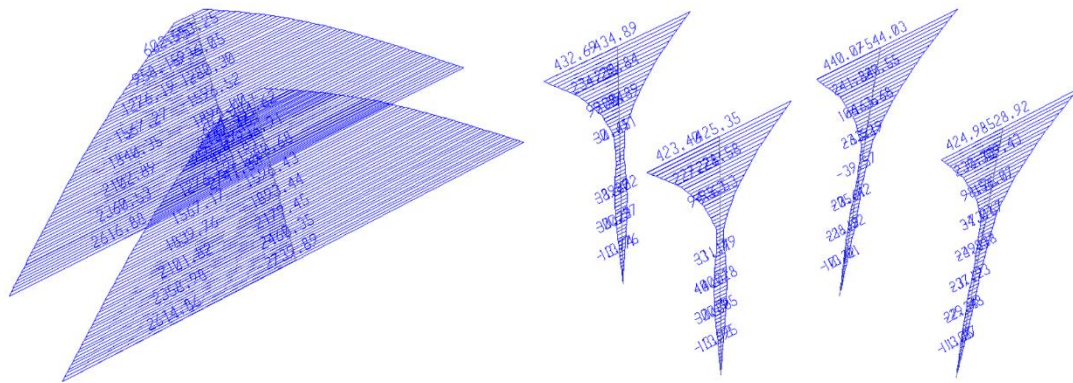


Figura 80 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca

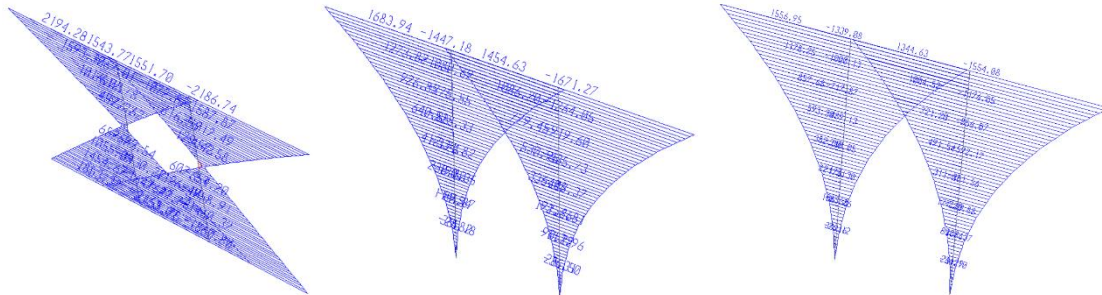


Figura 81 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca

8.2 Puente Vía a Minca – CCP-14

8.2.1 Evaluación de cargas

8.2.1.1 Carga Viva (LL)

De acuerdo con el CCP-14 sección 3, se emplea el camión de diseño CC-14, el cual consiste en un camión propiamente dicho o tándem y una carga distribuida, como se explicó en el Numeral 6.1.4.1.

8.2.1.2 Factor de amplificación dinámica (IM)

Se consideró un factor de amplificación dinámica de 33%. Solo se aplicó a la porción correspondiente al camión o tándem y no a la carga de carril.

8.2.1.3 Factor de multi presencia

El análisis por carga viva se realizó teniendo en cuenta dos condiciones:

1. El paso de un solo camión, permitiéndole desplazarse transversalmente a través del ancho libre del puente, con un factor de 1.2.
2. El paso de dos camiones, permitiéndoles desplazarse transversalmente por la mitad del ancho libre del puente, con un factor de 1.0

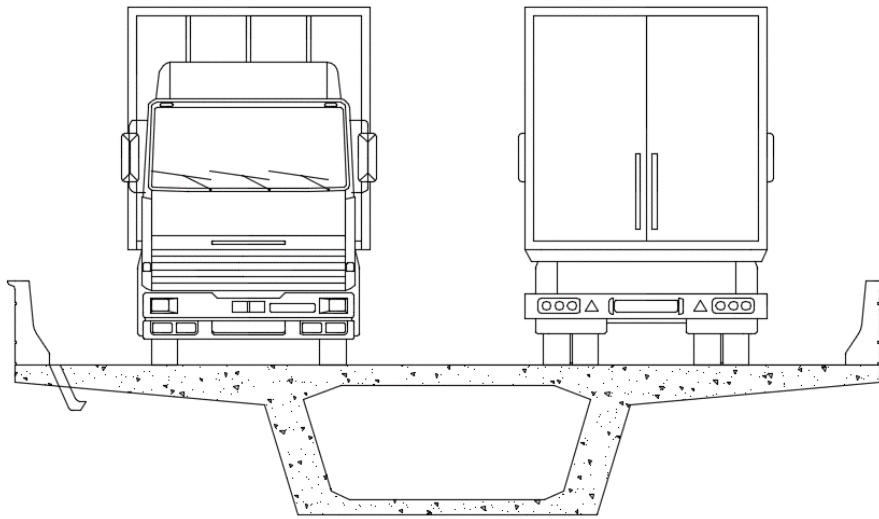


Figura 82 Número de carriles Puente Vía Minca

8.2.2 Combinaciones de diseño

Para el análisis de la superestructura se obtuvieron los esfuerzos por la combinación de diseño Resistencia I.

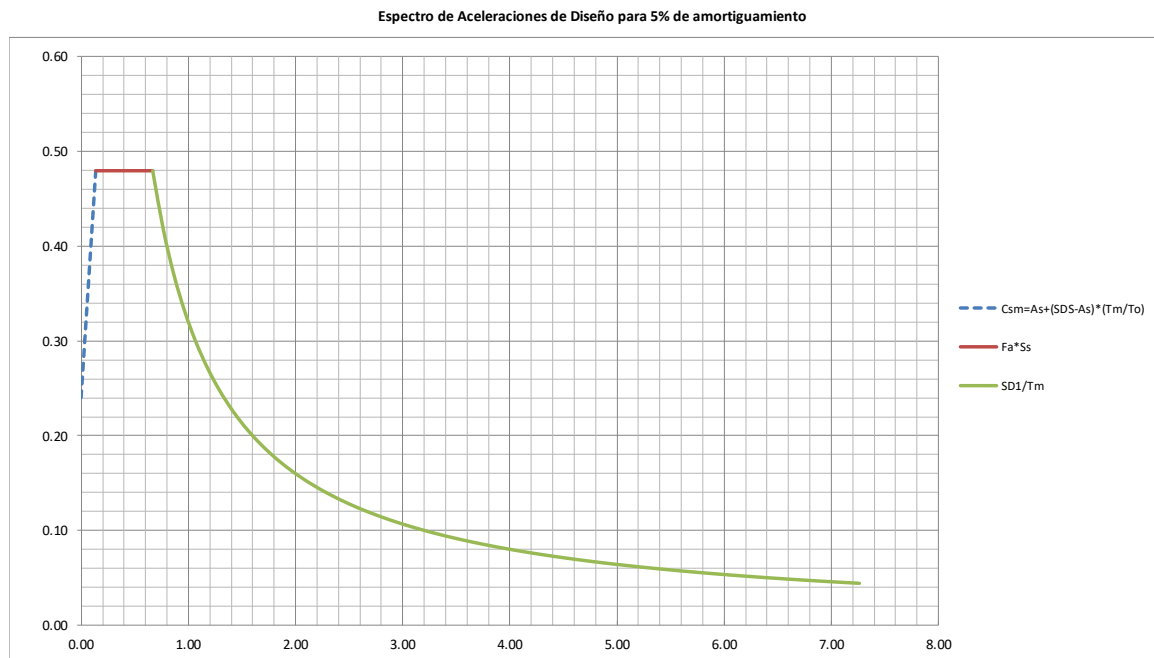
La subestructura se analizó con la combinación de diseño Evento Extremo I.

8.2.3 Análisis sísmico

Los siguientes aspectos son importantes en el análisis sísmico.

- El puente vehicular se encuentra ubicado en cercanías de la ciudad de Santa Marta en el departamento del Magdalena, por lo que se emplea un coeficiente de aceleración pico del terreno $PGA= 0.20$, coeficiente de período corto $S_s=0.40$ y coeficiente de período largo $S_1=0.20$. Tipo de perfil del terreno C.
- El espectro empleado en el análisis estructural se presenta en la siguiente figura.

PGA	0.20	As	0.24
Ss	0.40	SDS	0.48
S1	0.20	SD1	0.32
FPGA	1.20	TS	0.67
Fa	1.20	To	0.13
Fv	1.60		



8.2.4 Entrada de datos al programa SAP 2000

8.2.4.1 Esquema 3D

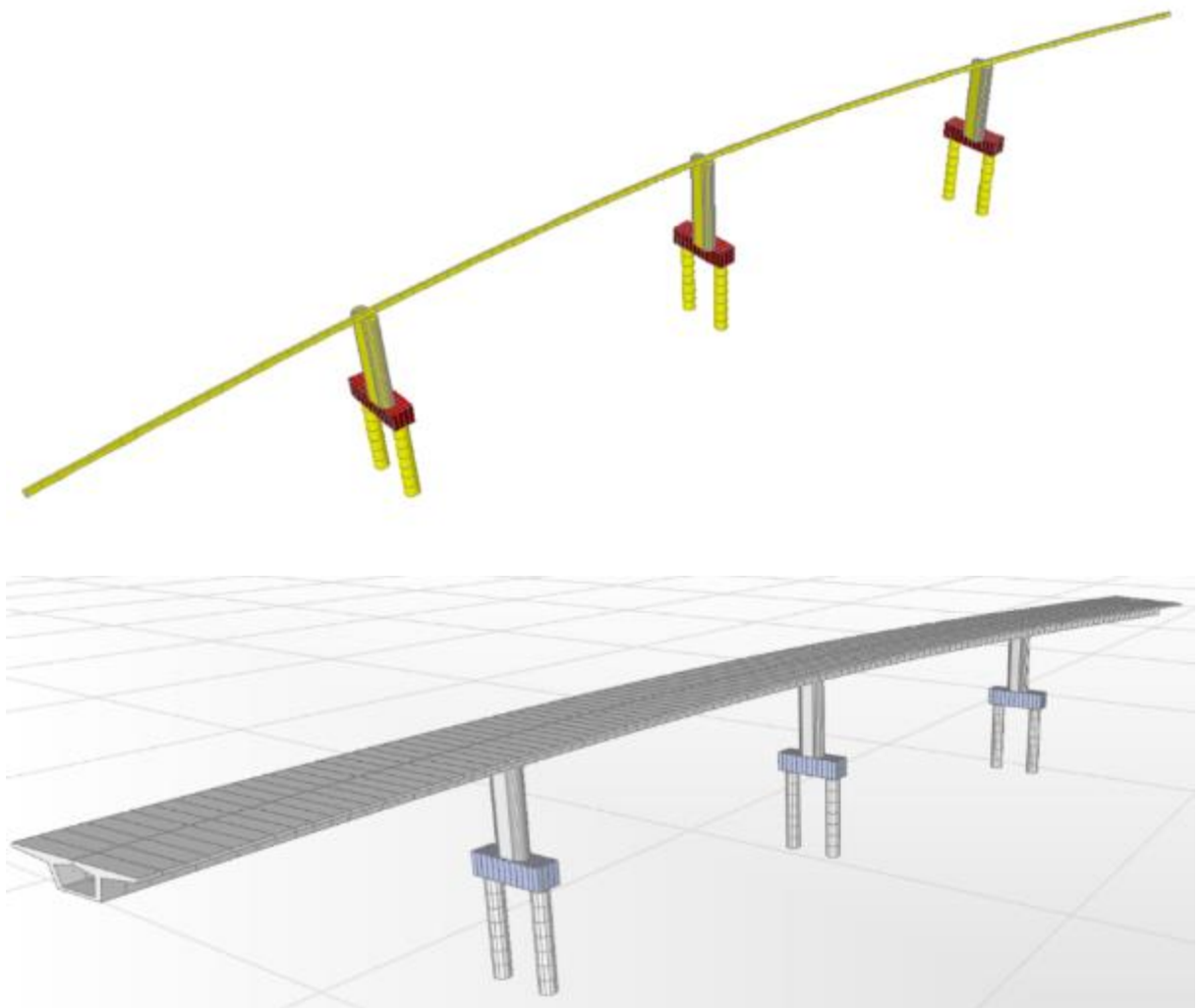


Figura 84 Esquema 3D – Puente Vía a Minca

8.2.4.2 Carga Viva Vehicular

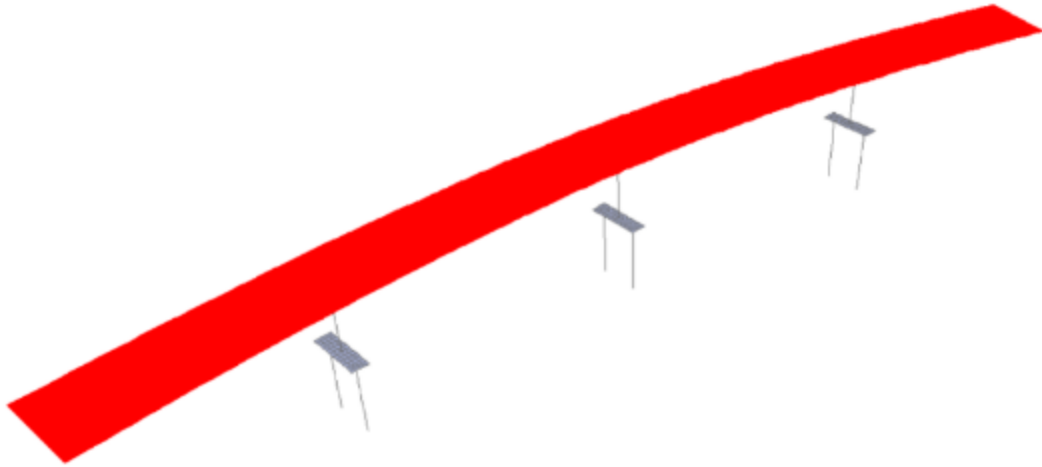


Figura 85 Línea de carga 1 – CCP-14 SAP2000 - Puente Vía a Minca

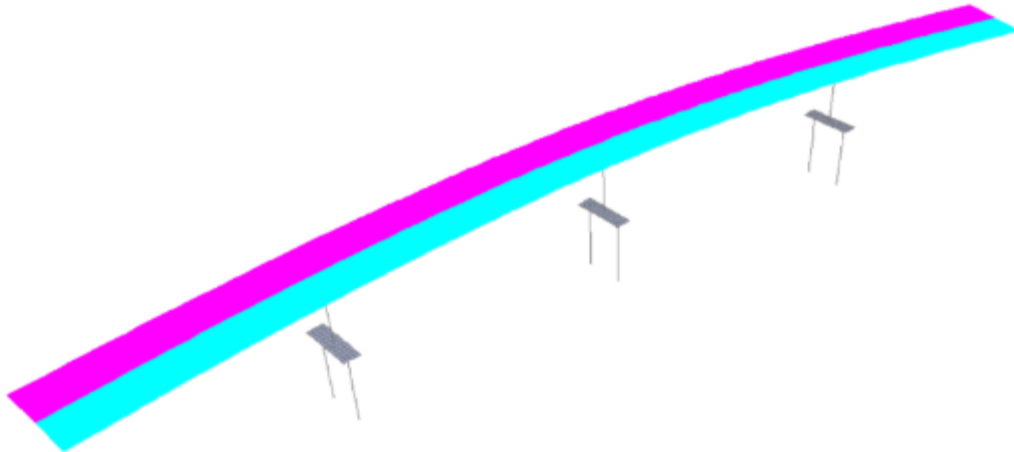


Figura 86 Líneas de carga 2 y 3 – CCP-14 SAP2000 - Puente Vía a Minca

General Vehicle Data

Vehicle name: CCP-14-Canyon Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads

For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: []
 For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: []

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects

Axle: None
 Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	5.4249	Two Points	1.8
Leadup Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	5.4249	Two Points	1.8
Fixed Length	4.3	1.0503	1.0503	Fixed Width	3	21.6996	Two Points	1.8
Variable Length	4.3	9	1.0503	Fixed Width	3	21.6996	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3			

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor: []
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 87 Carga de camión CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Vía a Minca

General Vehicle Data

Vehicle name: CCP-14-Tandem Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads

For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: []
 For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: []

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects

Axle: None
 Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8
Leadup Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8
Fixed Length	1.2	1.0503	1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3			

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor: []
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 88 Carga de tándem CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Vía a Minca

General Vehicle Data

Vehicle name: CCP-14-2_Camiones Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads

For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: []
 For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: []

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects

Axle: None
 Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	5.4249	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	5.4249	Two Points	1.8
Fixed Length	4.3		1.0503	Fixed Width	3	21.6996	Two Points	1.8
Fixed Length	4.3		1.0503	Fixed Width	3	21.6996	Two Points	1.8
Variable Length	15	0 (Infinite)	1.0503	Fixed Width	3	5.4249	Two Points	1.8
Fixed Length	4.3		1.0503	Fixed Width	3	21.6996	Two Points	1.8
Fixed Length	4.3		1.0503	Fixed Width	3	21.6996	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	21.6996	Two Points	1.8

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor: []
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 89 Carga de dos camiones CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Vía a Minca

General Vehicle Data

Vehicle name: CCP-14-2_Tandem Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads

For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: []
 For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: []

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects

Axle: None
 Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8
Fixed Length	1.2		1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8
Fixed Length	8	12	1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8
Fixed Length	1.2		1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	16.9528	Two Points	1.8

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor: []
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete, OK, Cancel

Figura 90 Carga de dos tándem CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Vía a Minca

8.2.5 Análisis Viga Cajón Continua

8.2.5.1 Diagrama de momentos y cortantes (Unidades: kN-m)

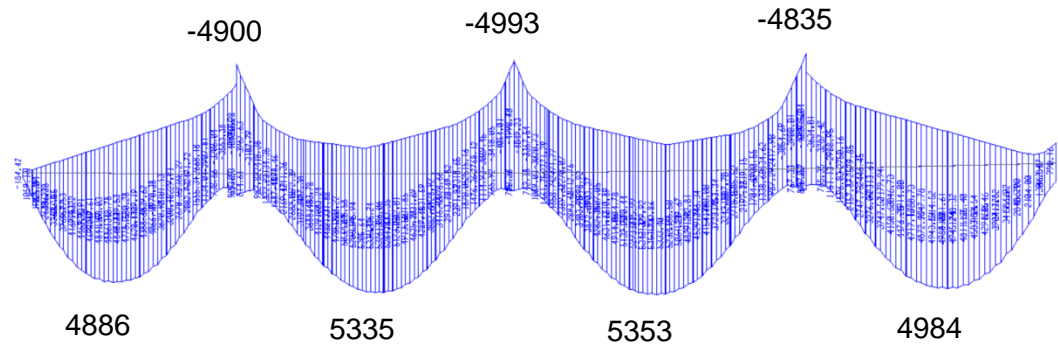


Figura 91 Momento carga viva vehicular – Viga cajón continua - Puente Vía a Minca

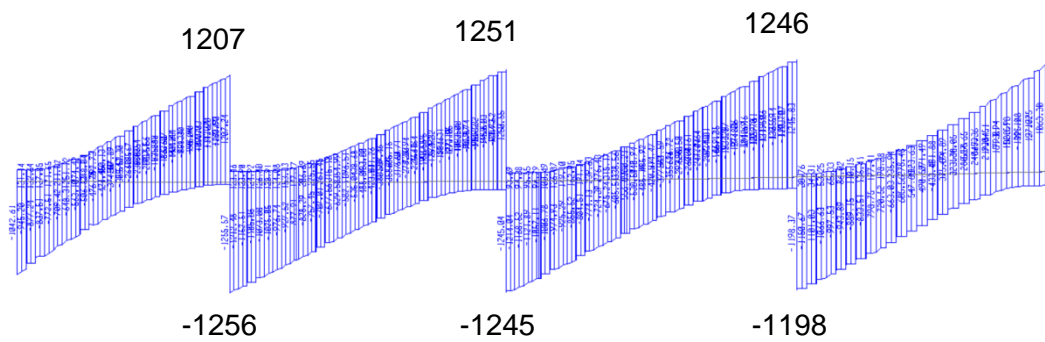


Figura 92 Cortante carga viva vehicular - Viga cajón continua - Puente Vía a Minca

Con las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 6.1.3 se obtuvo el diagrama de momentos y cortantes, para la envolvente de diseño.

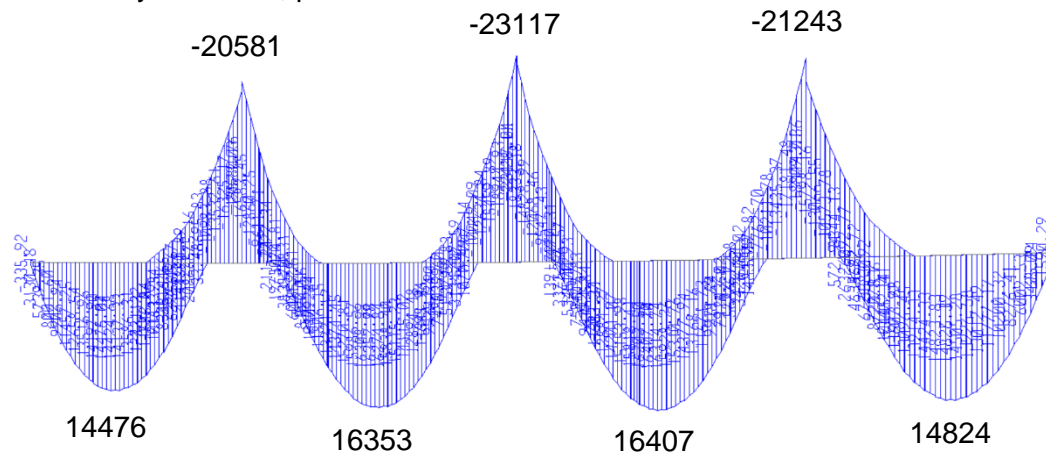


Figura 93 Momento por envolvente de diseño – Viga cajón continua - Puente Vía a Minca

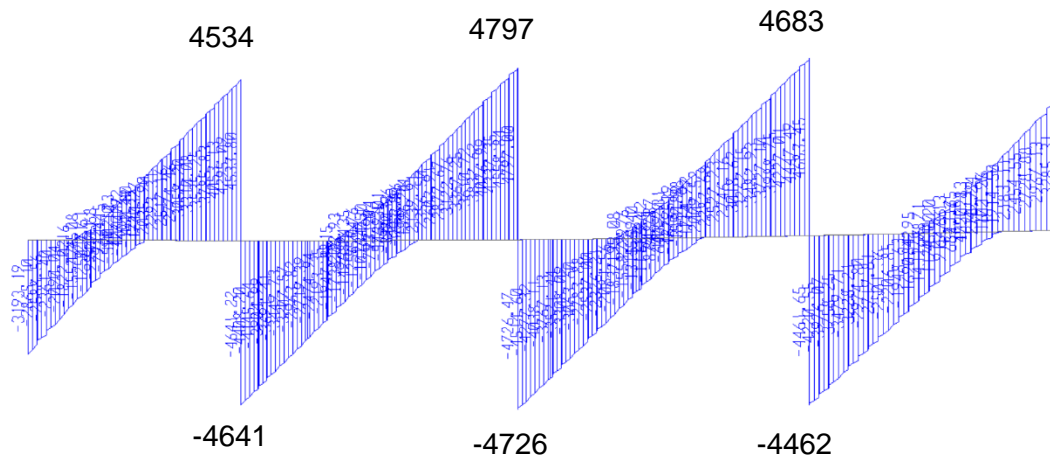


Figura 94 Cortante por envolvente de diseño - Viga cajón continua - Puente Vía a Minca

8.2.6 Análisis de columnas

8.2.6.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

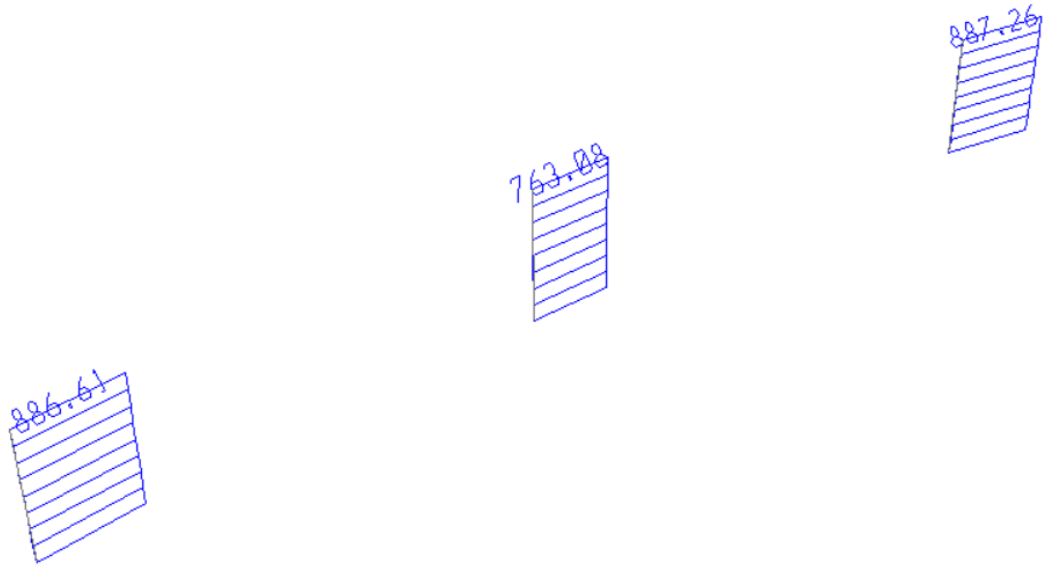


Figura 95 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Vía a Minca

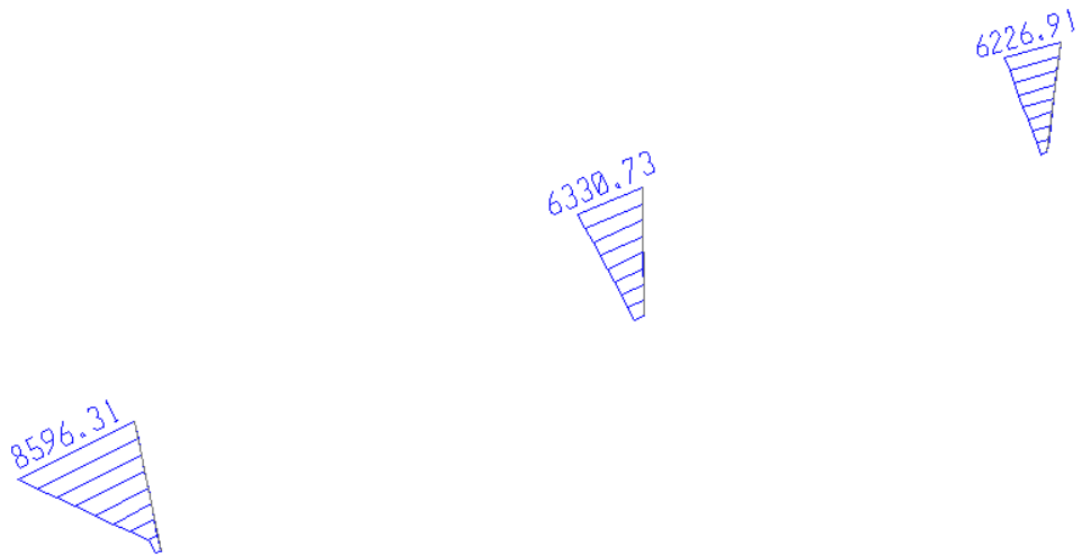


Figura 96 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca



Figura 97 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca

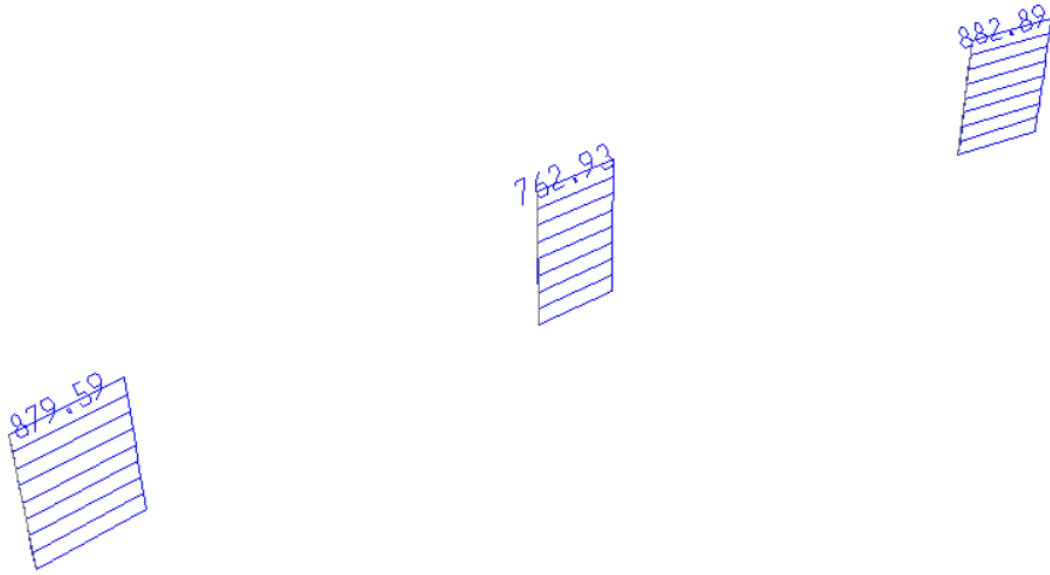


Figura 98 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Vía a Minca



Figura 99 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca

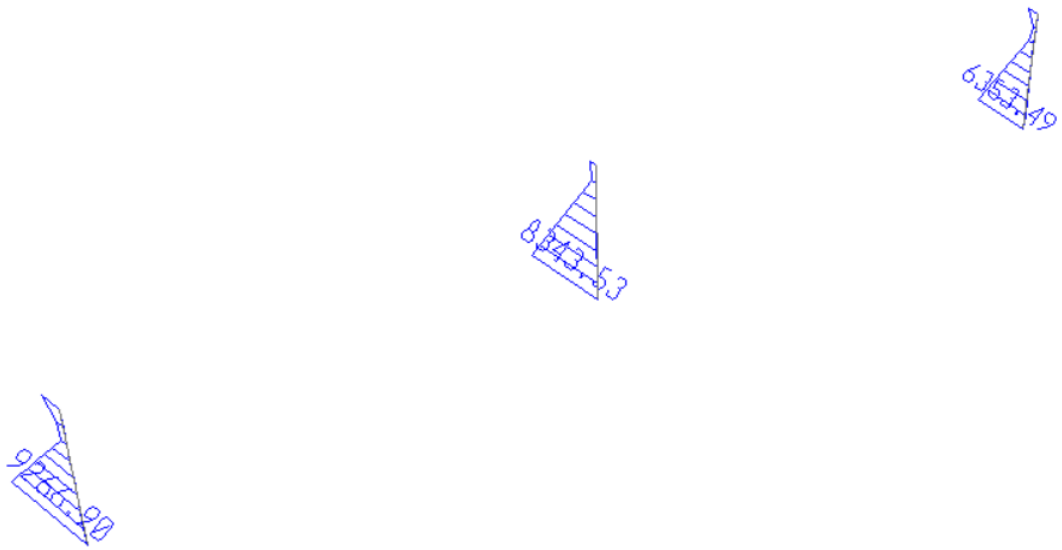


Figura 100 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca

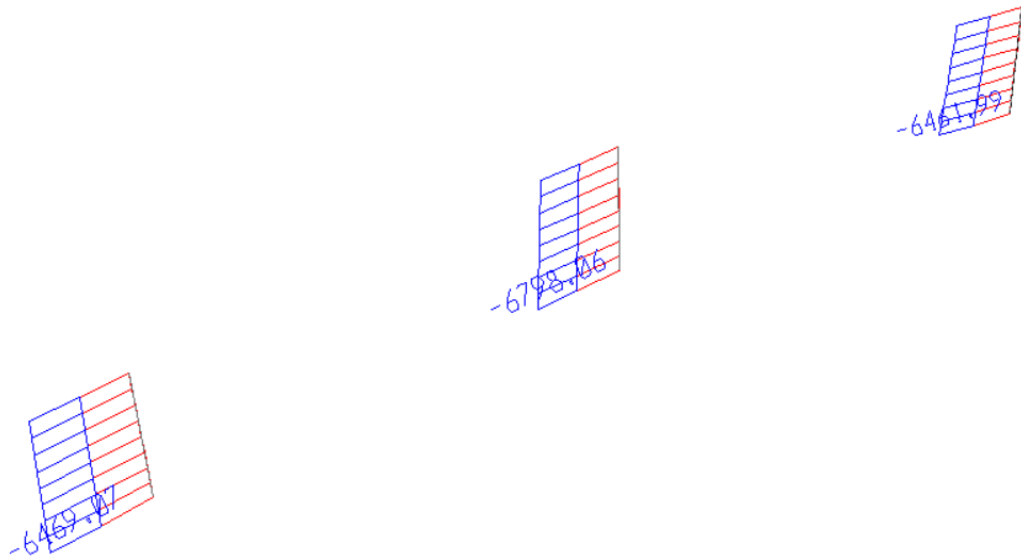
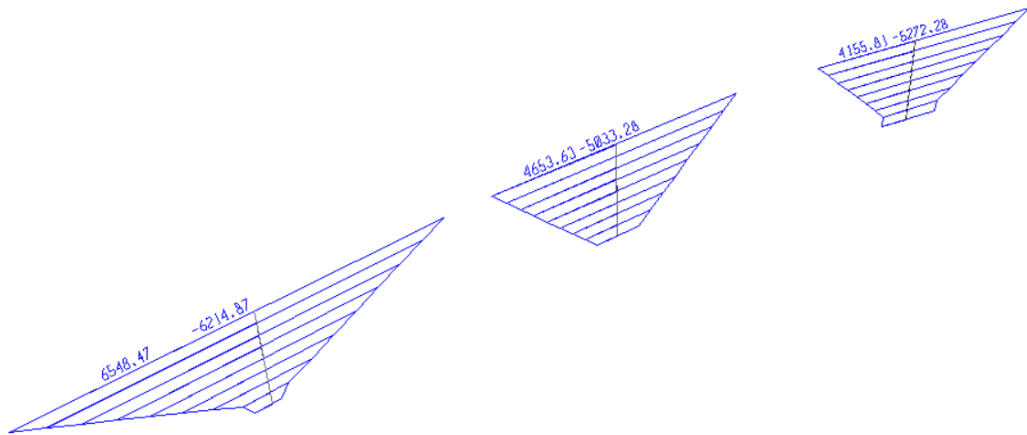
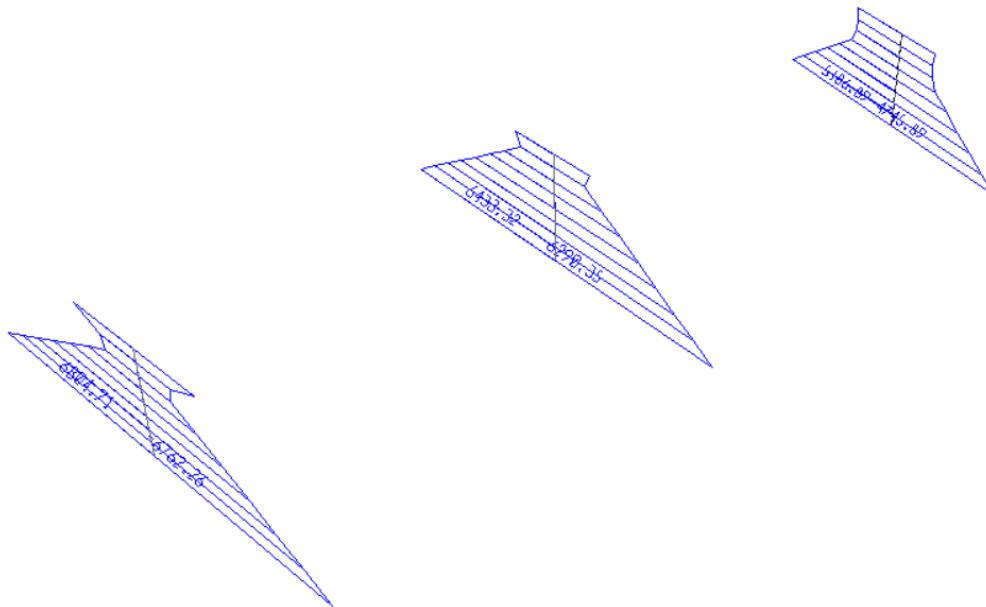


Figura 101 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Vía a Minca



**Figura 102 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño -
Puente Vía a Minca**



**Figura 103 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño -
Puente Vía a Minca**

8.2.7 Análisis de pilotes

8.2.7.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

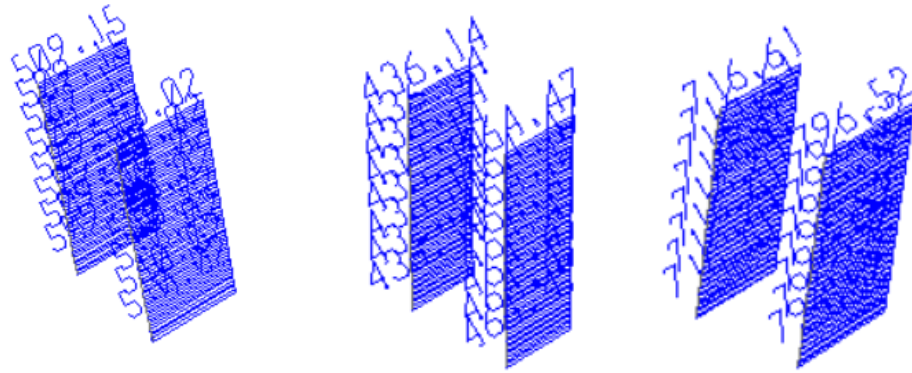


Figura 104 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Vía a Minca

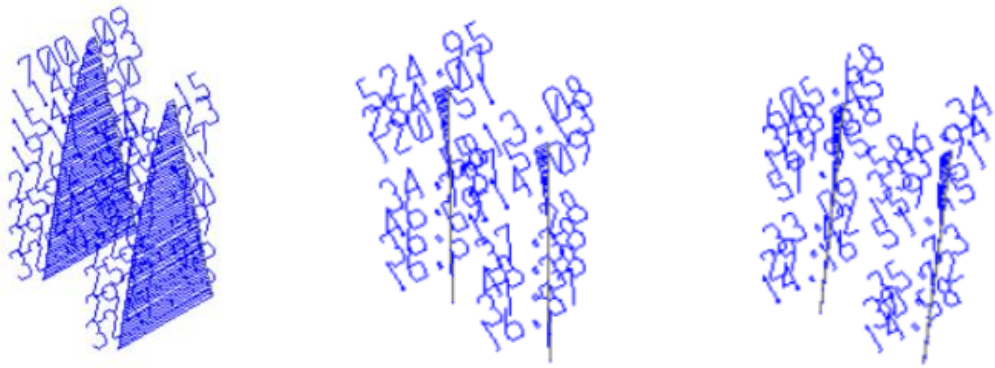


Figura 105 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca

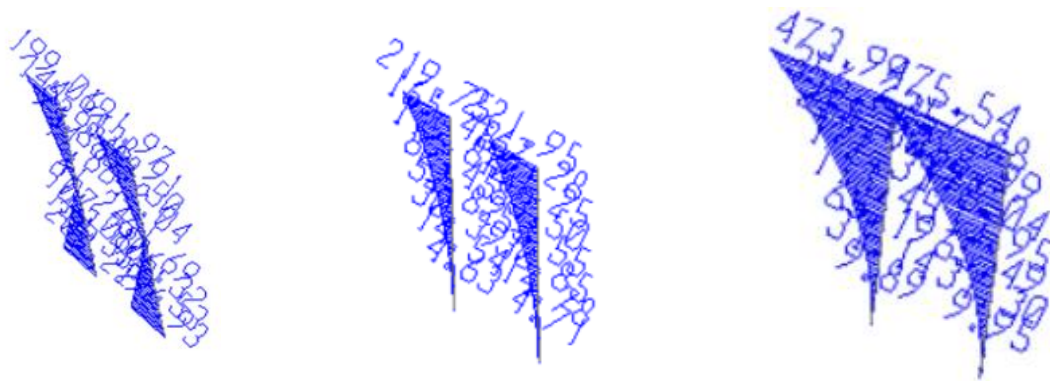


Figura 106 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Vía a Minca

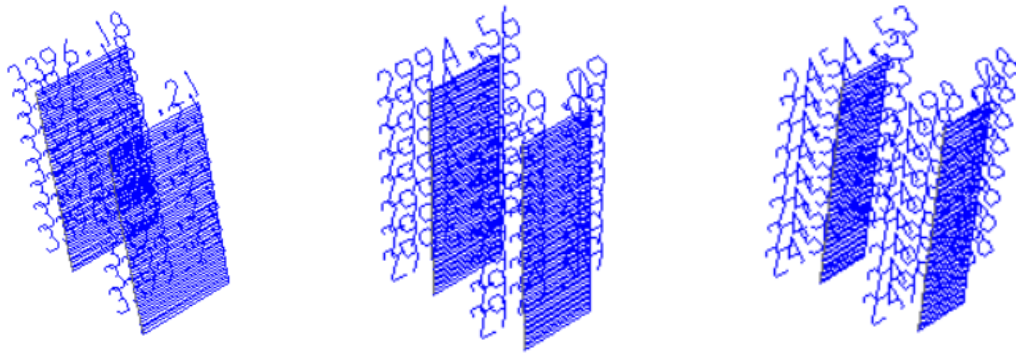


Figura 107 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Vía a Minca

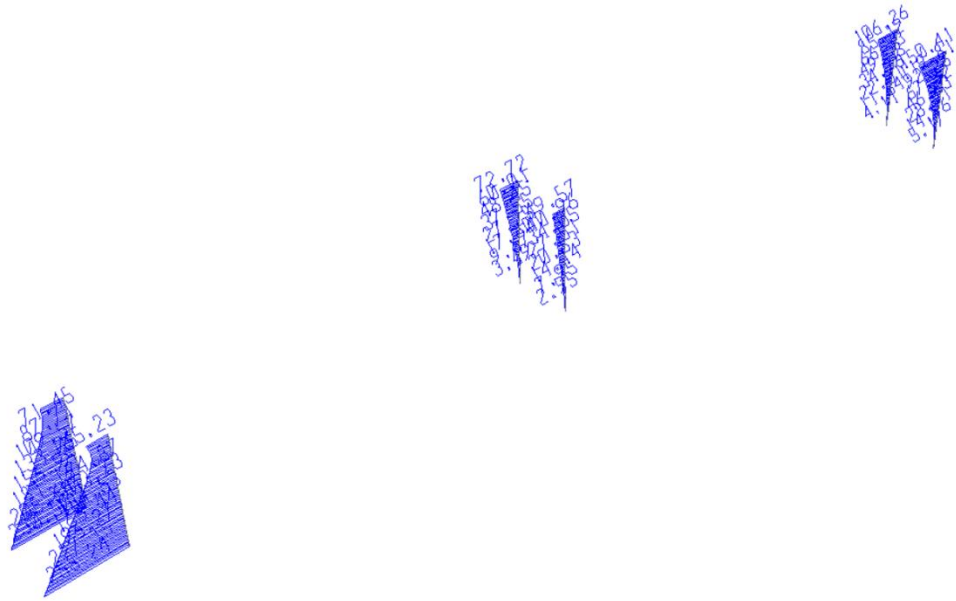


Figura 108 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca

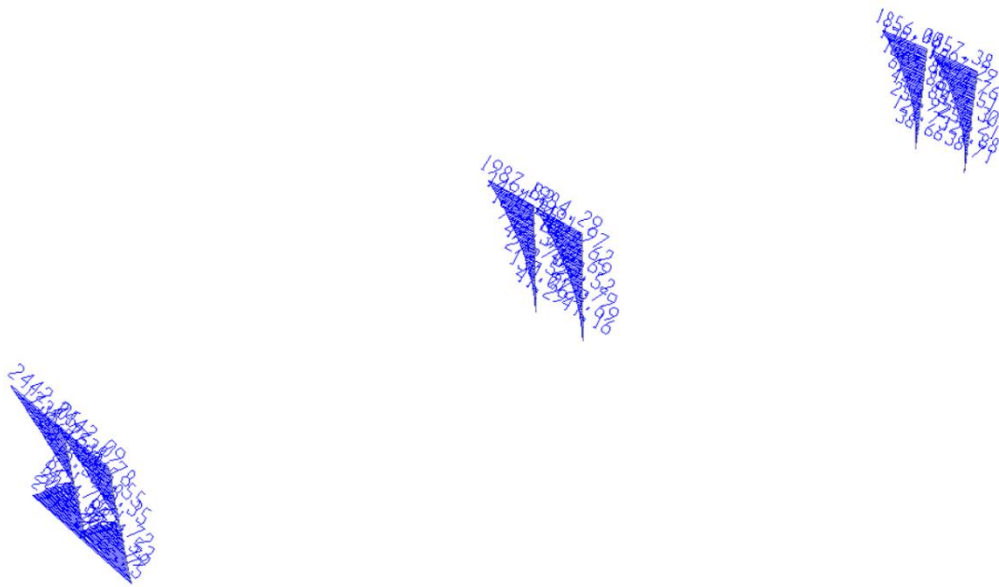


Figura 109 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Vía a Minca

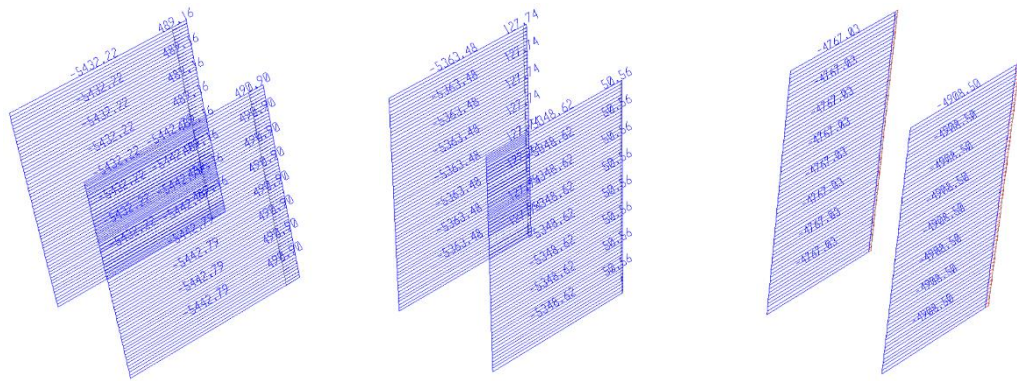


Figura 110 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Vía a Minca

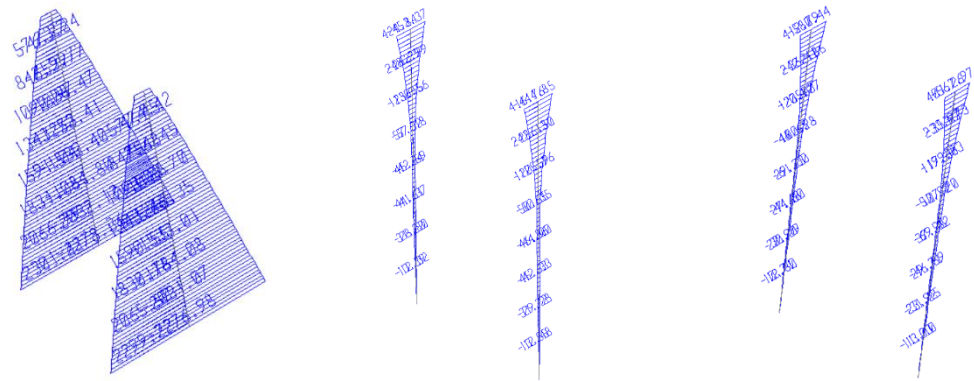


Figura 111 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca

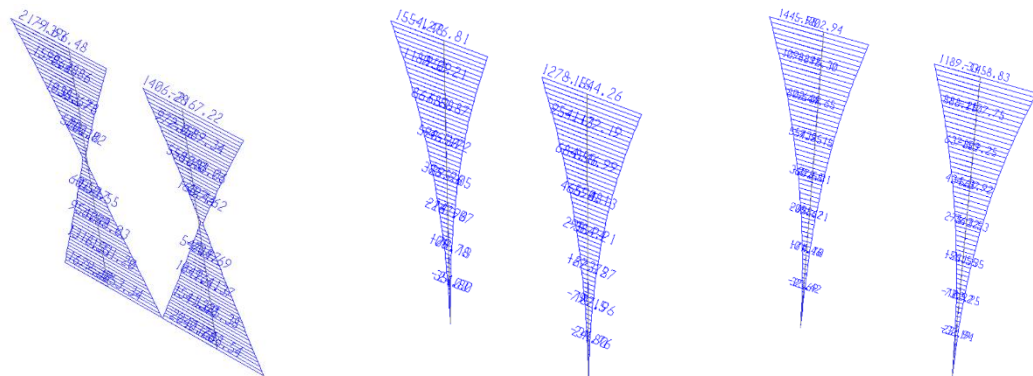


Figura 112 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Vía a Minca

8.3 Puente Vía a Minca – Comparación

8.3.1 Carga Viva

Uno de los cambios considerables del CCP-14 con respecto al CCDSP-95 es la carga viva.

A continuación, se presenta una gráfica comparativa de los momentos y cortantes obtenidos para la viga cajón del Puente Vía Minca, con las dos normativas.

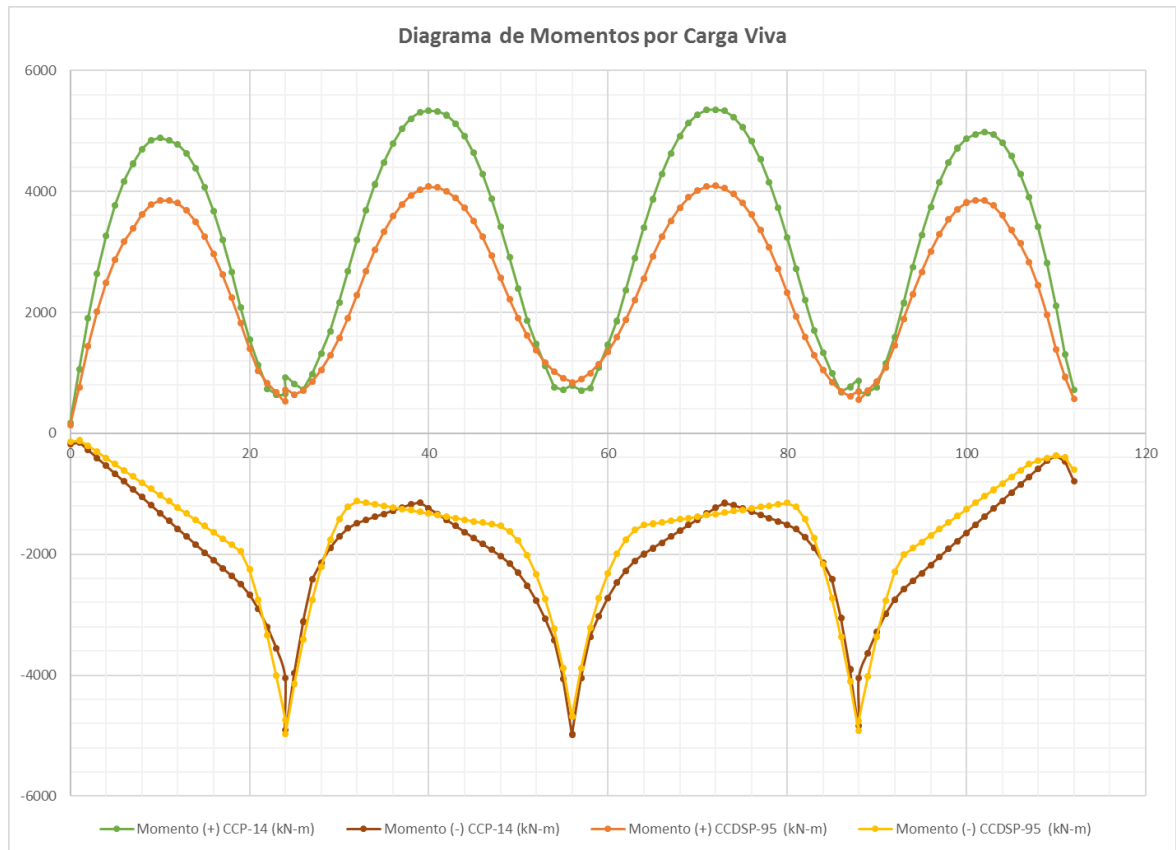


Figura 113 Comparación de diagramas de momentos por carga viva Puente Vía Minca

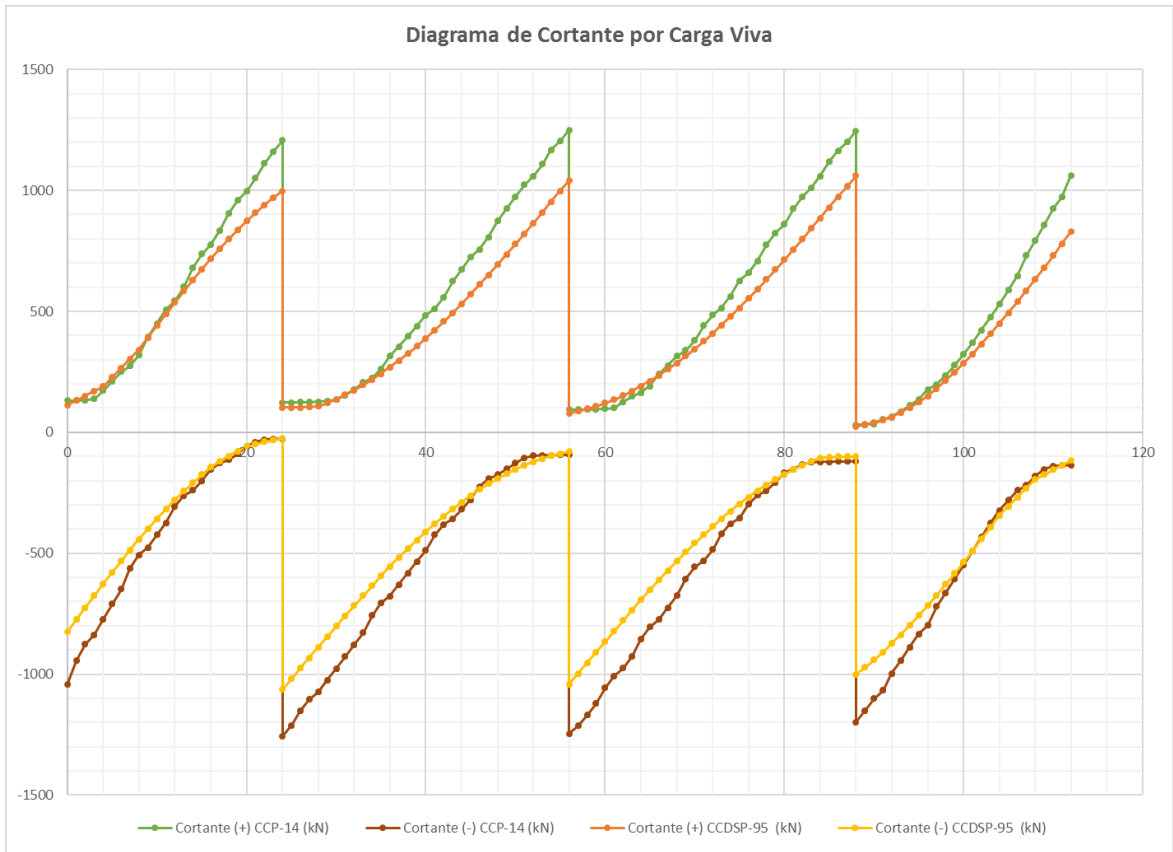


Figura 114 Comparación de diagramas de cortante por carga viva Puente Vía Minca

8.3.2 Combinaciones de diseño vigas

En el capítulo anterior se mostró la diferencia de la carga viva de una normativa a otra, pero esta no es la única carga que influye en el diseño de la superestructura. Es por ello que en este capítulo se muestra la comparación de carga última para el diseño de la viga, teniendo en cuenta las combinaciones de diseño de cada normativa, ya que los factores cambian considerablemente del código CCDSP-95 al nuevo código CCP-14.

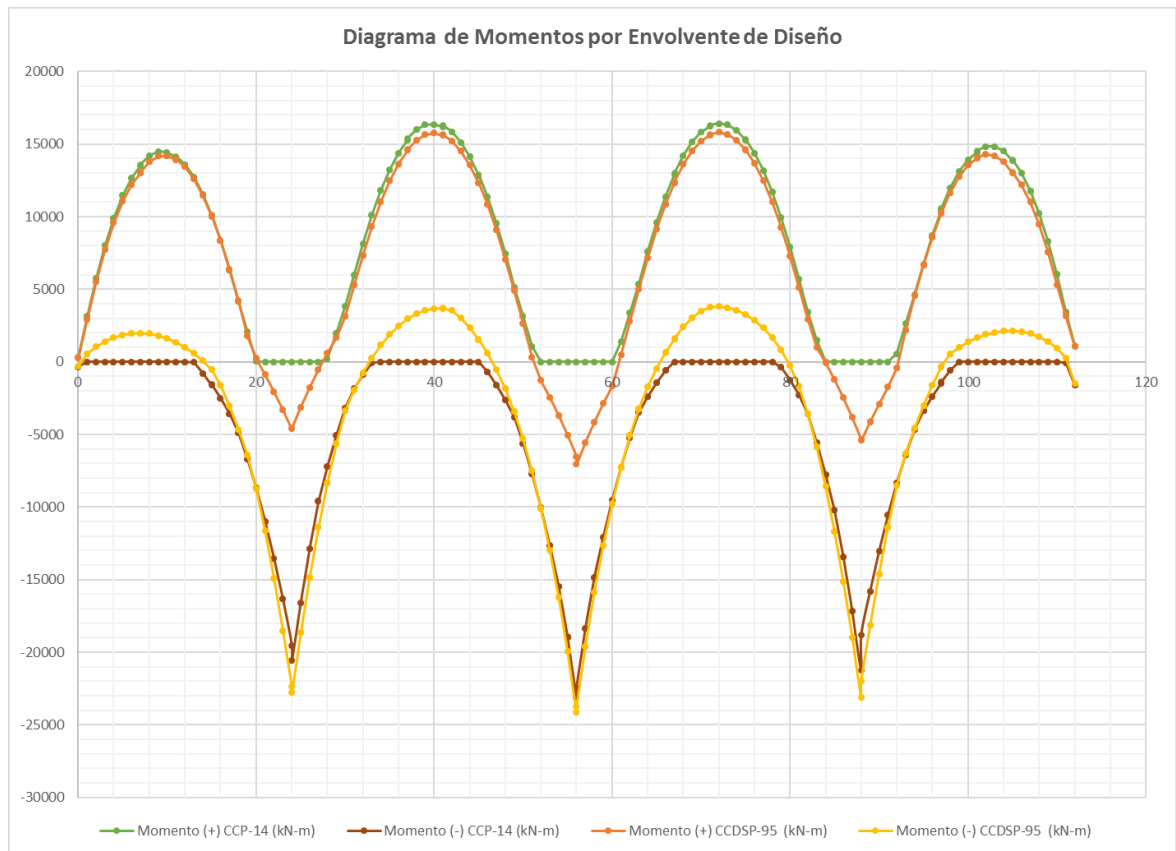


Figura 115 Comparación de diagramas de momentos por envolvente de diseño Puente Vía Minca

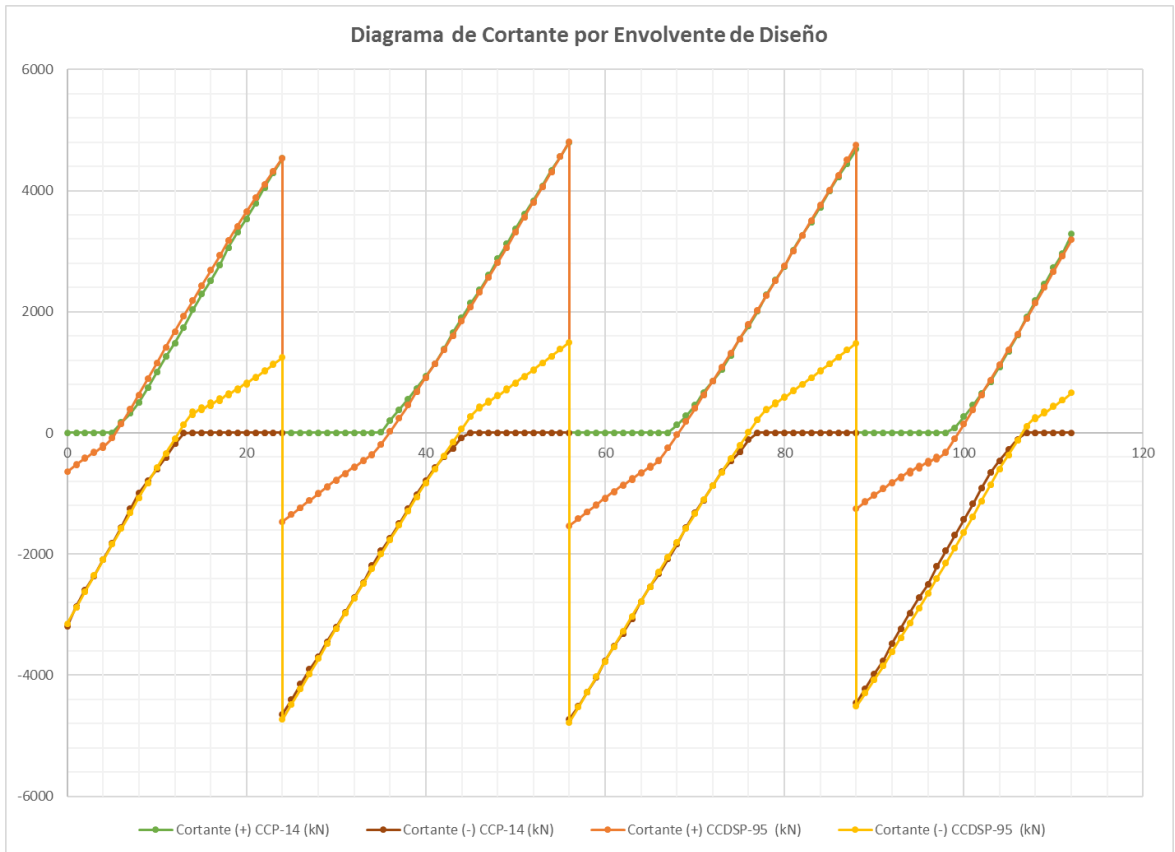


Figura 116 Comparación de diagramas de cortante por envolvente de diseño Puente Vía Minca

8.3.3 Análisis sísmico

Otro de los cambios relevantes del Código CCP-14 con respecto al Código CCDS-95 es el análisis sísmico, específicamente, el espectro de diseño a utilizar.

A continuación, se presenta una comparación entre los espectros de diseño con los diferentes códigos para el análisis del Puente Vía a Minca:

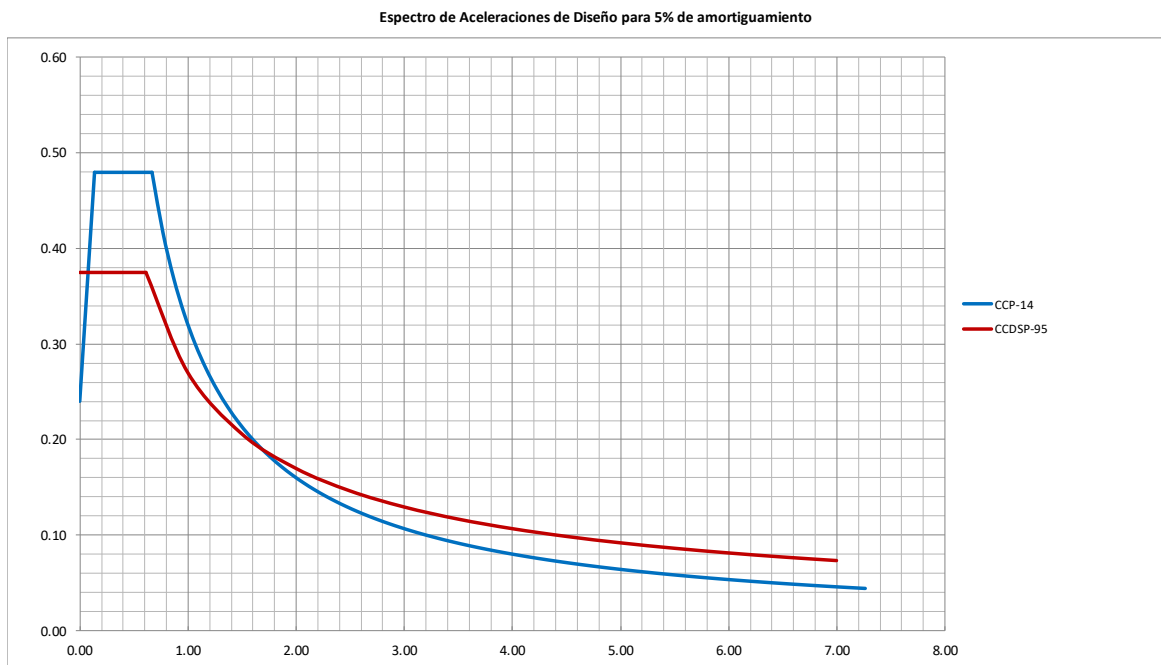


Figura 117 Comparación de espectros de diseño Puente Vía Minca

El cambio en el espectro de diseño de una norma a otra se ve reflejado en el diseño de la subestructura.

A continuación, se presenta el comparativo de los diagramas de axiales y momentos para las columnas y pilotes del Puente Vía a Minca, con las dos normas en estudio:

8.3.3.1 Columna eje 2

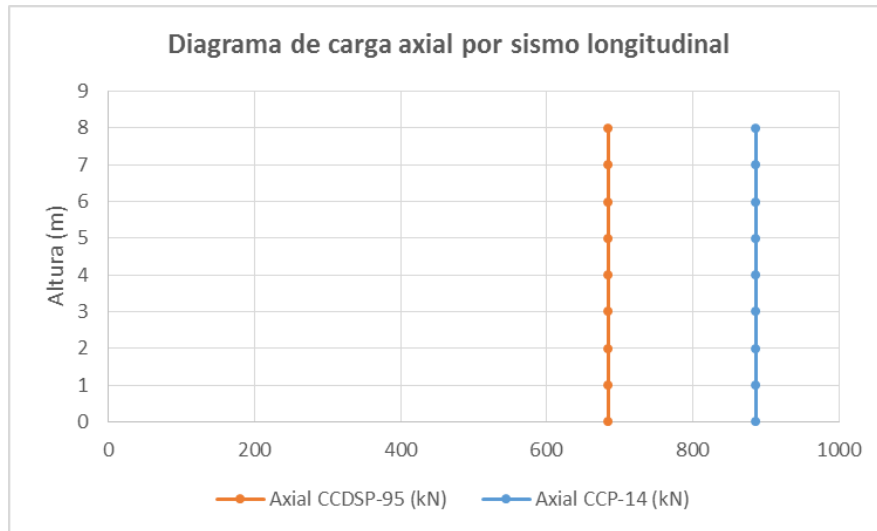


Figura 118 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

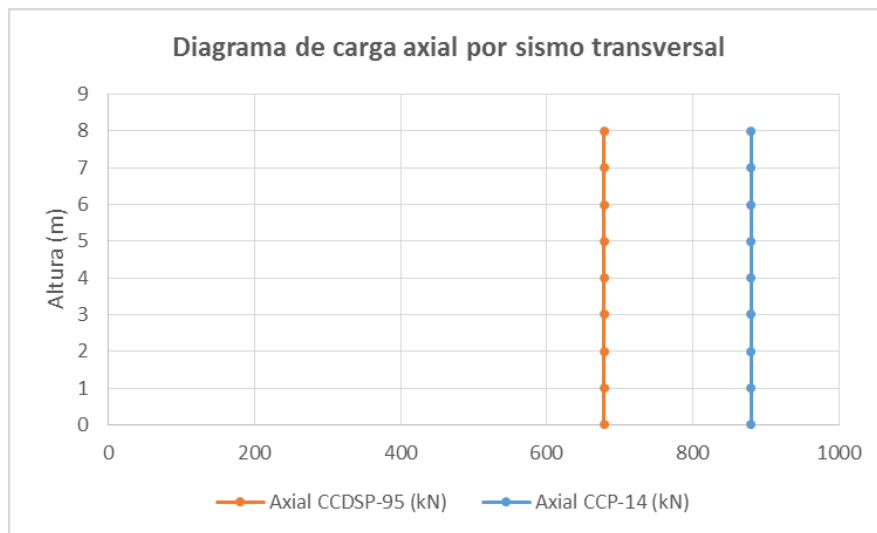


Figura 119 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

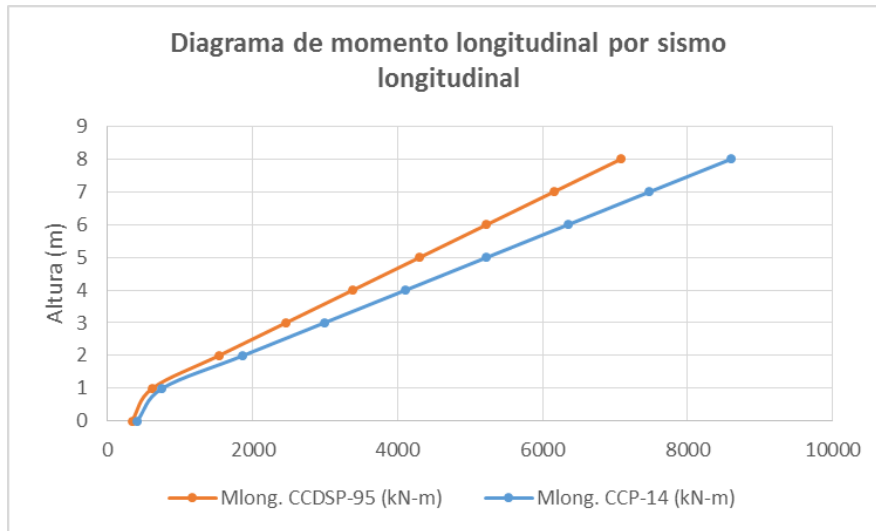


Figura 120 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca

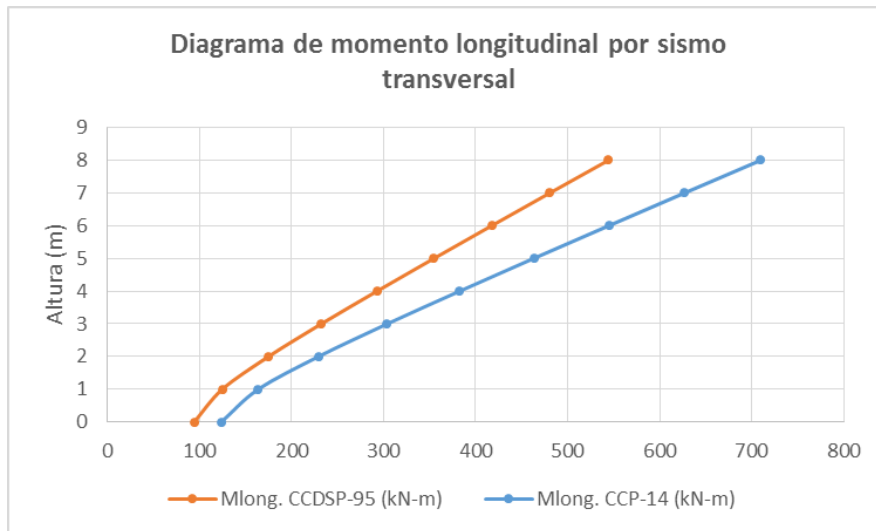


Figura 121 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca

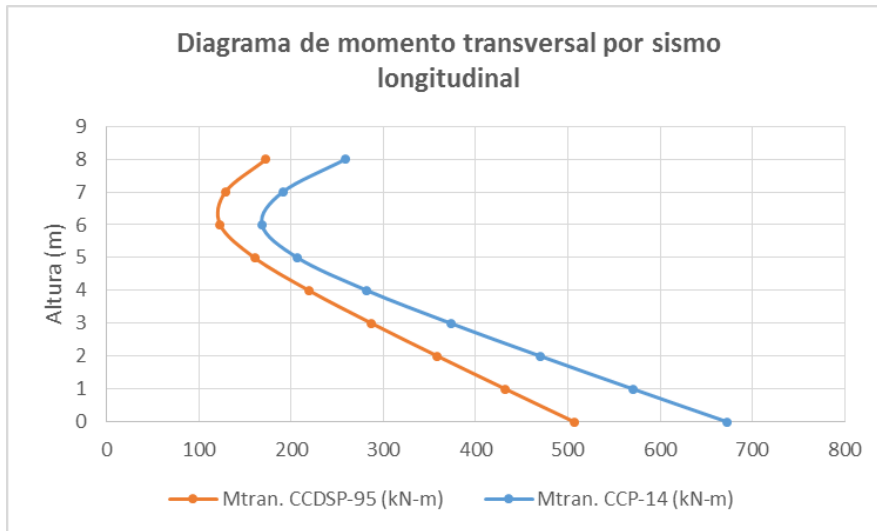


Figura 122 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

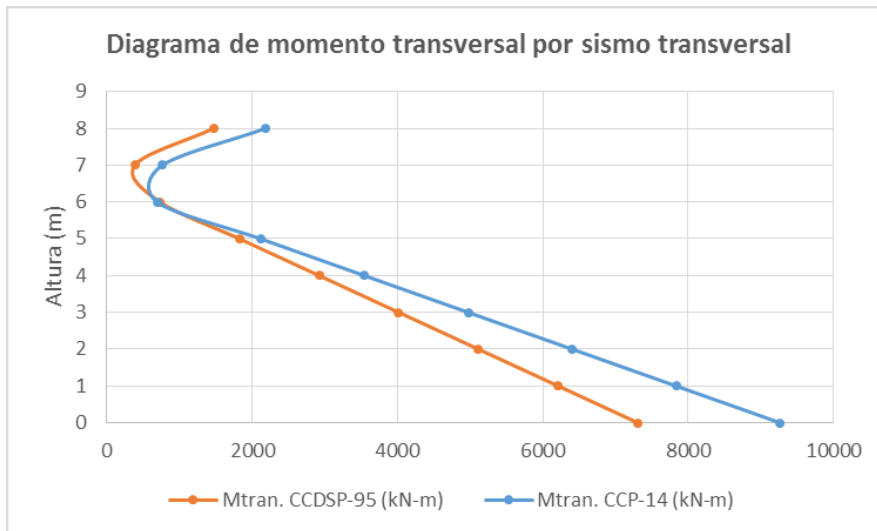


Figura 123 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.3.2 Columna eje 3

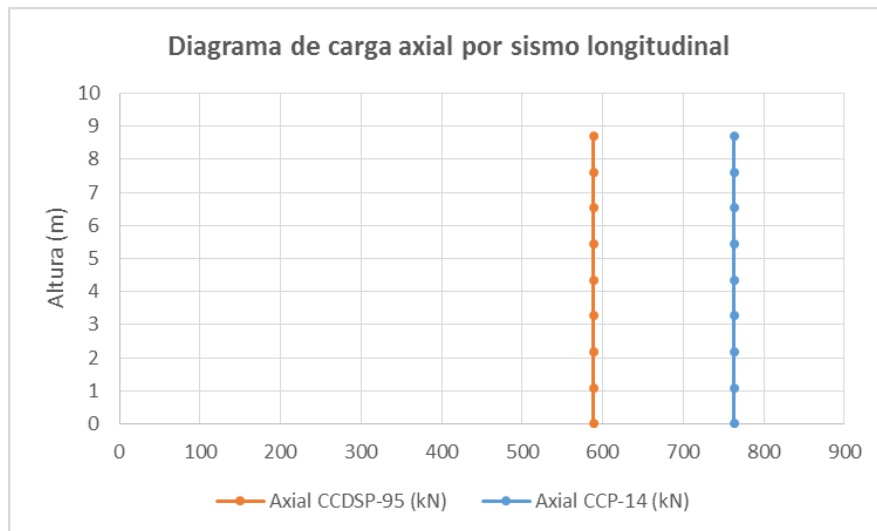


Figura 124 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

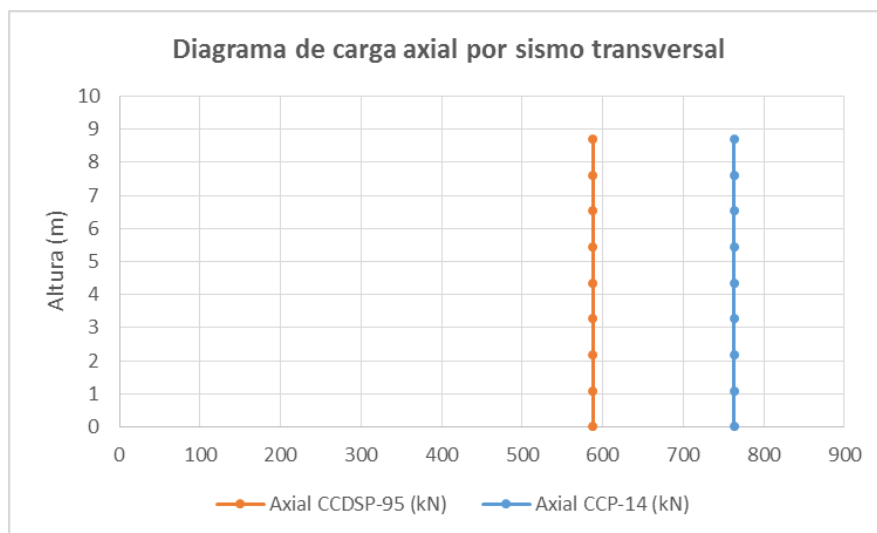


Figura 125 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

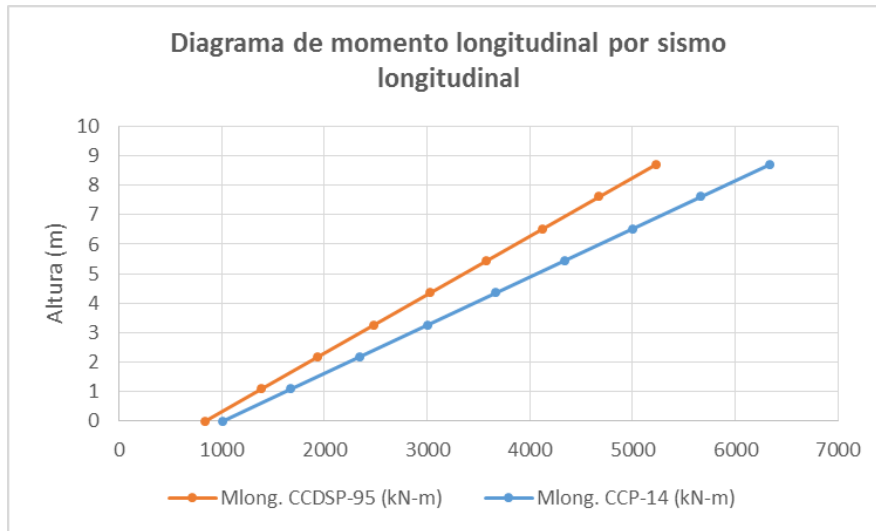


Figura 126 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca

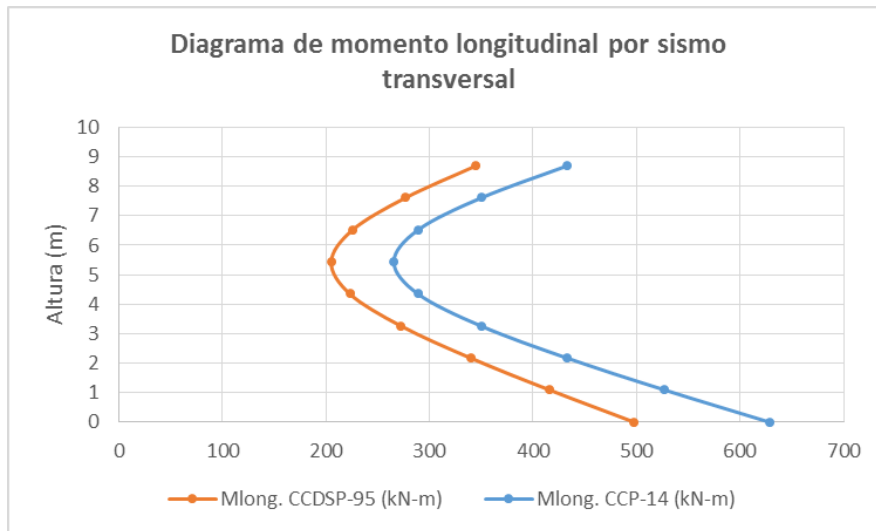


Figura 127 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca

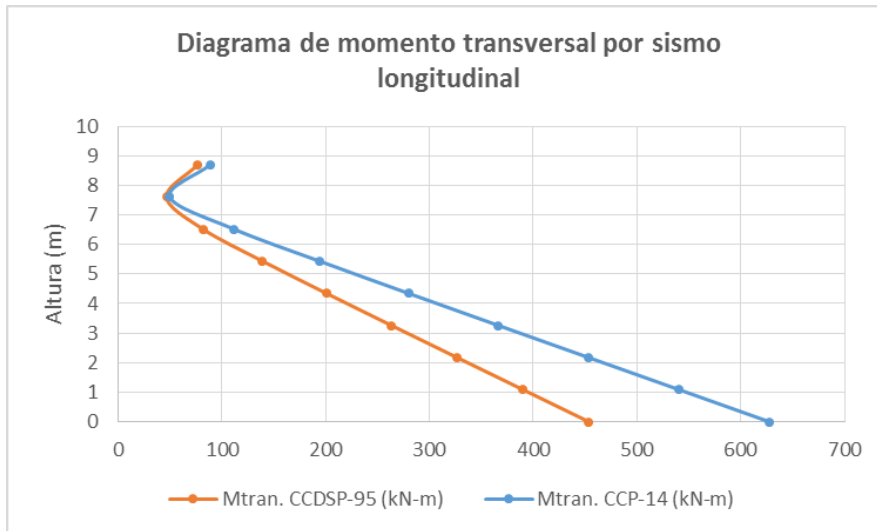


Figura 128 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

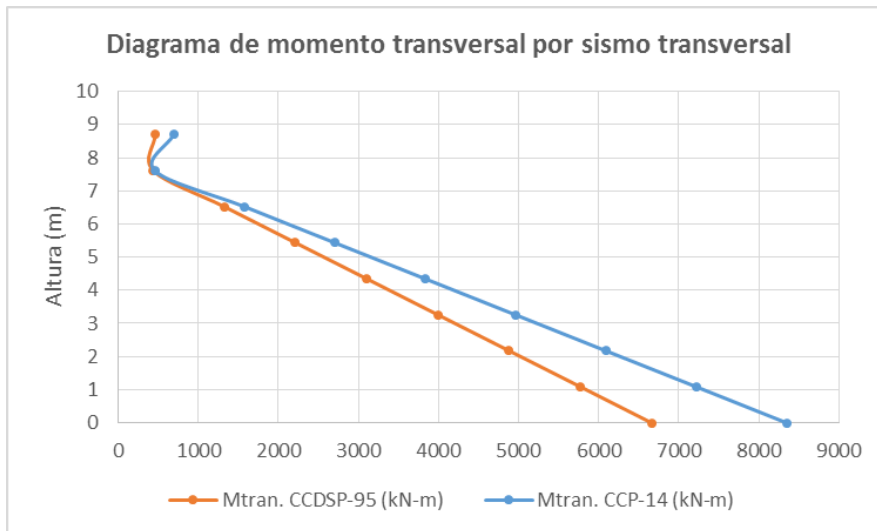


Figura 129 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.3.3 Columna eje 4

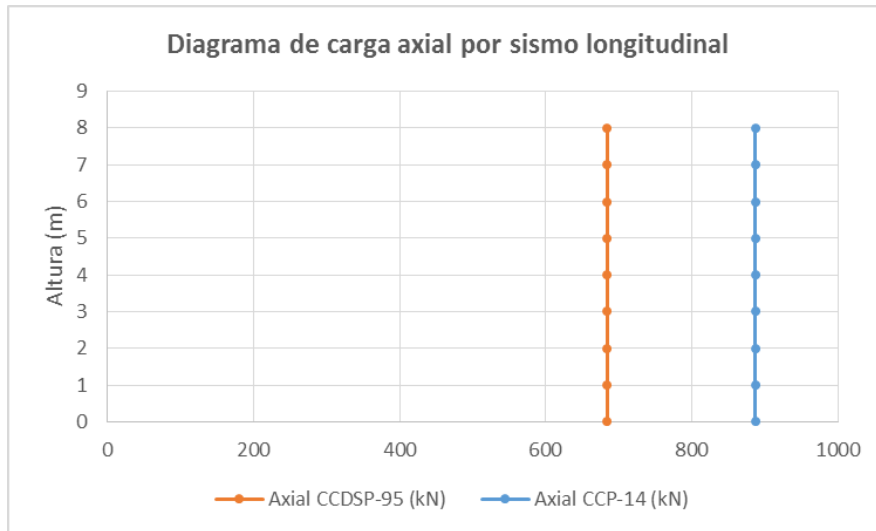


Figura 130 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

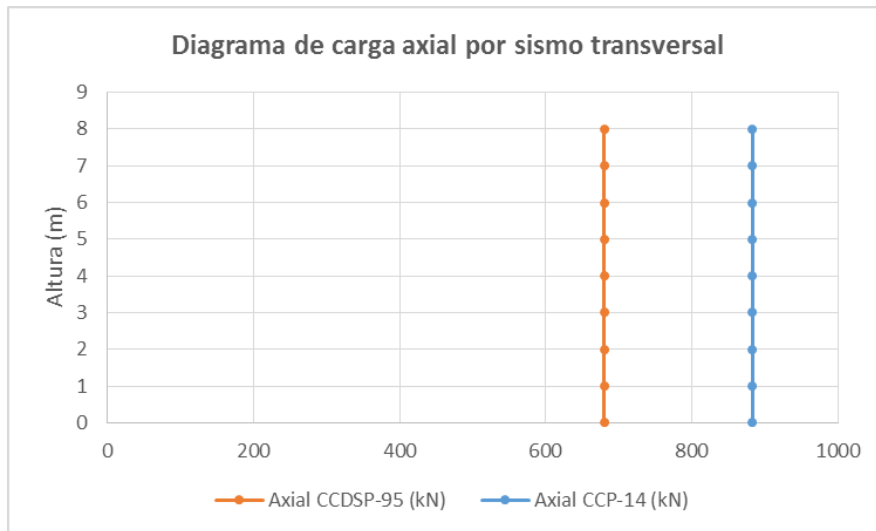


Figura 131 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

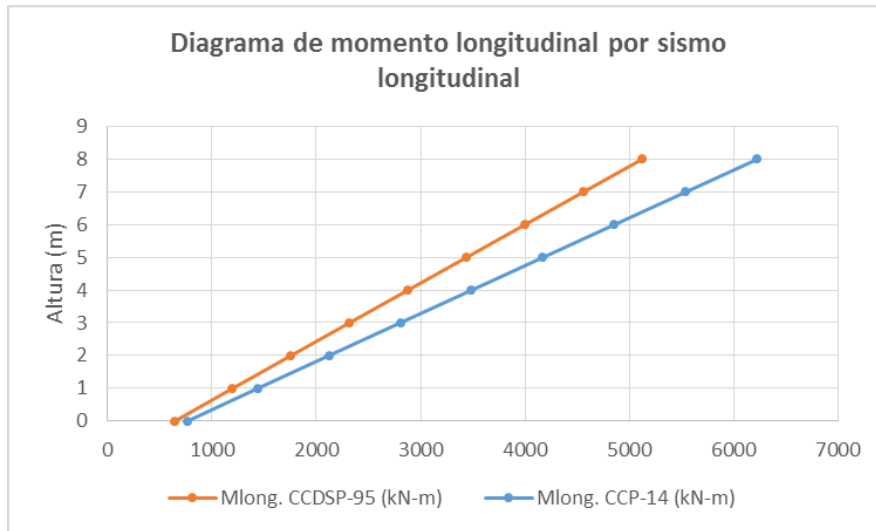


Figura 132 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca

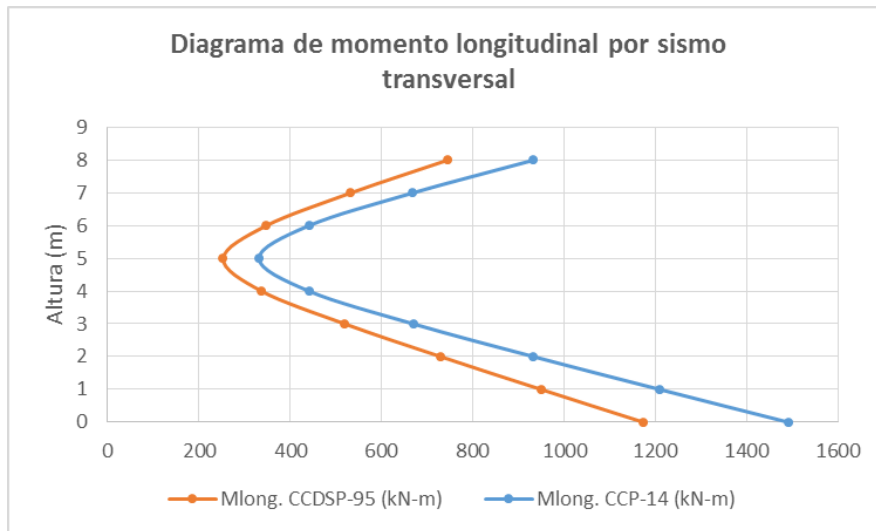


Figura 133 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca

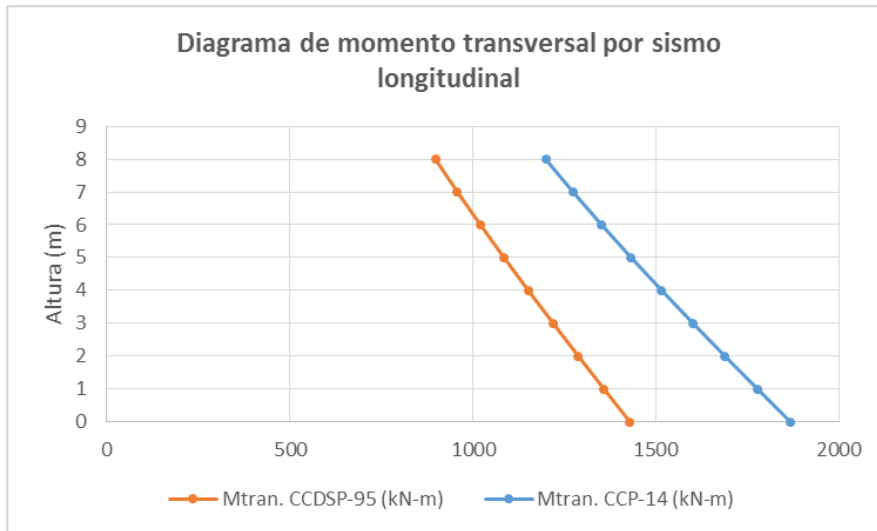


Figura 134 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

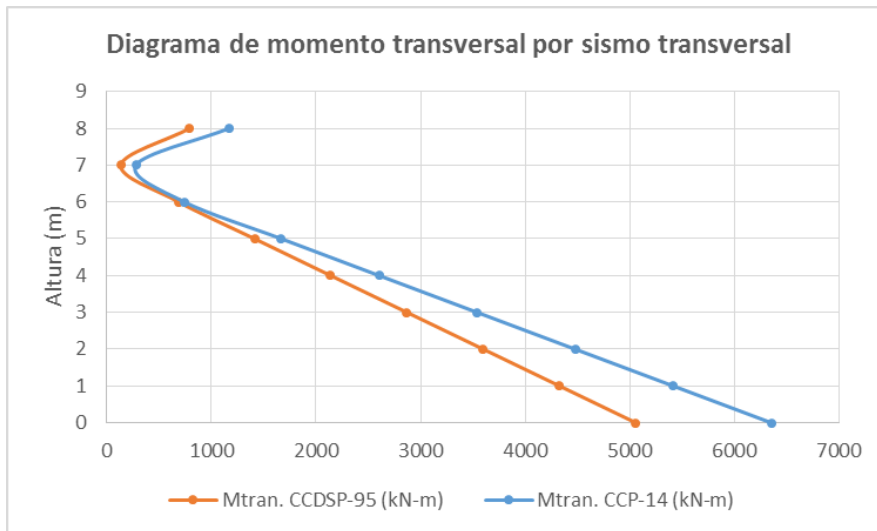


Figura 135 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.3.4 Pilote 1 eje 2

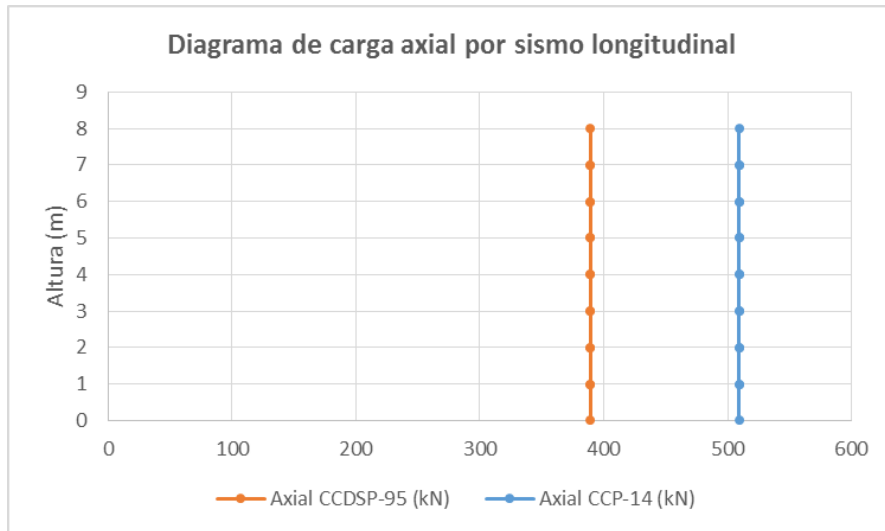


Figura 136 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

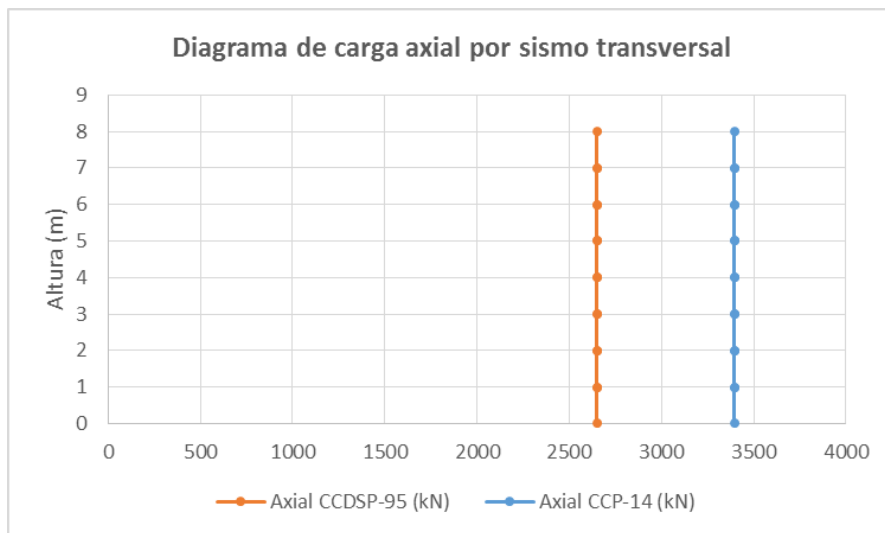


Figura 137 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

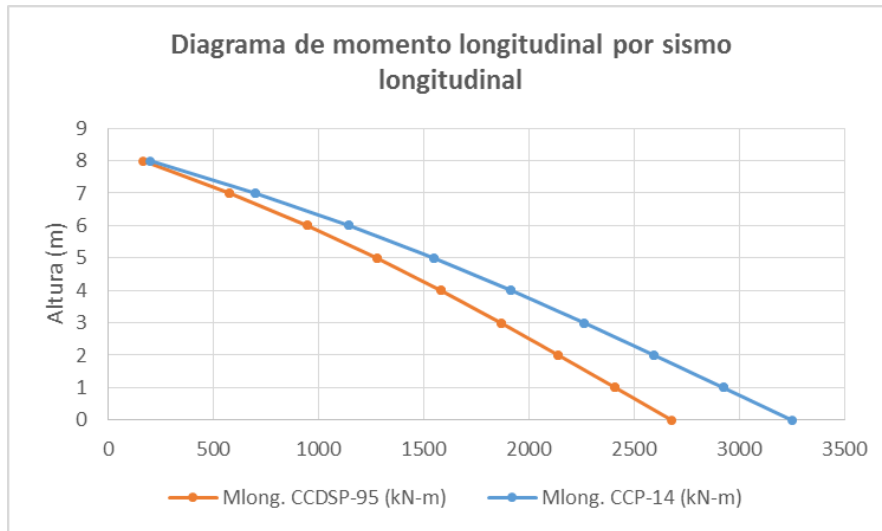


Figura 138 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca

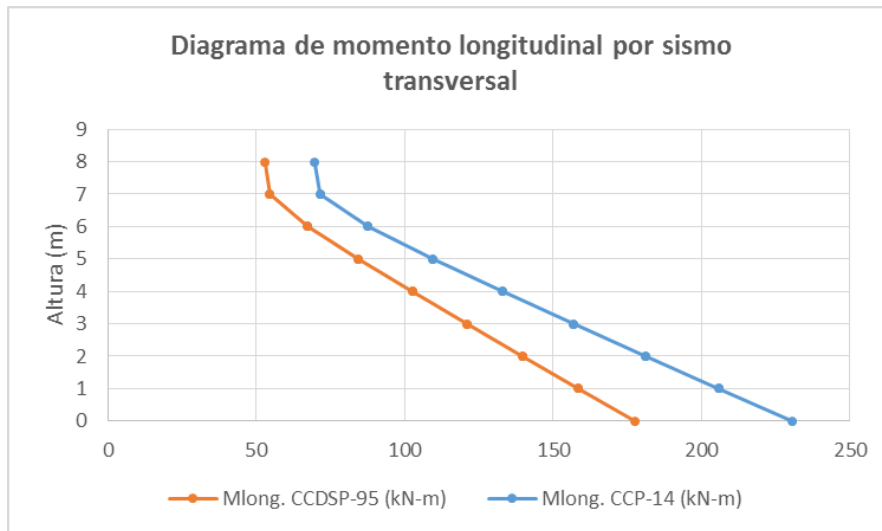


Figura 139 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca

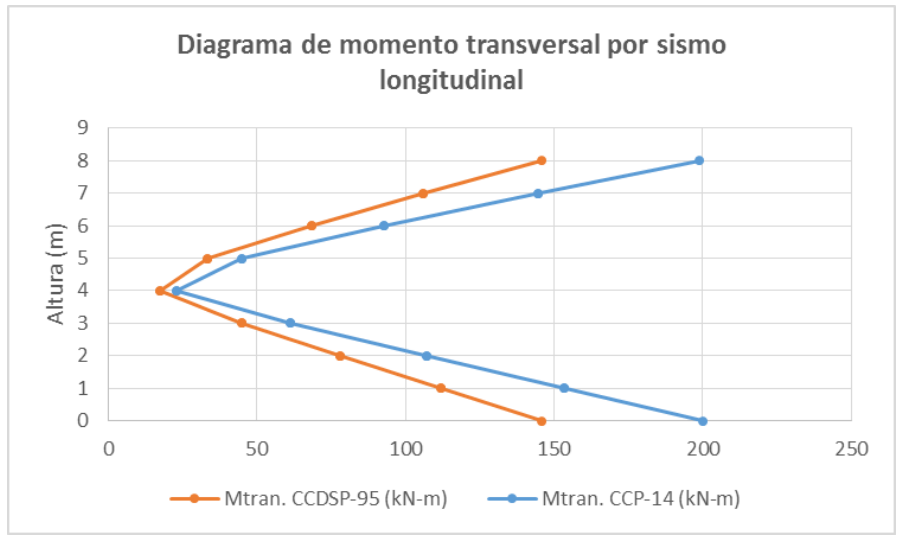


Figura 140 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

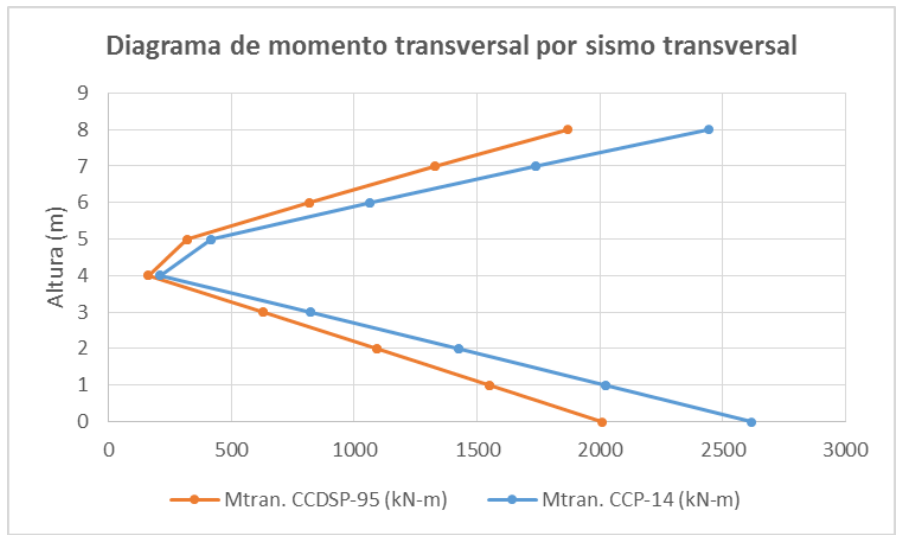


Figura 141 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.3.5 Pilote 2 eje 2

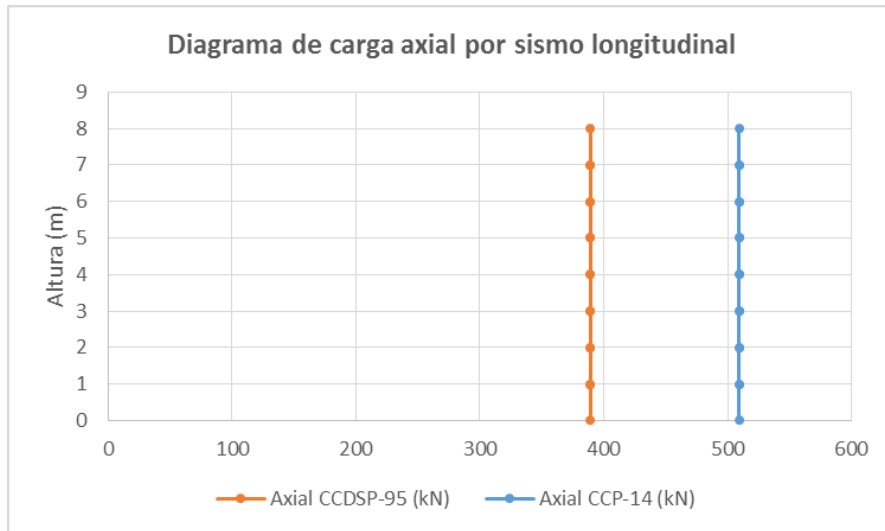


Figura 142 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

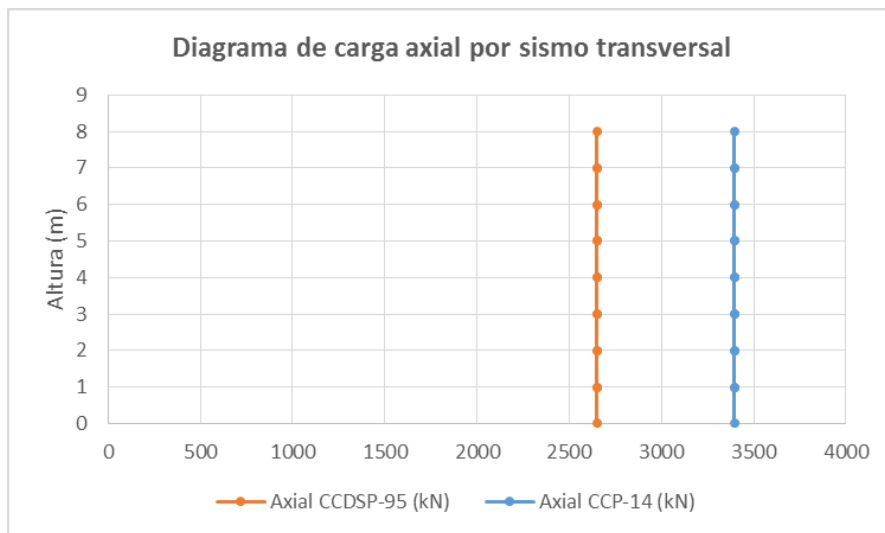


Figura 143 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

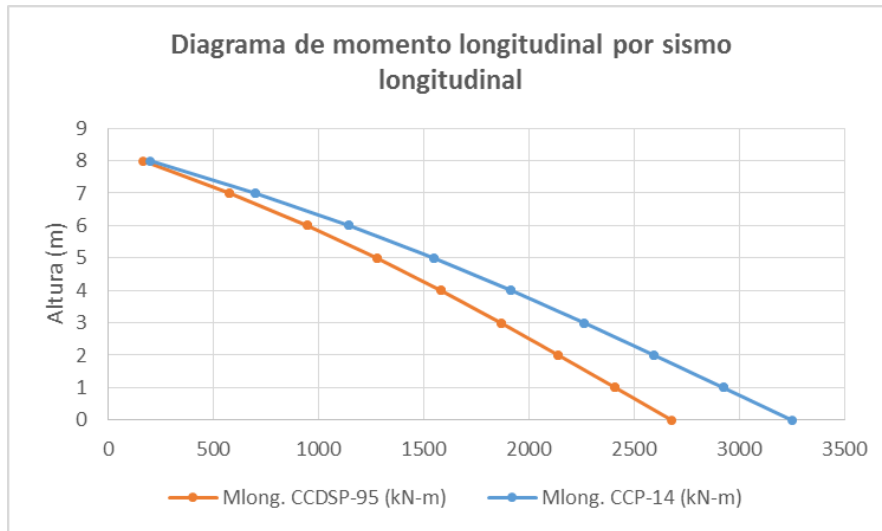


Figura 144 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca

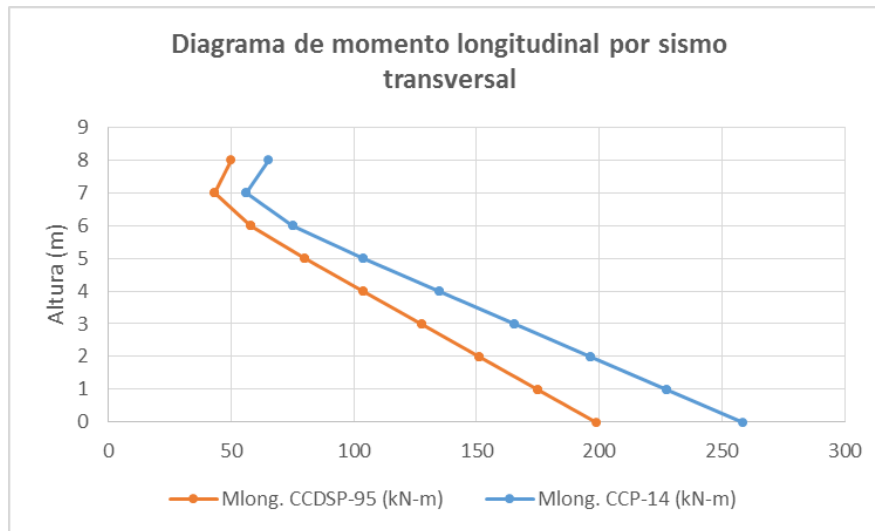


Figura 145 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca

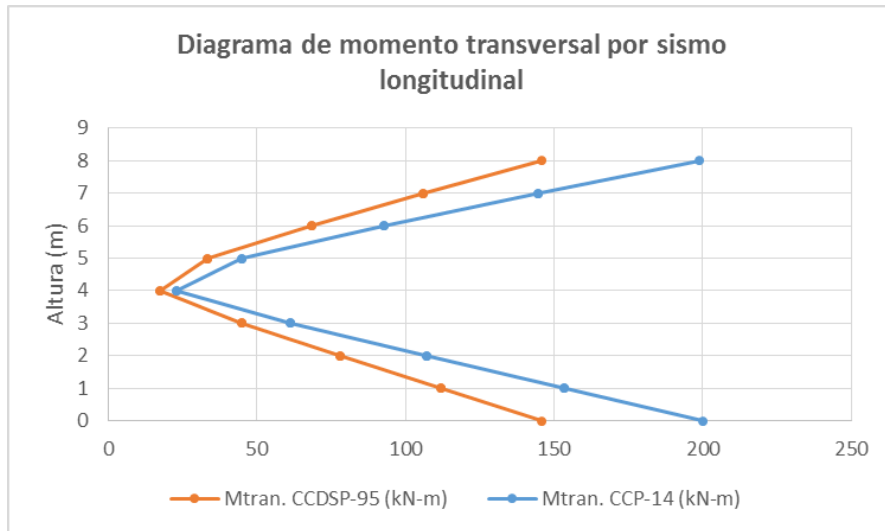


Figura 146 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

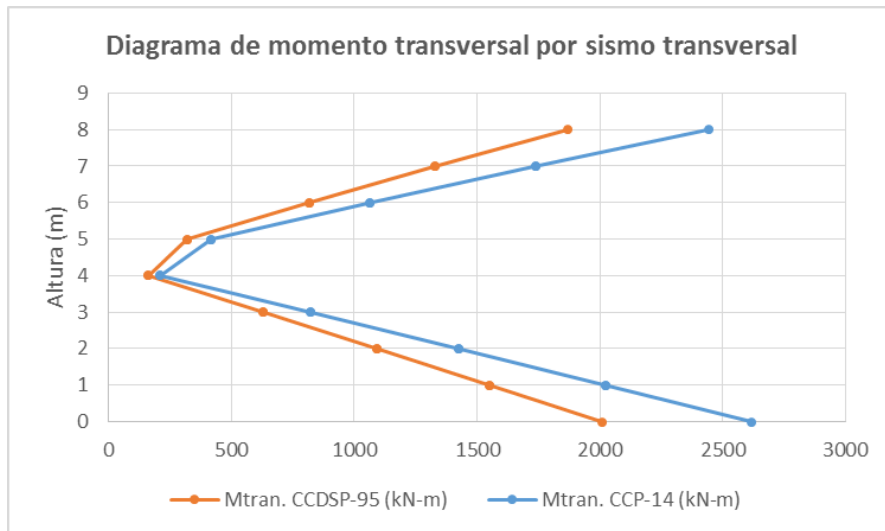


Figura 147 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.3.6 Pilote 3 eje 3

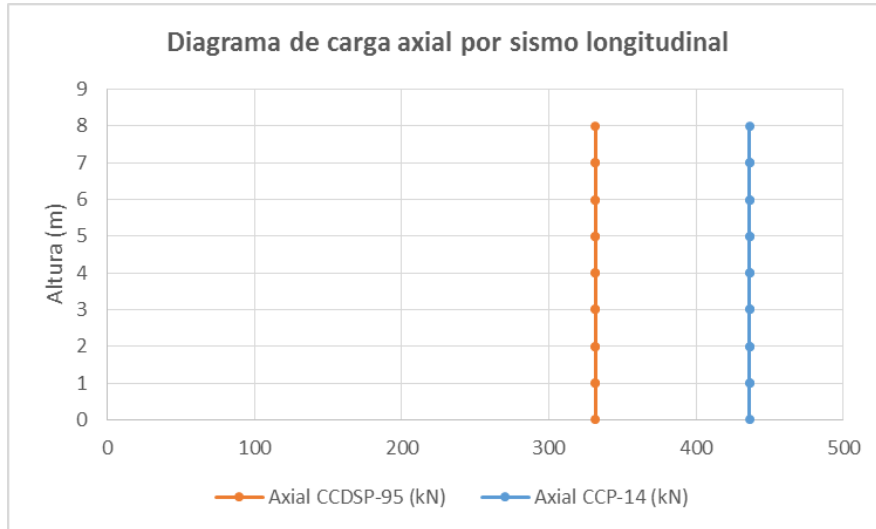


Figura 148 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

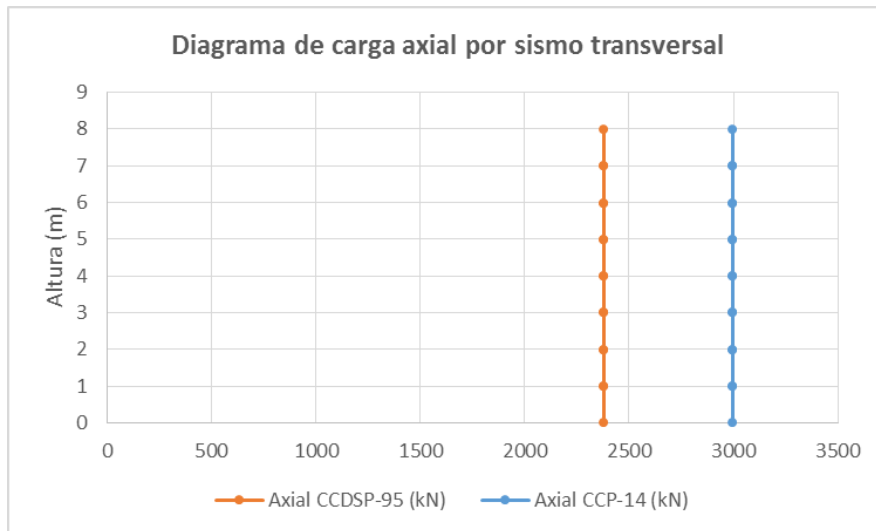


Figura 149 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

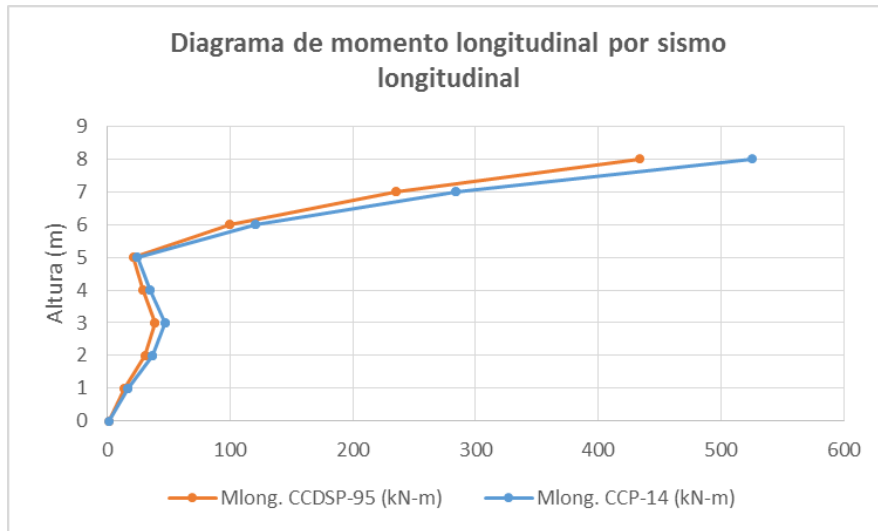


Figura 150 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puesto Vía Minca

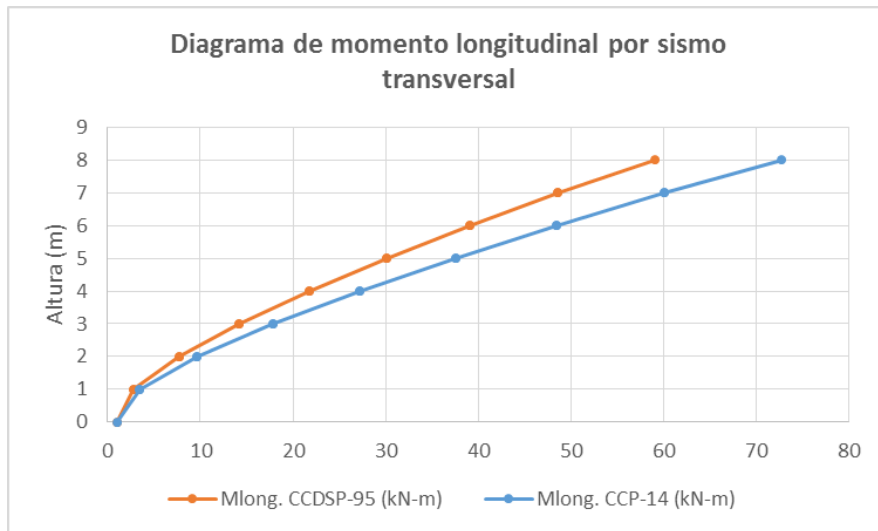


Figura 151 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puesto Vía Minca

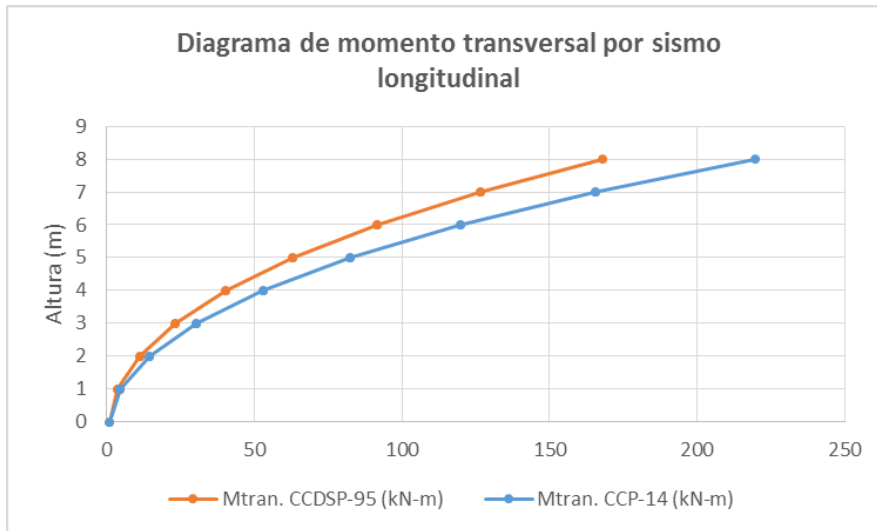


Figura 152 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

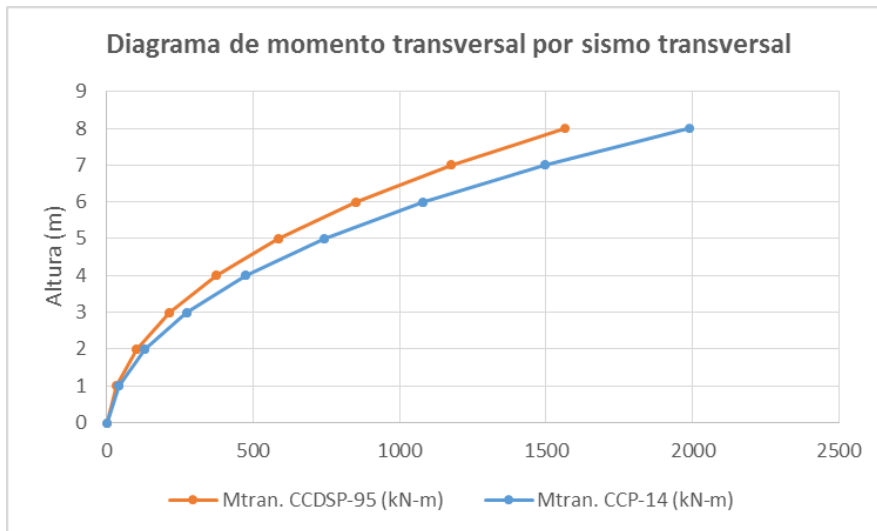


Figura 153 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.3.7 Pilote 4 eje 3

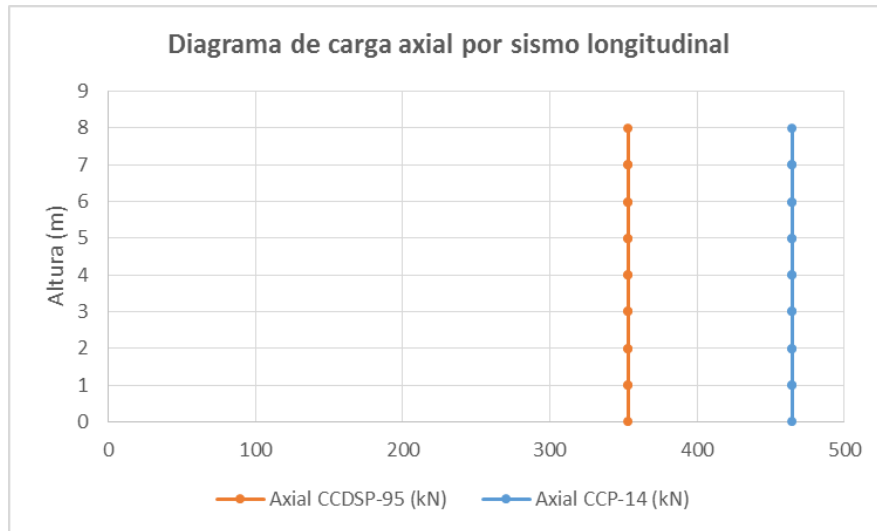


Figura 154 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

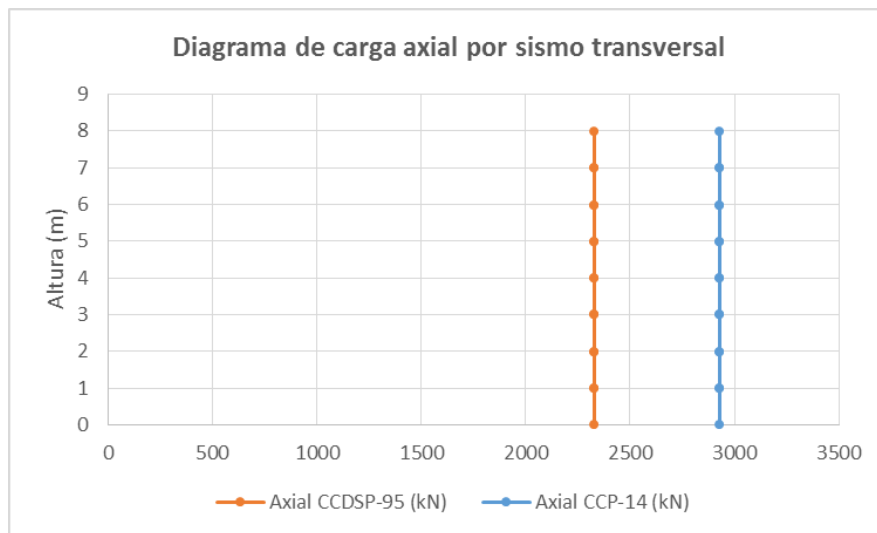


Figura 155 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

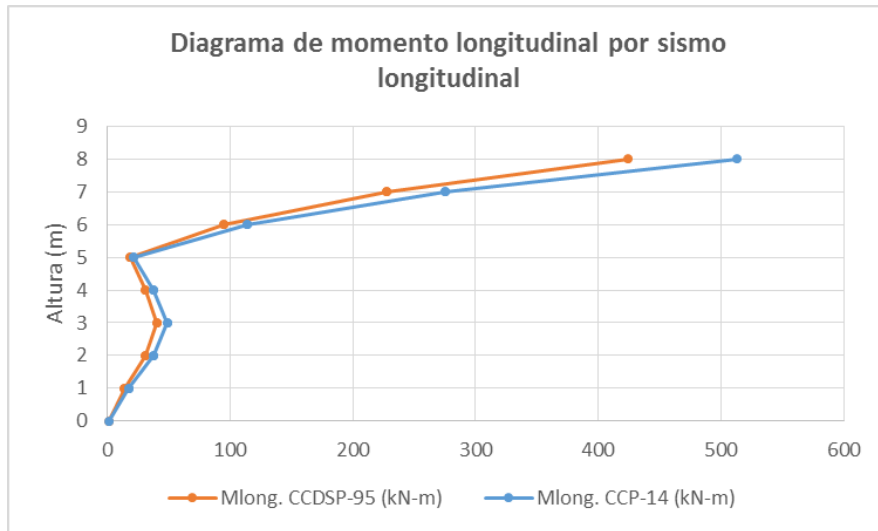


Figura 156 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca

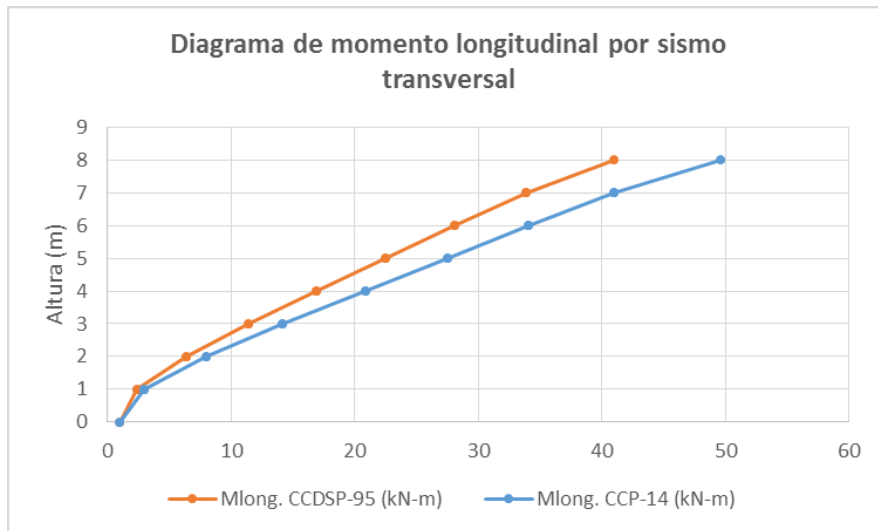


Figura 157 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca

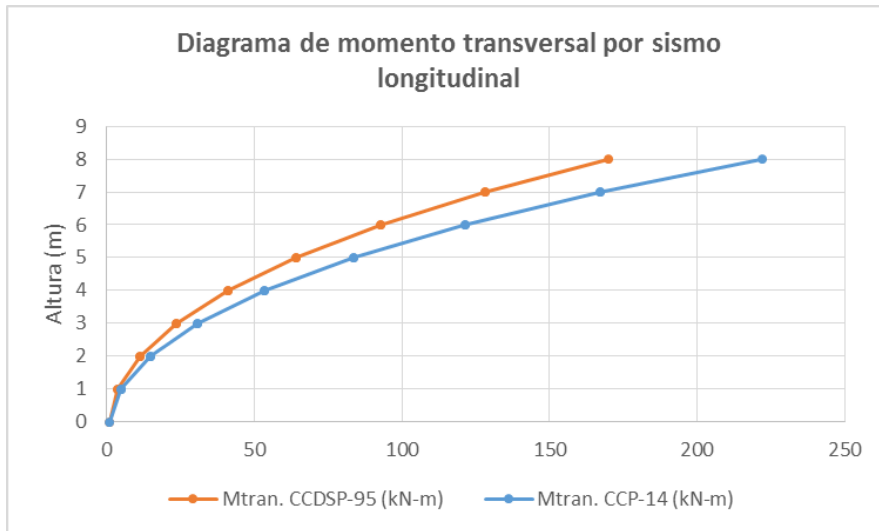


Figura 158 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

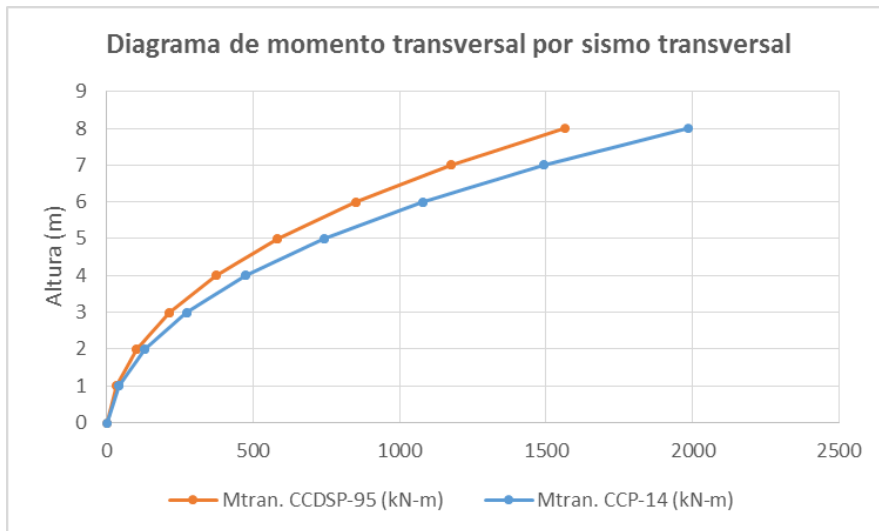


Figura 159 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.3.8 Pilote 5 eje 4

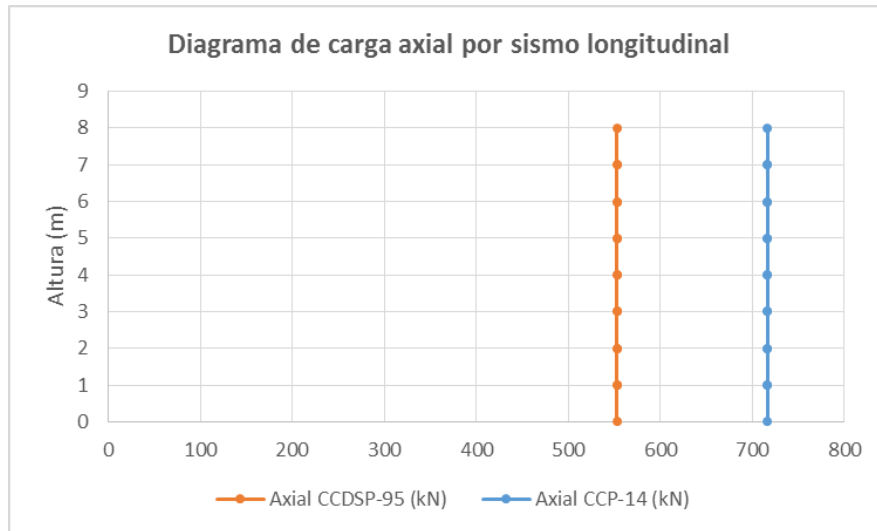


Figura 160 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

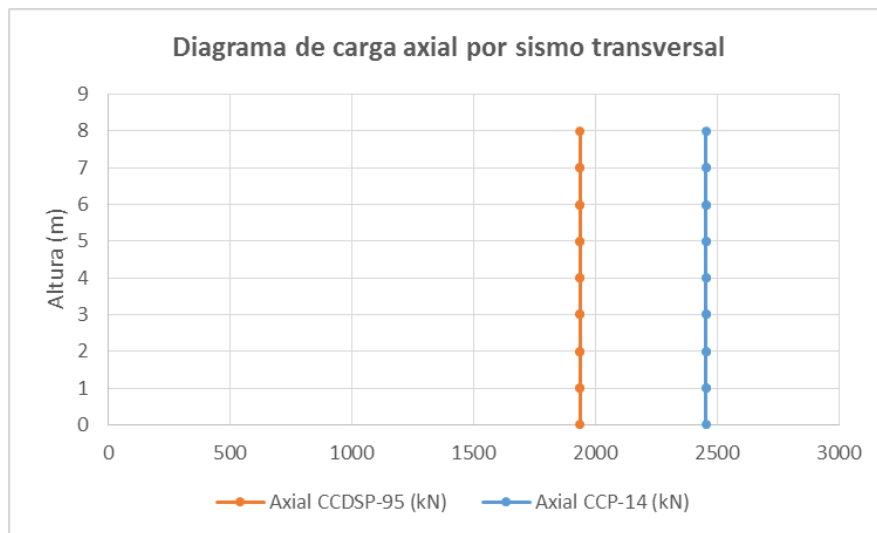


Figura 161 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

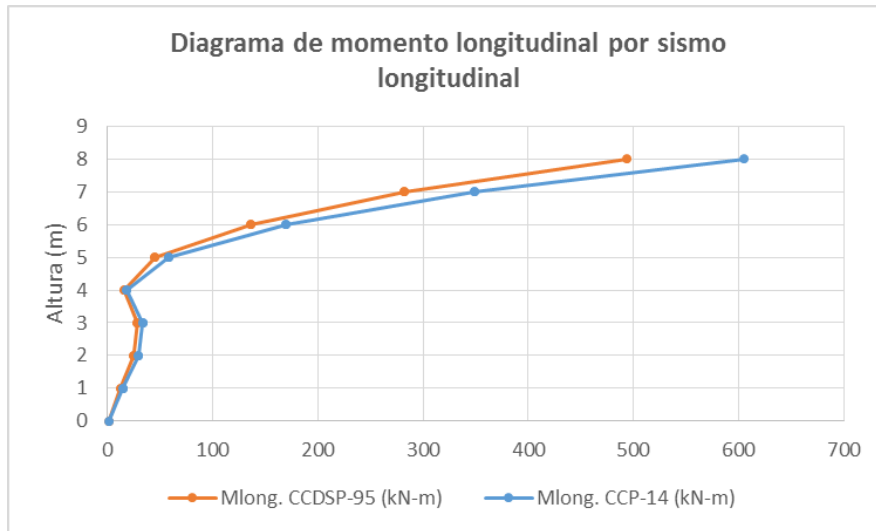


Figura 162 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca

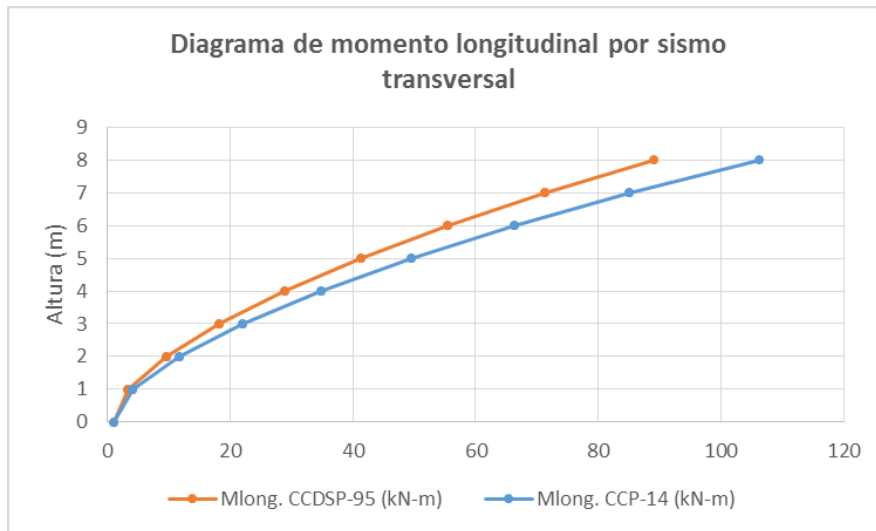


Figura 163 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca

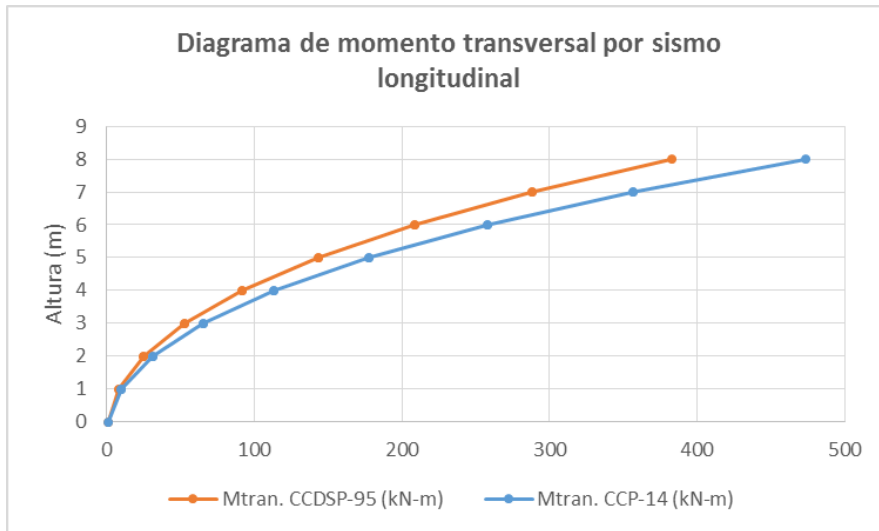


Figura 164 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

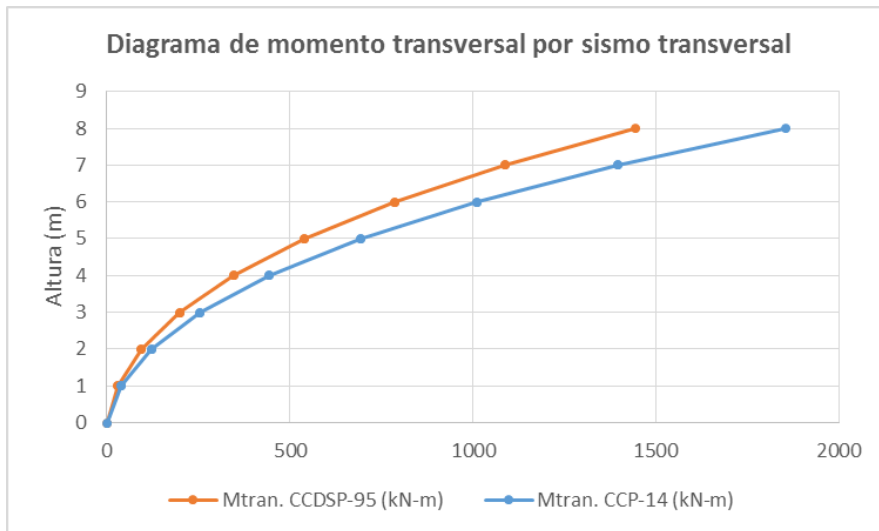


Figura 165 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.3.9 Pilote 6 eje 4

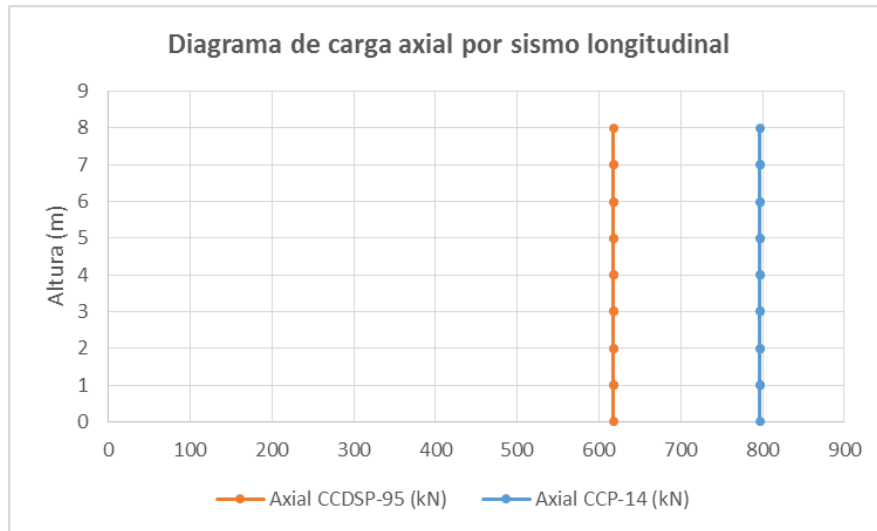


Figura 166 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Vía Minca

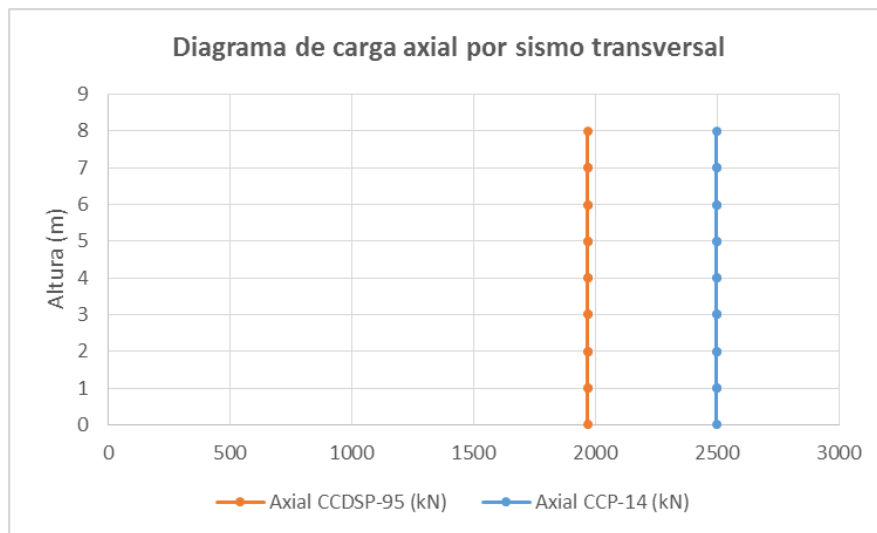


Figura 167 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Vía Minca

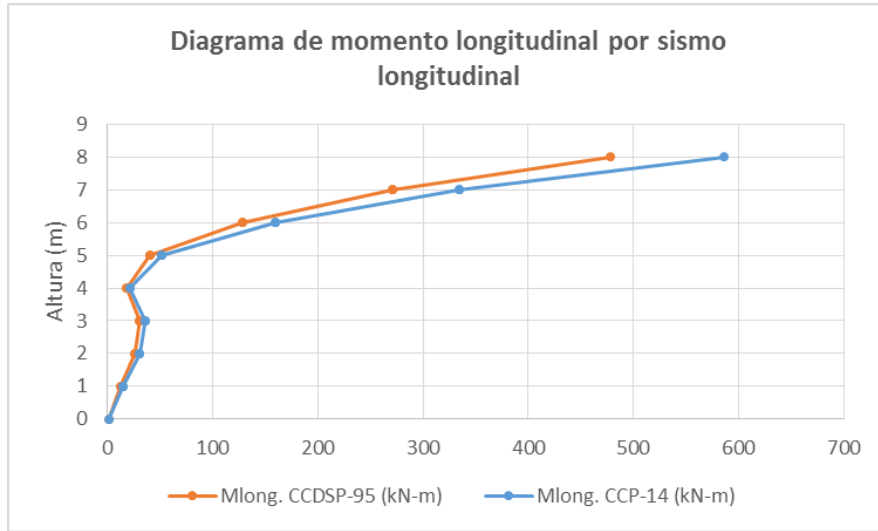


Figura 168 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Vía Minca

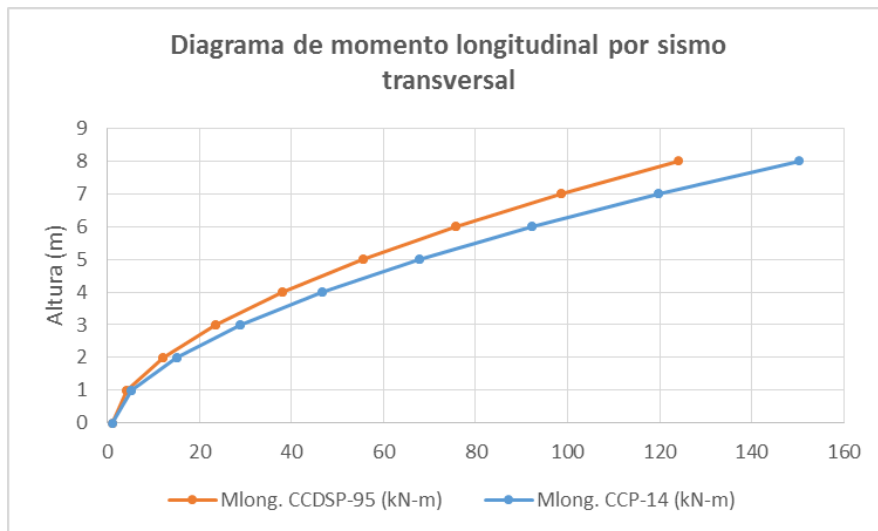


Figura 169 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Vía Minca

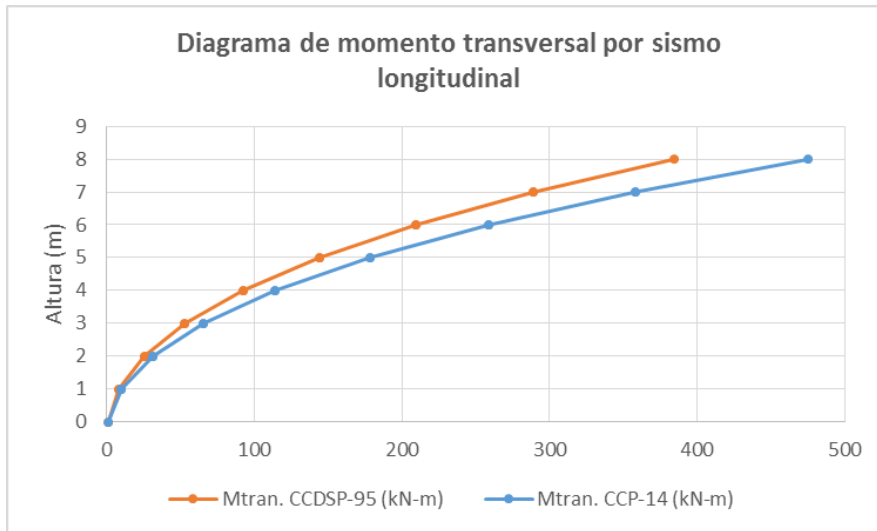


Figura 170 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Vía Minca

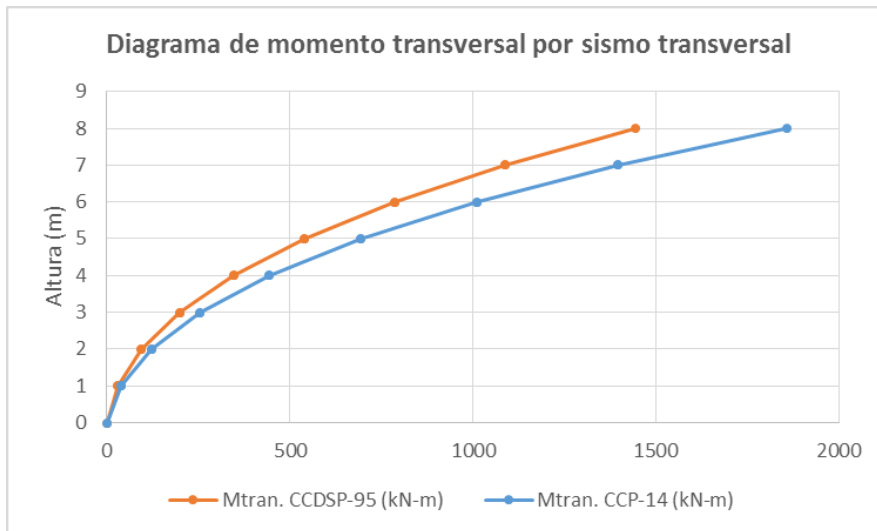


Figura 171 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Vía Minca

8.3.4 Combinaciones de diseño columnas

8.3.4.1 Columna eje 2

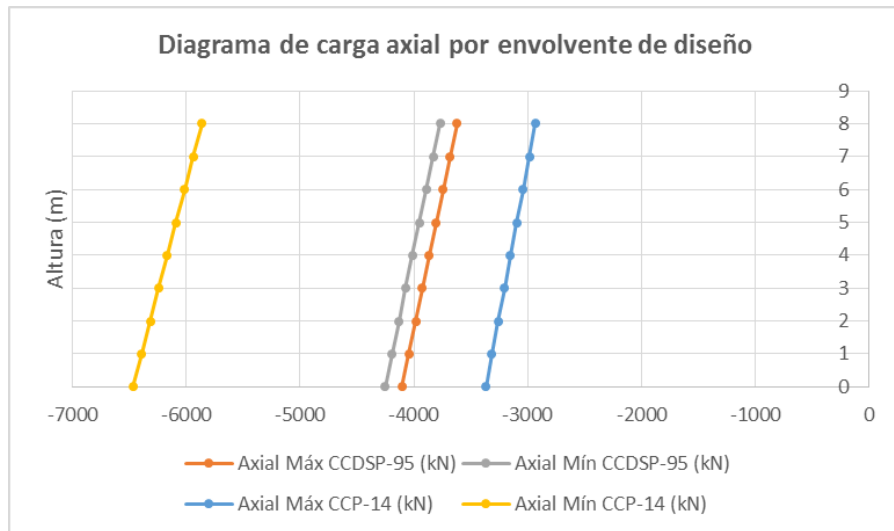


Figura 172 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

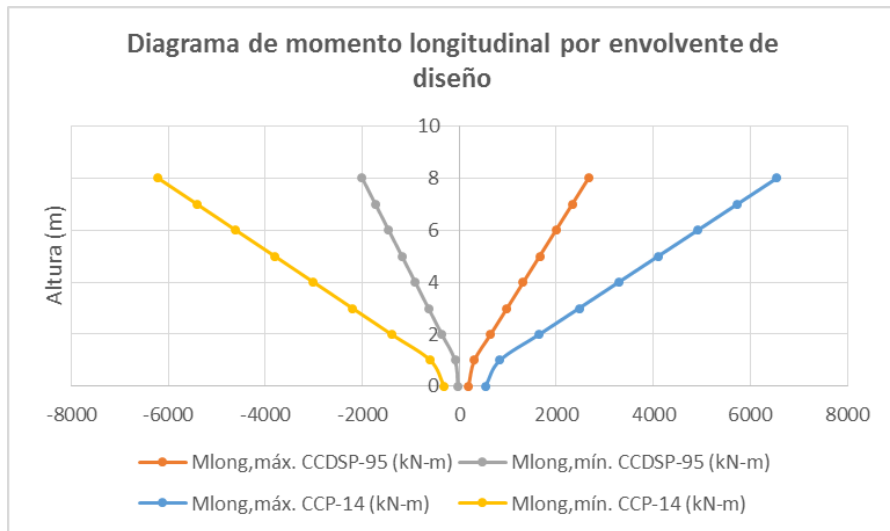


Figura 173 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

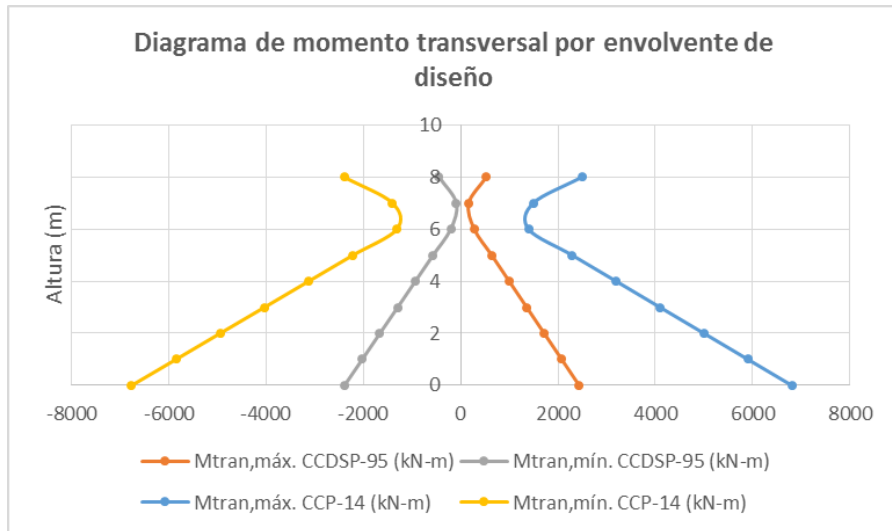


Figura 174 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

8.3.4.2 Columna eje 3

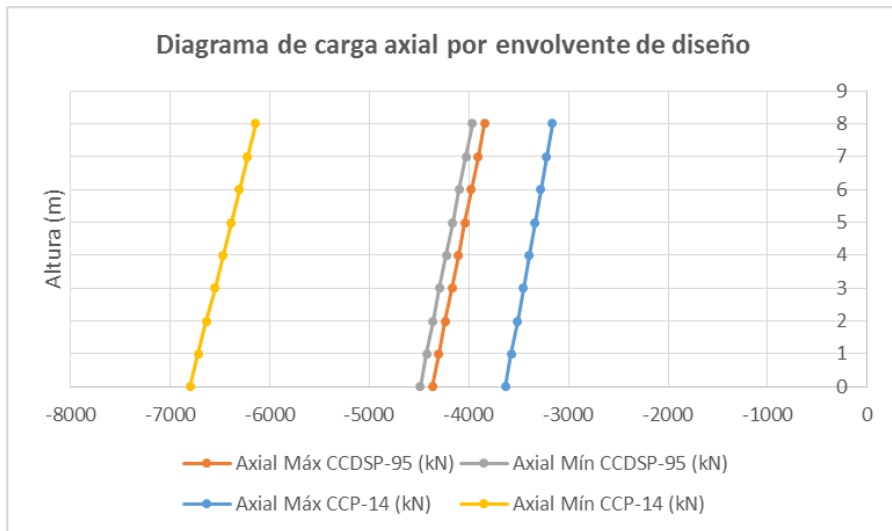


Figura 175 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

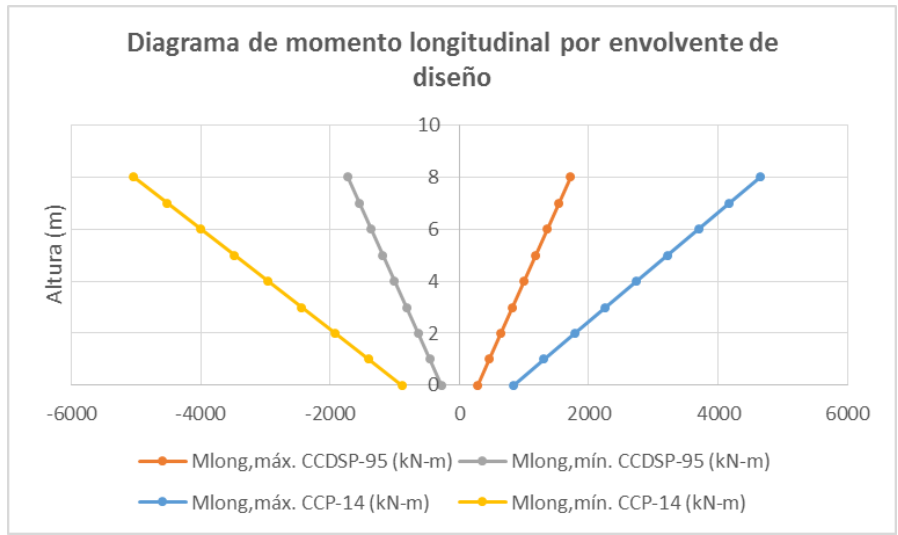


Figura 176 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

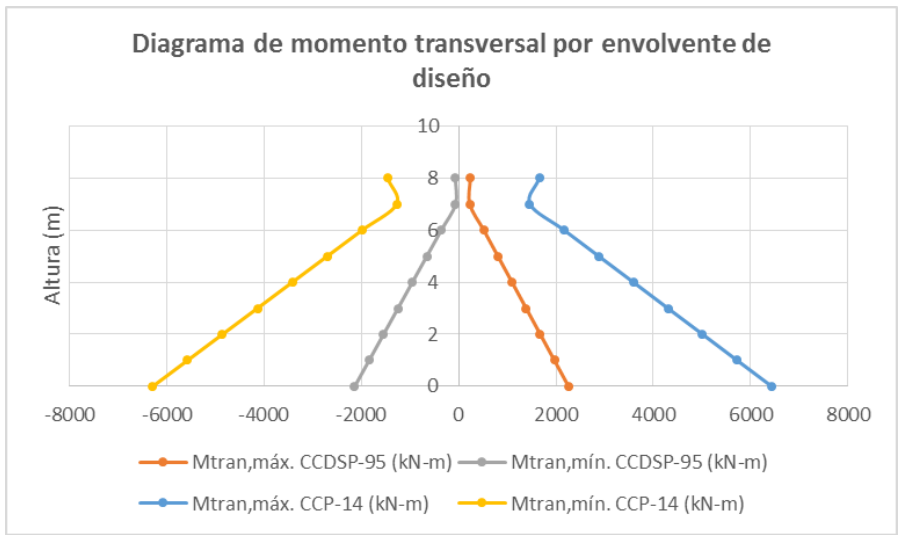


Figura 177 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

8.3.4.3 Columna eje 4

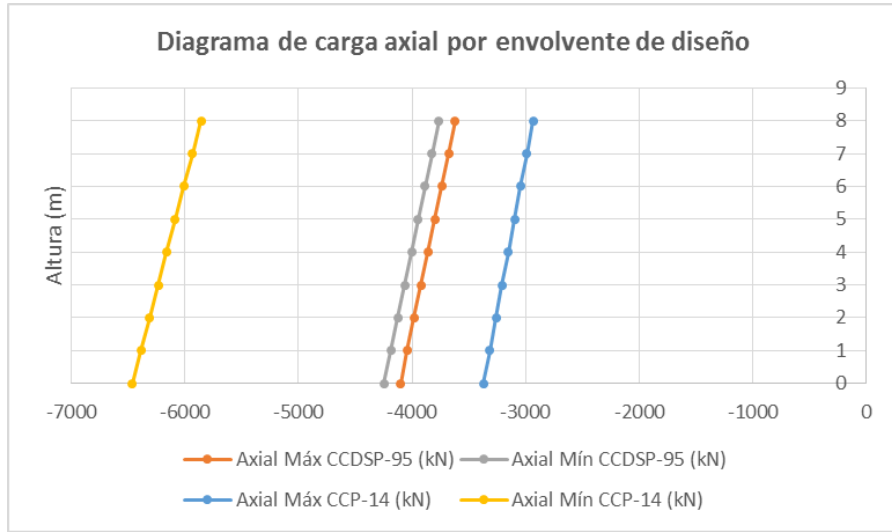


Figura 178 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

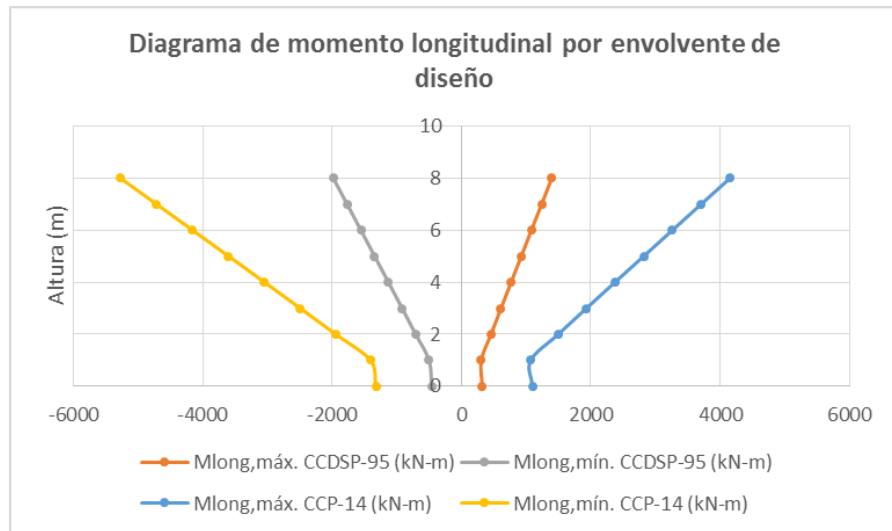


Figura 179 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

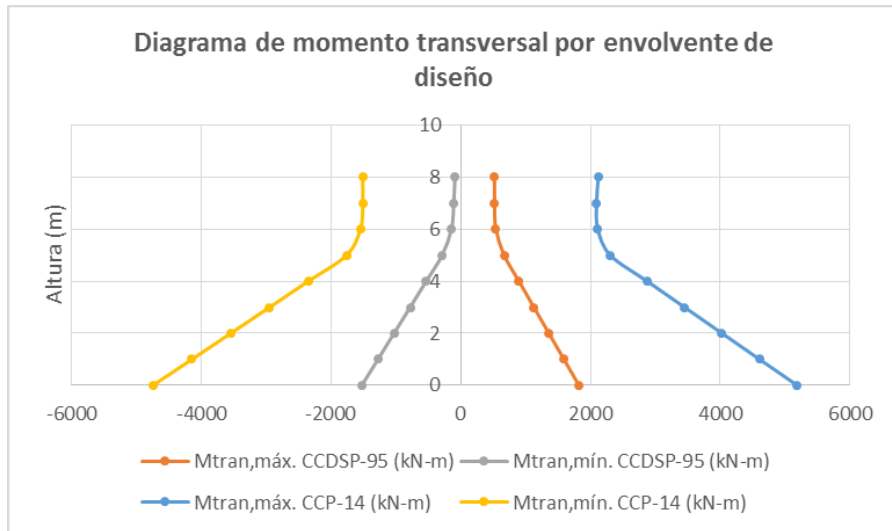


Figura 180 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltente de Diseño Puente Vía Minca

8.3.5 Combinaciones de diseño pilotes

8.3.5.1 Pilote 1 Eje 2

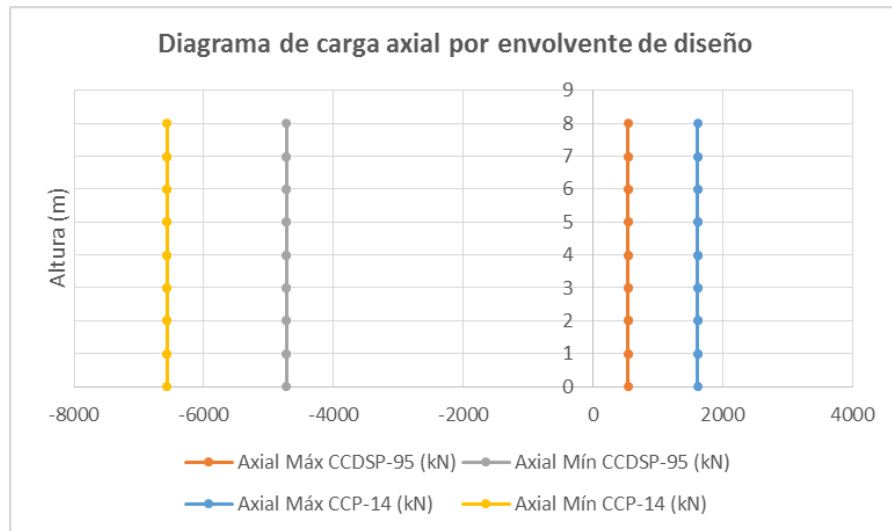


Figura 181 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

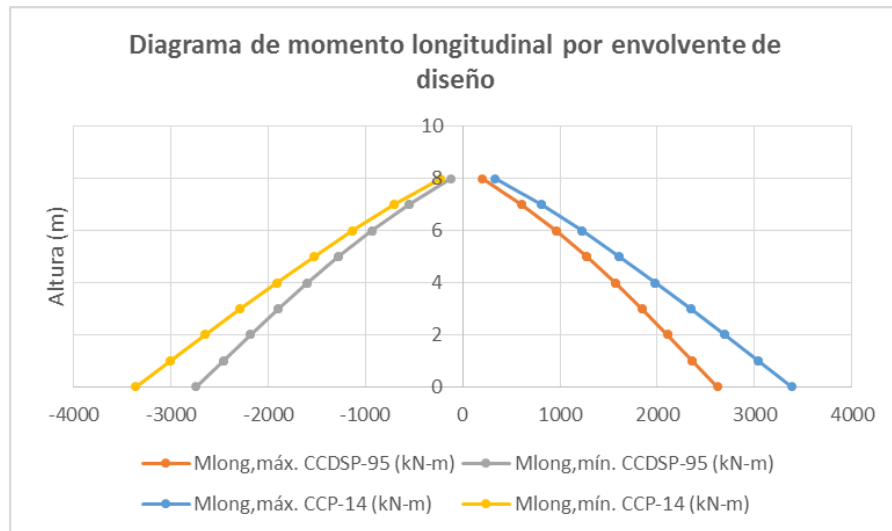


Figura 182 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

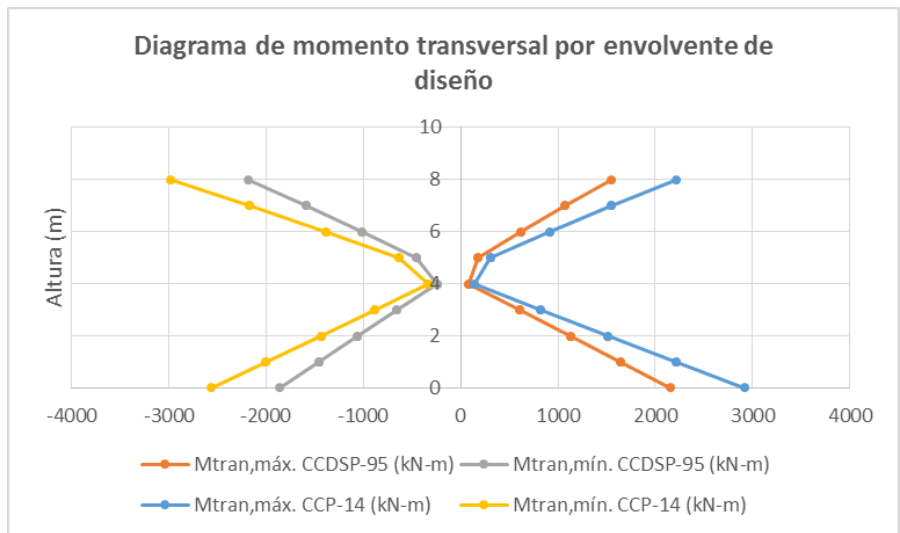


Figura 183 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

8.3.5.2 Pilote 2 Eje 2

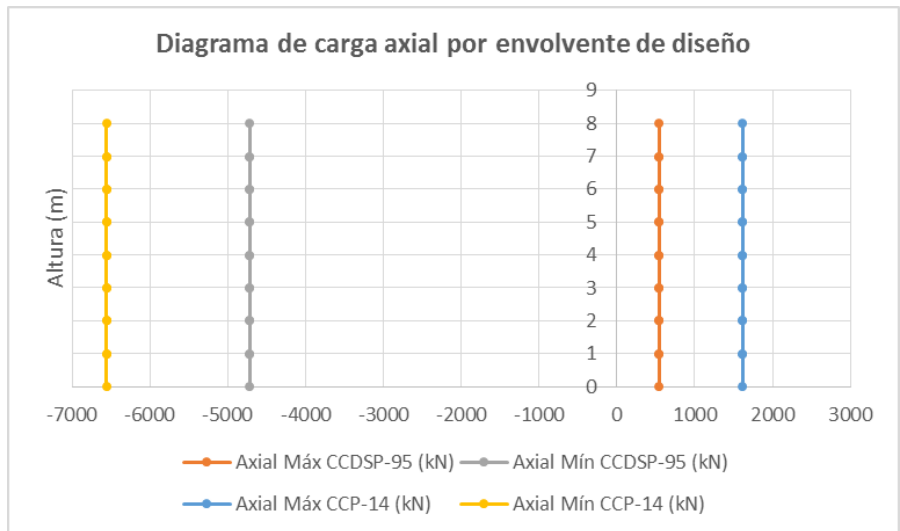


Figura 184 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

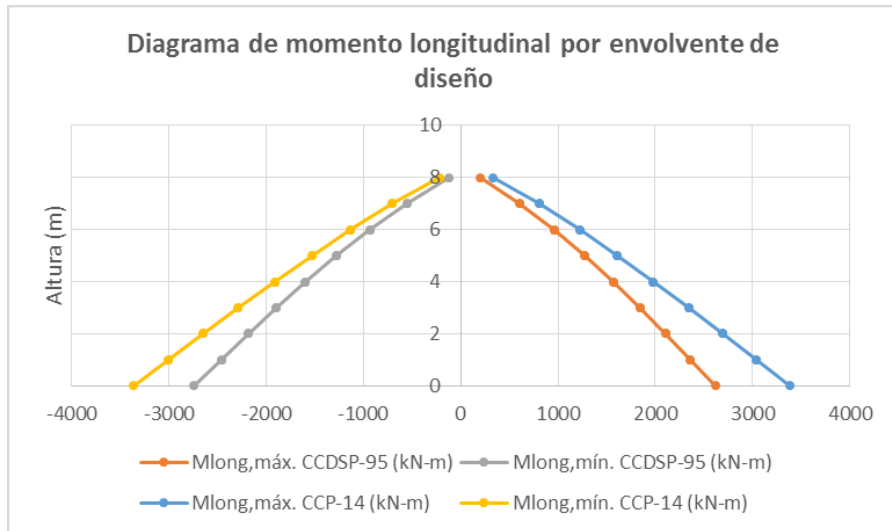


Figura 185 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

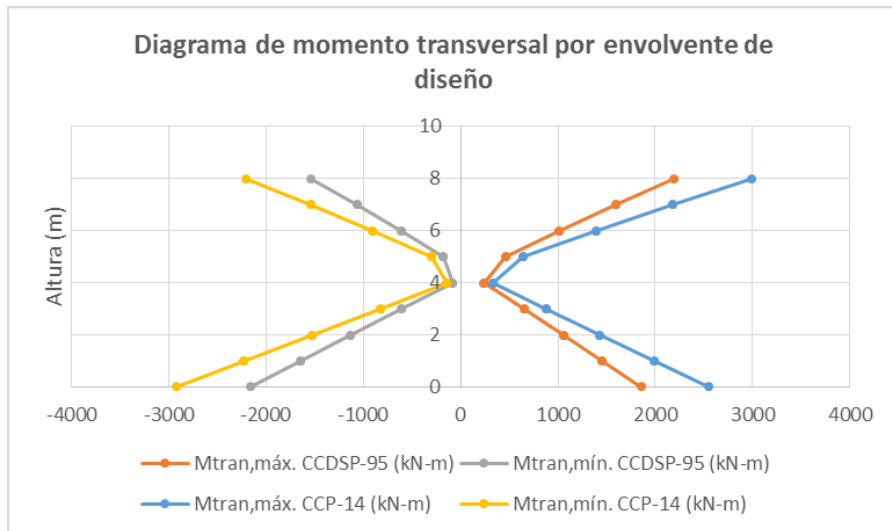


Figura 186 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

8.3.5.3 Pilote 3 Eje 3

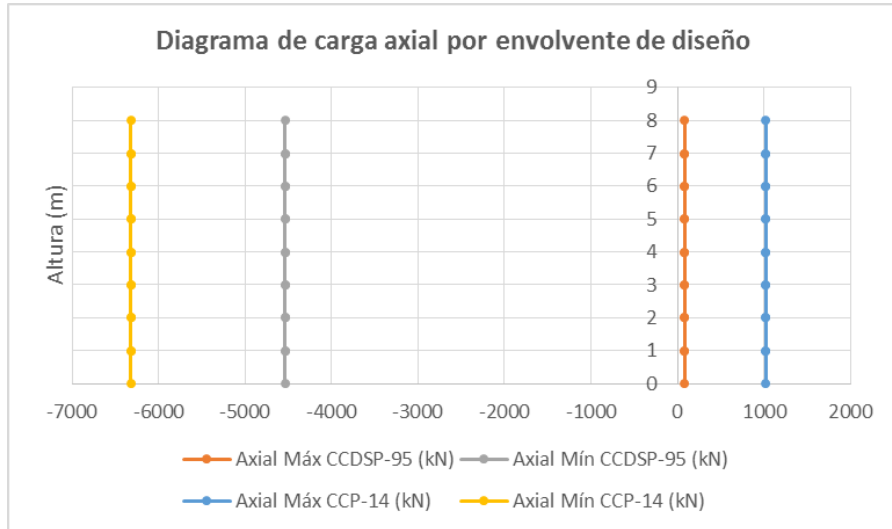


Figura 187 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puesto Vía Minca

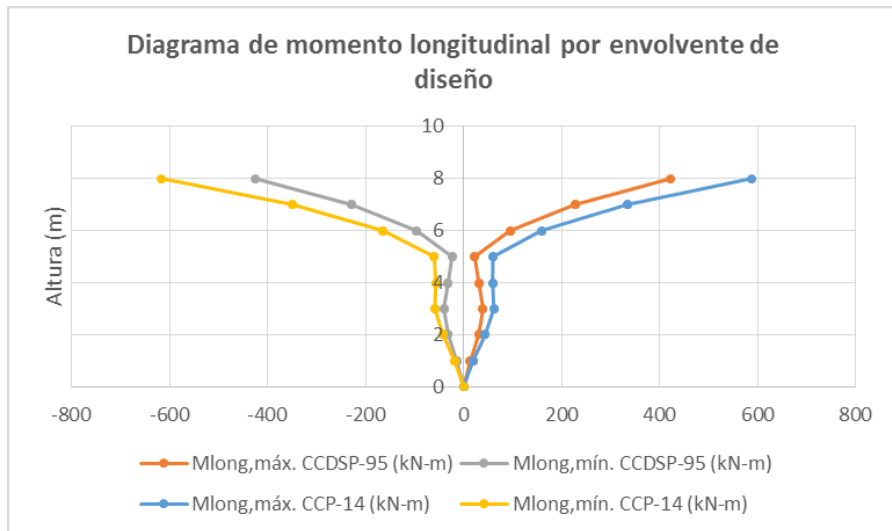


Figura 188 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puesto Vía Minca

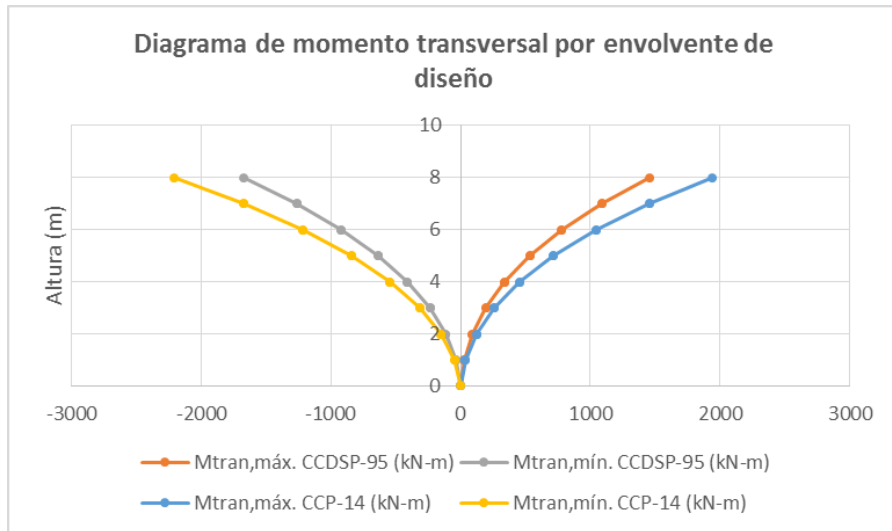


Figura 189 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

8.3.5.4 Pilote 4 Eje 3

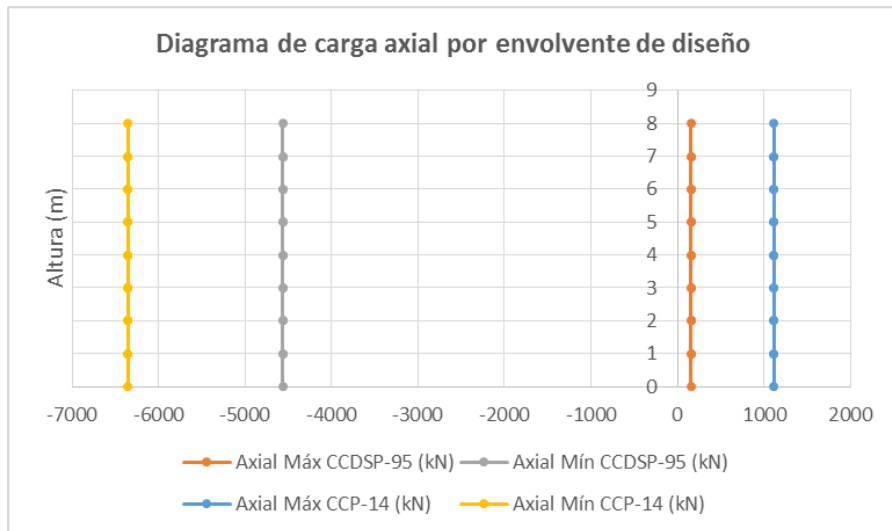


Figura 190 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

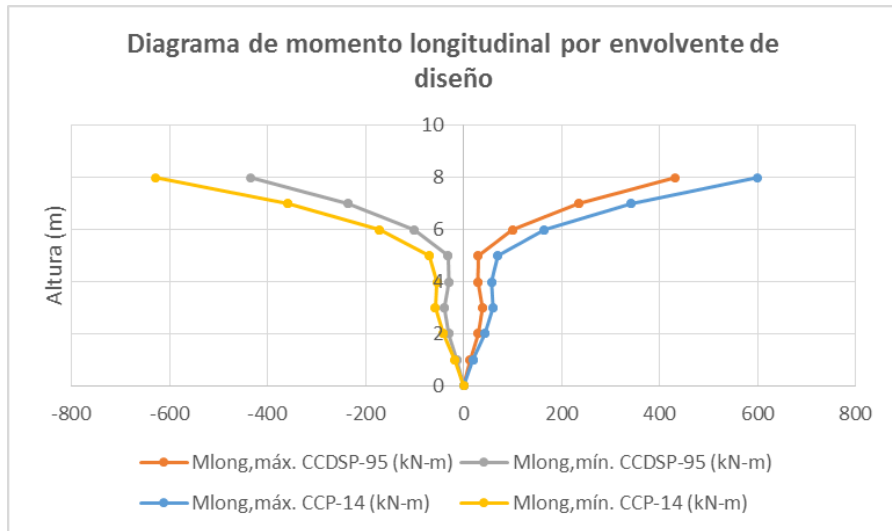


Figura 191 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

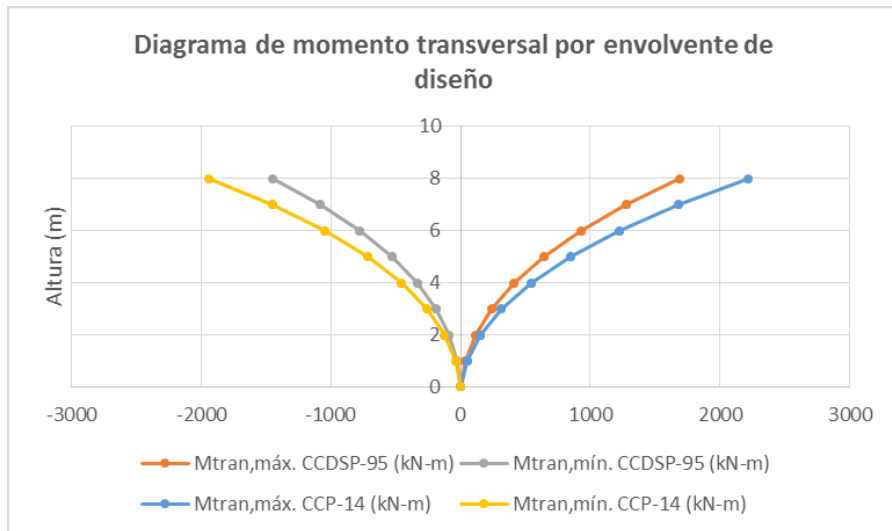


Figura 192 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

8.3.5.5 Pilote 5 Eje 4

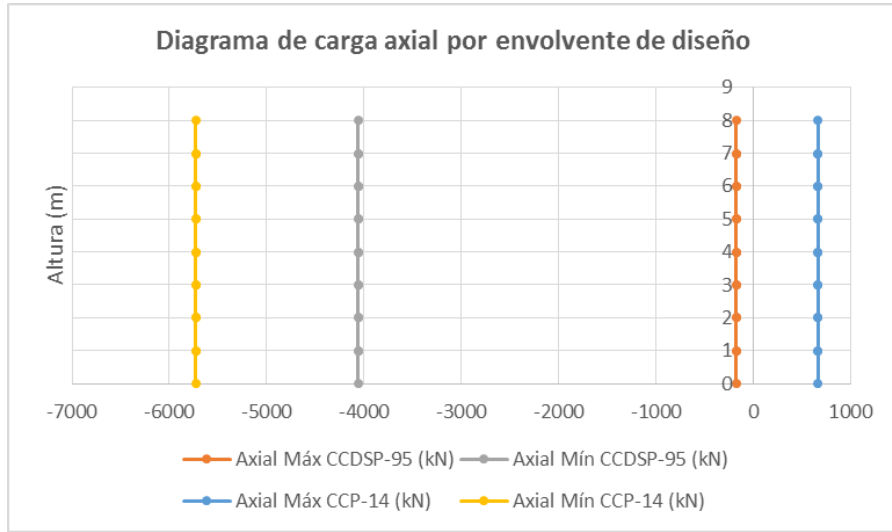


Figura 193 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puentes Vía Minca

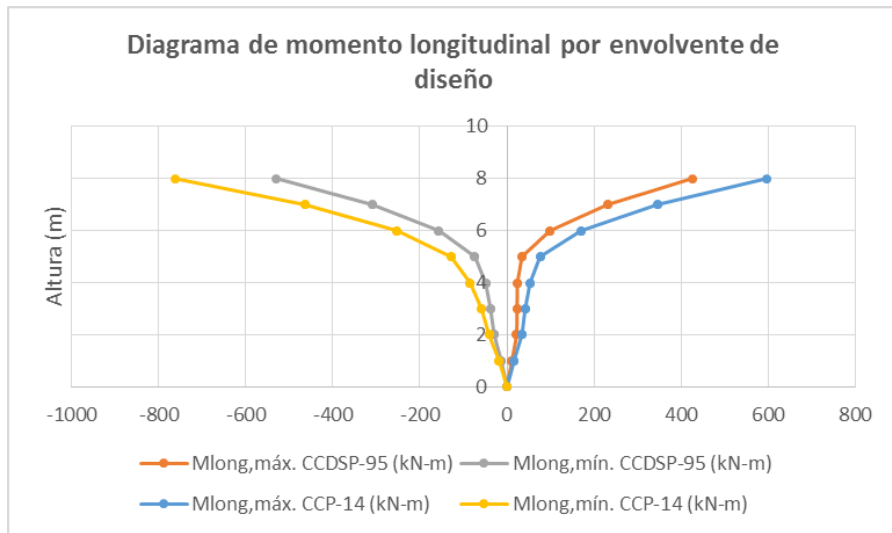


Figura 194 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puentes Vía Minca

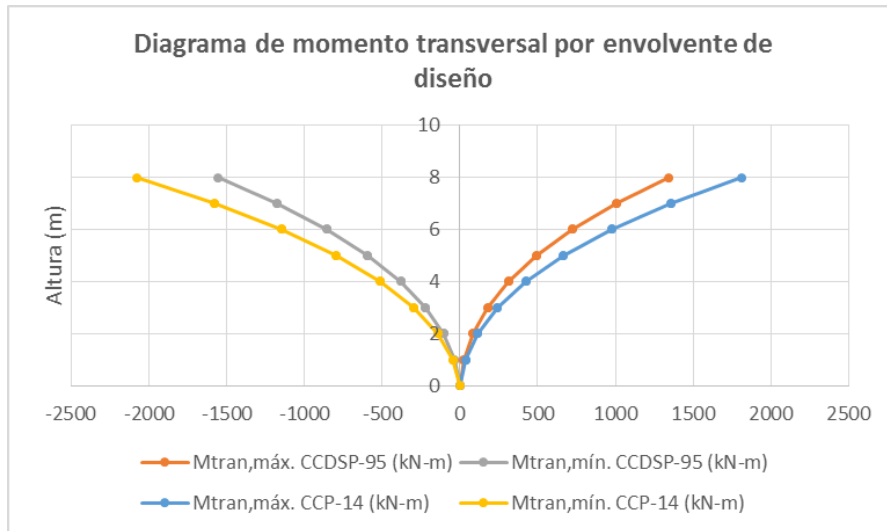


Figura 195 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

8.3.5.6 Pilote 6 Eje 4

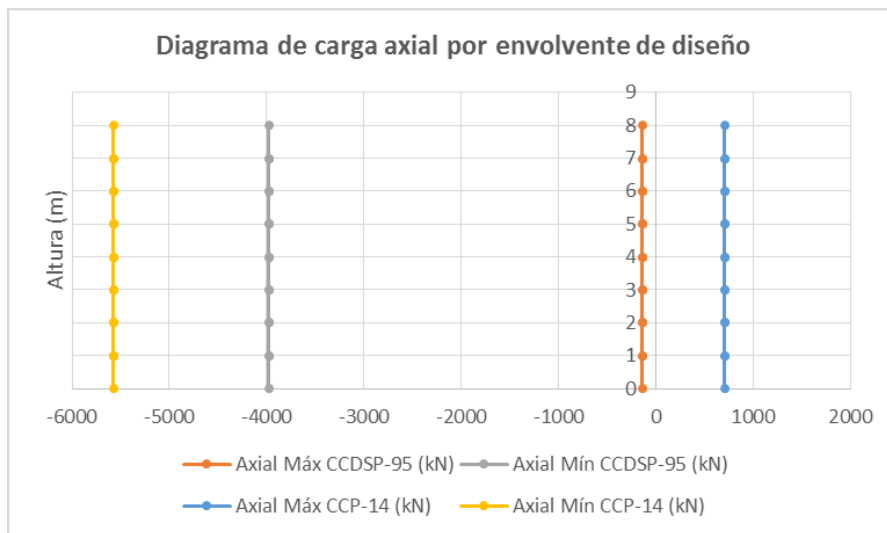


Figura 196 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Vía Minca

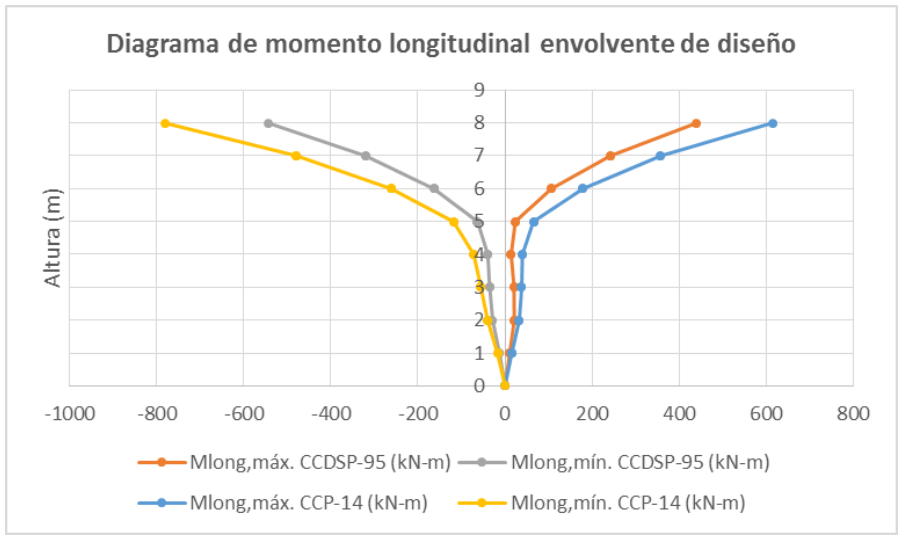


Figura 197 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca

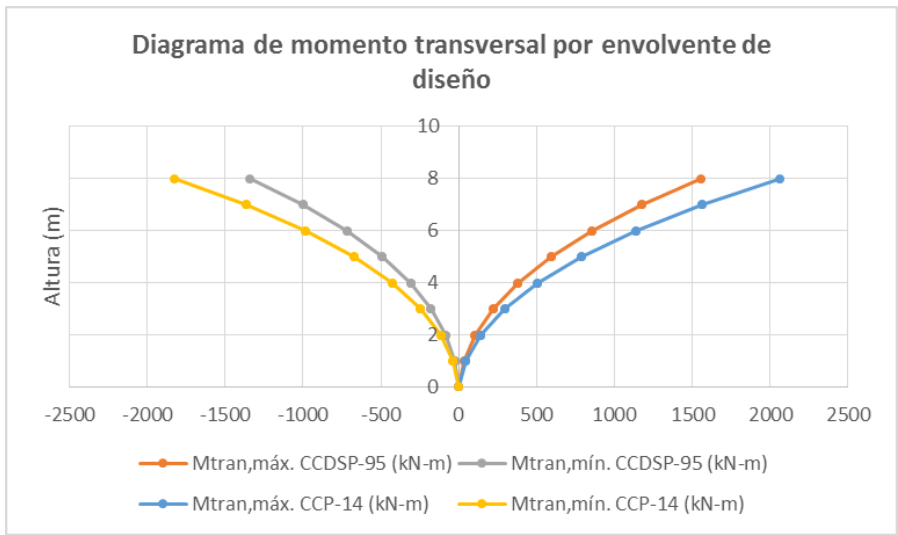


Figura 198 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envolvente de Diseño Puente Vía Minca

8.4 Puente Bermúdez – CCDSP-95

8.4.1 Evaluación de cargas

8.4.1.1 Carga Viva (LL)

La carga viva con la que se analizó el puente corresponde a la carga de carril la cual depende de la luz.

Para obtener los momentos la carga de carril utilizada es la siguiente:

Tabla 10 Carga de carril para momento CCDSP-95 – Puente Bermúdez.

$28 \leq L \leq 100$	Carril	$w = 1.50 - \frac{(L-28)}{200}$ P=12 ton
L=32.5m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(32.5-28)}{200} = 1.48 \text{ton/m}$ P=12 ton
L=65m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(65-28)}{200} = 1.32 \text{ton/m}$ P=12 ton

Para obtener los cortantes la carga de carril utilizada es la siguiente:

Tabla 11 Carga de carril para cortante CCDSP-95 – Puente Bermúdez.

$28 \leq L \leq 100$	Carril	$w = 1.50 - \frac{(L-24)}{300}$ P=16 ton
L=32.5m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(32.5-24)}{300} = 1.47 \text{ ton/m}$ P=16 ton
L=65m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(65-24)}{300} = 1.36 \text{ ton/m}$ P=16 ton

El incremento por efecto del impacto también depende de la luz.

Tabla 12 Porcentaje de impacto – Puente Bermúdez.

Impacto	$I = \frac{16}{L + 40}$
L=32.5m	$I = \frac{16}{32.5 + 40} = 0.22$
L=65m	$I = \frac{16}{65 + 40} = 0.15$

8.4.1.2 Factor de reducción de carga

El análisis por carga viva se realizó teniendo en cuenta dos condiciones:

1. El paso de un solo camión, permitiéndole desplazarse transversalmente a través del ancho libre del puente, con un factor de 1.0.
2. El paso de dos camiones, permitiéndoles desplazarse transversalmente por la mitad del ancho libre del puente, con un factor de 1.0

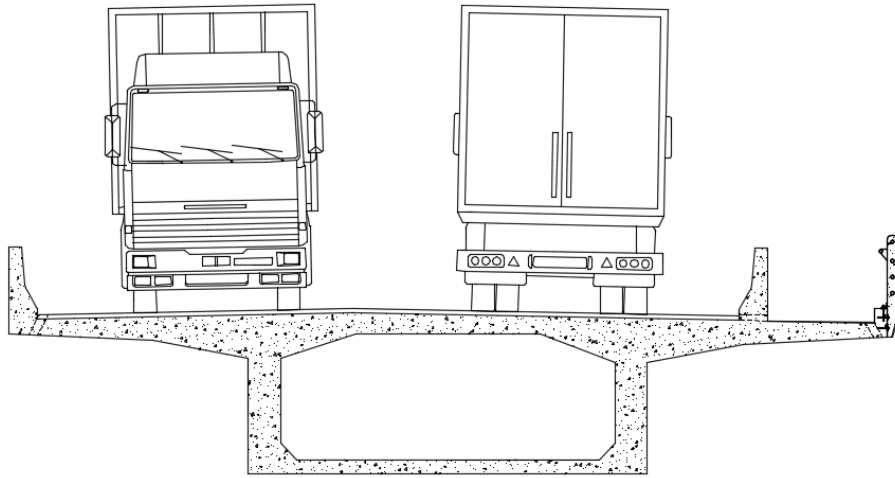


Figura 199 Número de carriles Puente Bermúdez

8.4.2 Combinaciones de diseño

Para el análisis de la superestructura se obtuvieron los esfuerzos por la combinación de diseño Grupo I.

La subestructura se analizó con la combinación de diseño Grupo VII.

8.4.3 Análisis sísmico

Los siguientes aspectos son importantes en el análisis sísmico.

- El puente vehicular se encuentra ubicado en el proyecto vial Rumichaca – Pasto - Chachagui - Aeropuerto, por lo que se empleó un coeficiente de aceleración efectiva $A_a = 0.25$, de acuerdo a la figura A.3.5-1 del CCP 200-95.
- El espectro empleado en el análisis estructural se presenta en la siguiente figura.

$$\begin{array}{l} A = 0.25 \\ \text{Tipo de Suelo} = S3 \end{array}$$

$$S = 1.5$$

$$S_{am} = \frac{1.2 \times A \times S}{T_m^{2/3}} \leq 2.5 \times A$$

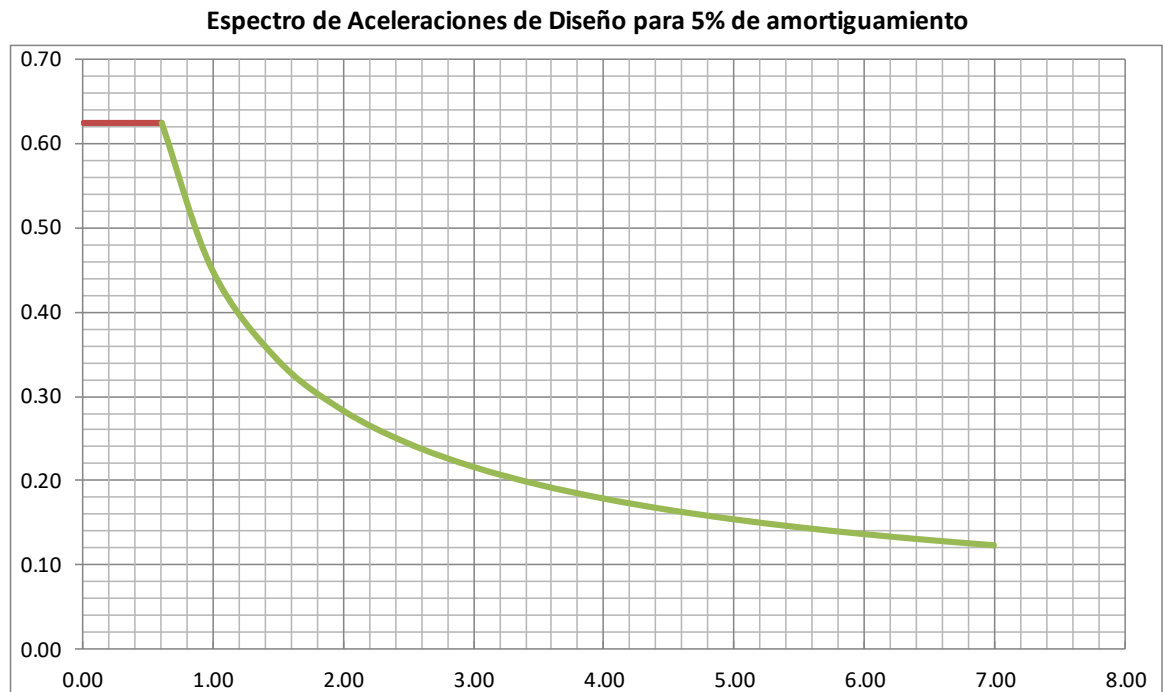


Figura 200 Espectro de diseño Puente Bermúdez CCDSP-95

8.4.4 Entrada de datos al programa CSI Bridge

8.4.4.1 Esquema 3D

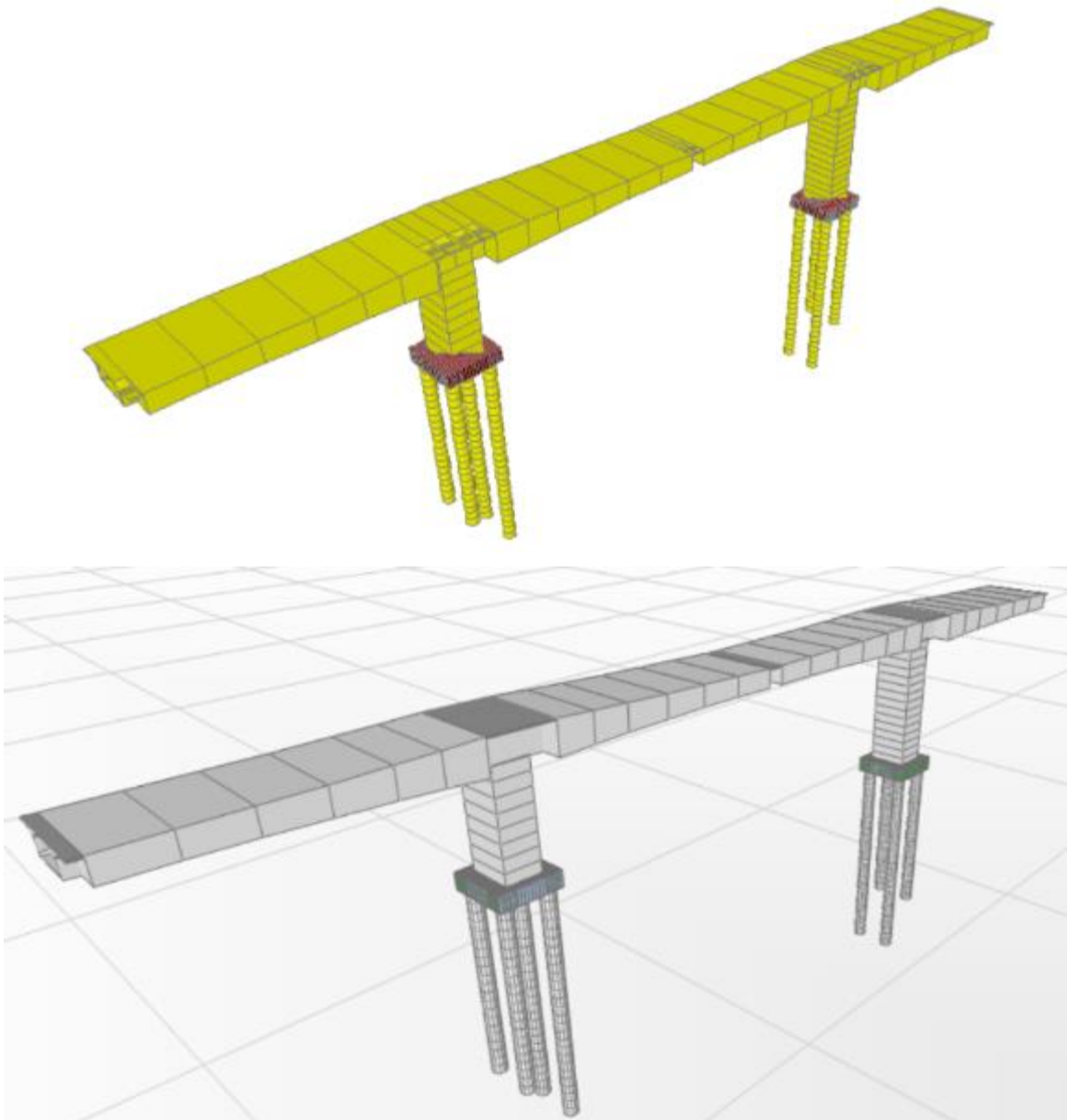


Figura 201 Esquema 3D - Puente Bermúdez

8.4.4.2 Carga Viva Vehicular

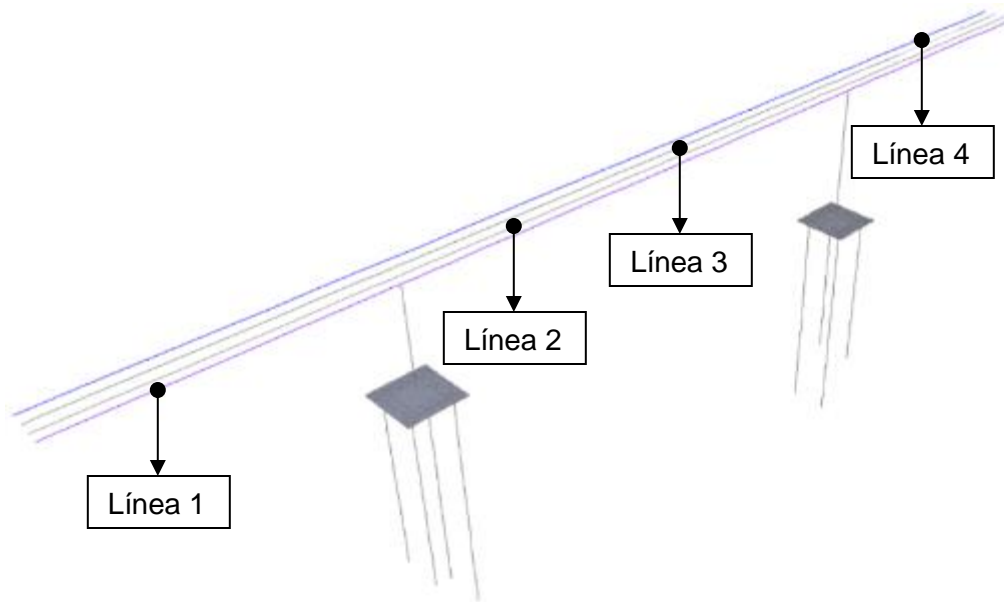


Figura 202 Líneas de carga SAP2000 - Puente Bermúdez

General Vehicle Data

Vehicle name: w4095_L32.5 Units: KN, m, C

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	117.6798	One Point	
For Other Responses	156.9064	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

- Lane Negative Moments at Supports
- Interior Vertical Support Forces
- All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3
Lane Interior Edge: 0.6

Length Effects:

Axle: None
Uniform: None

Loads:

Load	Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load		Infinite		14.5138	Lane Width		0.	One Point	
Leading Load		Infinite		14.5138	Lane Width		0.	One Point	

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 203 Camión C40-95 SAP2000 L=32.5m - Puente Bermúdez

General Vehicle Data

Vehicle name: W4095_L65 Units: KN, m, C

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	117.6798	One Point	
For Other Responses	156.9064	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3
Lane Interior Edge: 0.6

Length Effects:

Axle: None Modify/Show...
Uniform: None Modify/Show...

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		13.337	Lane Width		0	One Point	
Leading Load	Infinite		13.337	Lane Width		0	One Point	

Add Insert Modify Delete

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 204 Camión C40-95 SAP2000 L=65m - Puente Bermúdez

8.4.5 Análisis Viga Continua

8.4.5.1 Diagrama de momentos y cortantes (Unidades: kN-m)

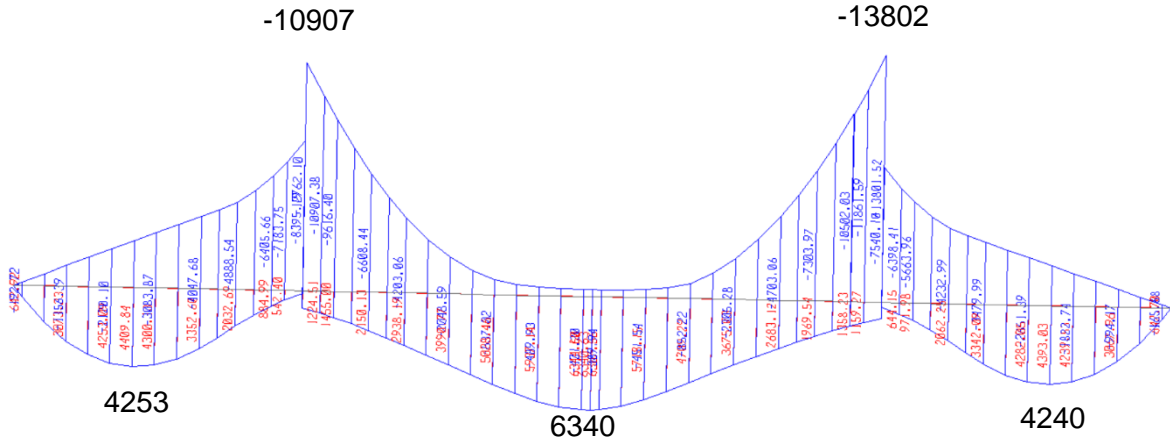


Figura 205 Momento carga viva vehicular - Puente Bermúdez

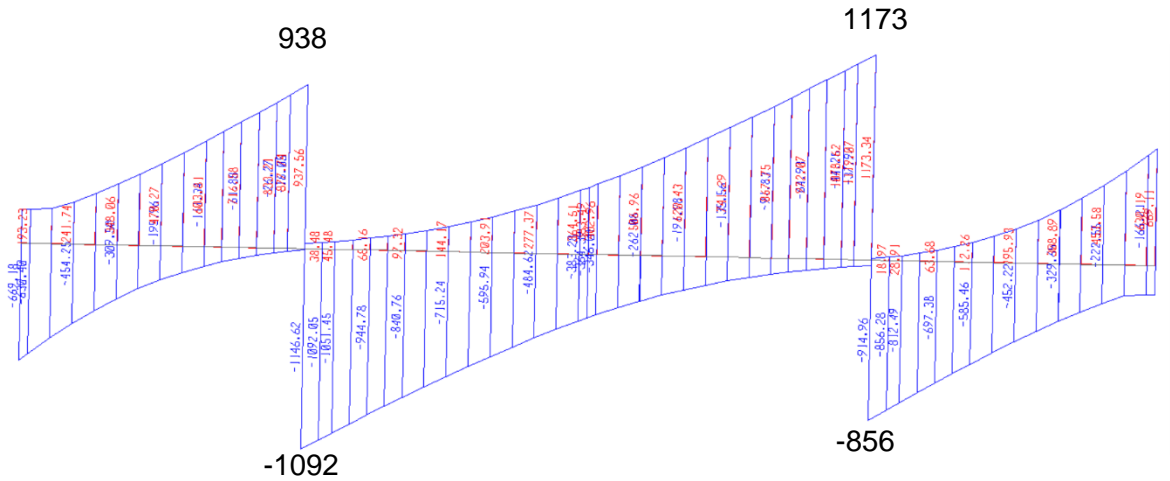


Figura 206 Cortante carga viva vehicular - Puente Bermúdez

Con las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 5.1.1 se obtuvieron los diagramas de momentos y cortantes, para la envolvente de diseño.

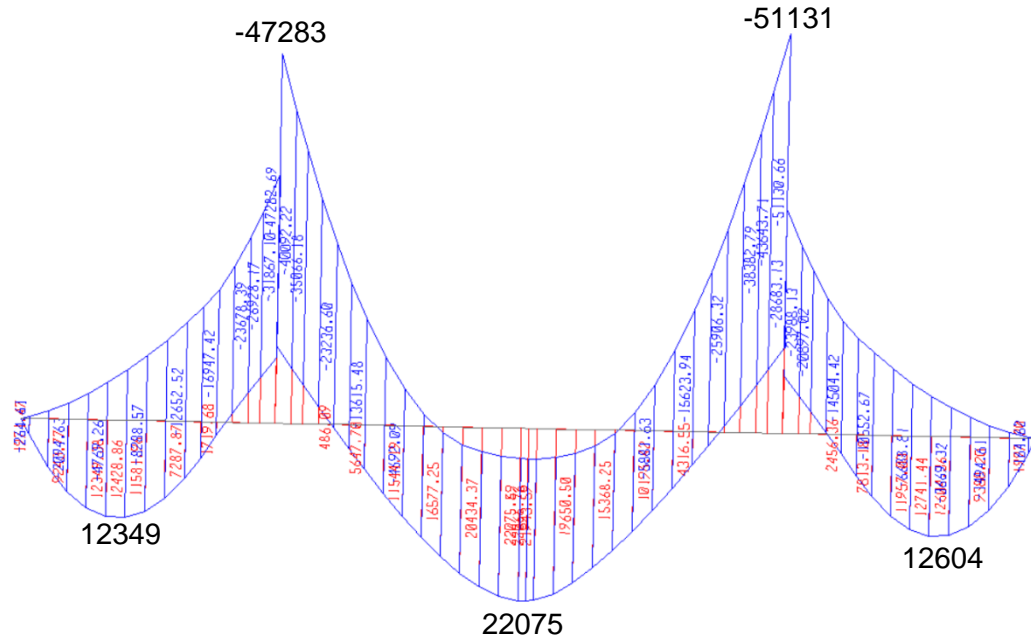


Figura 207 Momento por envoltura de diseño - Puente Bermúdez

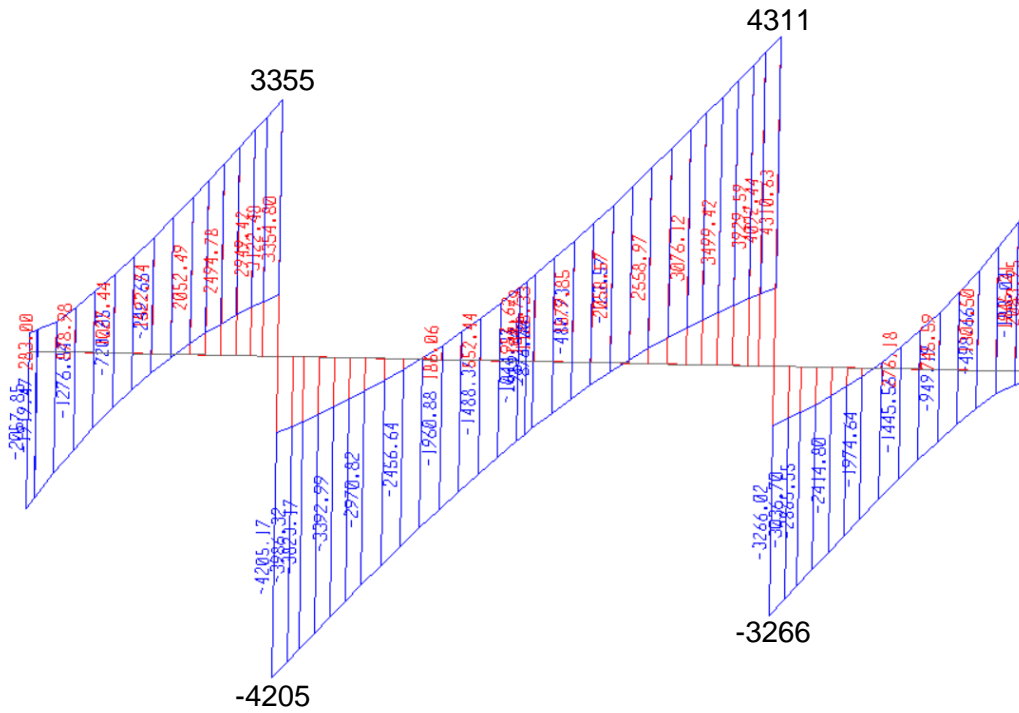


Figura 208 Cortante por envoltura de diseño - Puente Bermúdez

8.4.6 Análisis de columnas

8.4.6.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)



Figura 209 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Bermúdez



Figura 210 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez



Figura 211 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez



Figura 212 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Bermúdez



Figura 213 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez



Figura 214 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez

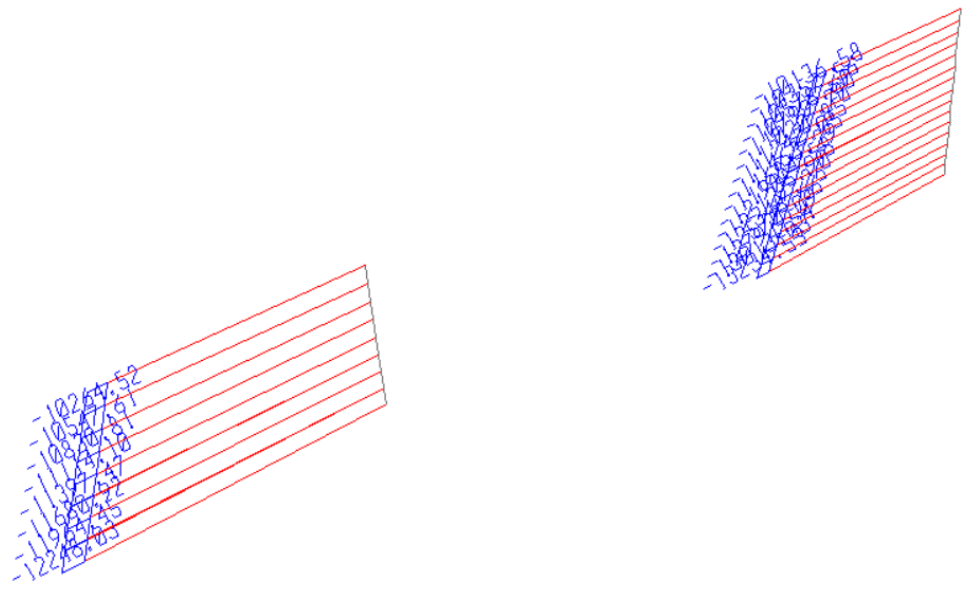
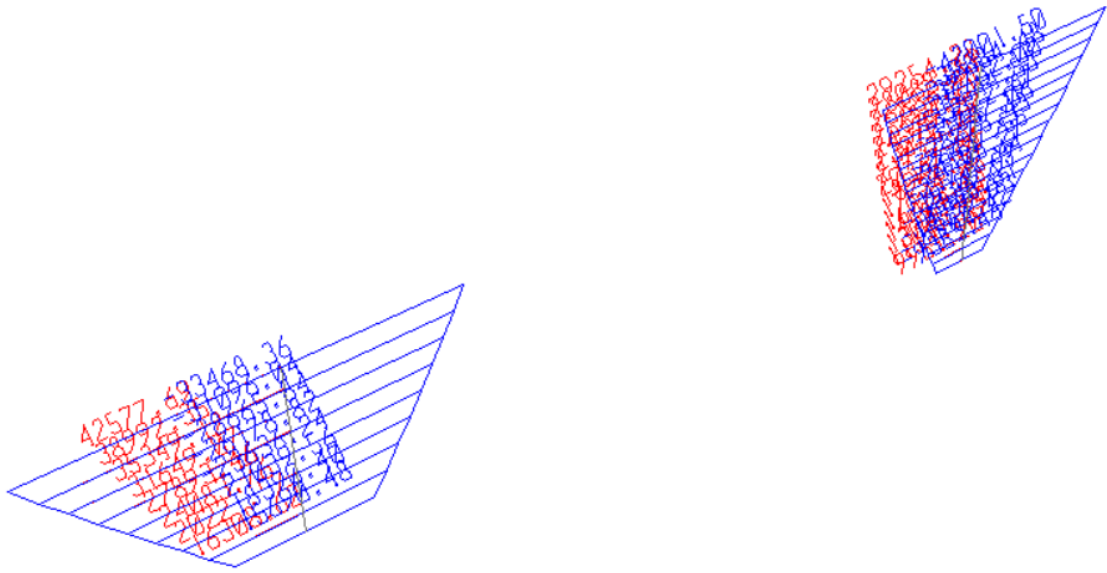
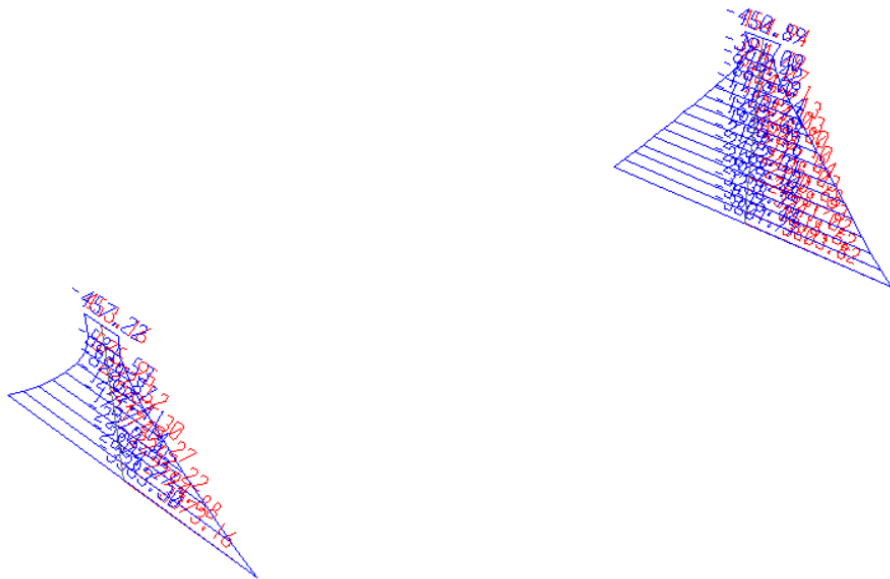


Figura 215 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Bermúdez



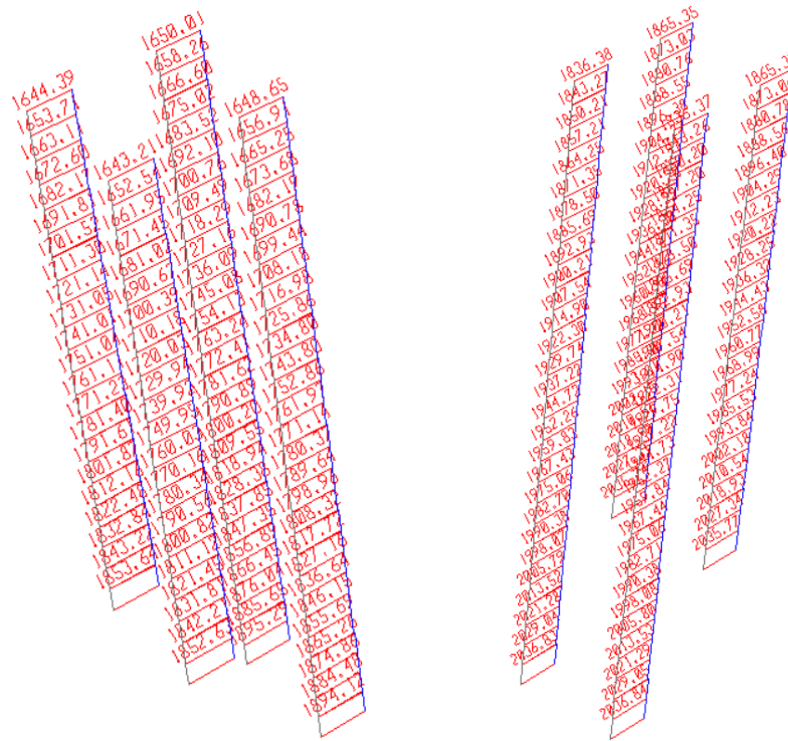
**Figura 216 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño -
Puente Bermúdez**



**Figura 217 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño -
Puente Bermúdez**

8.4.7 Análisis de pilotes

8.4.7.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)



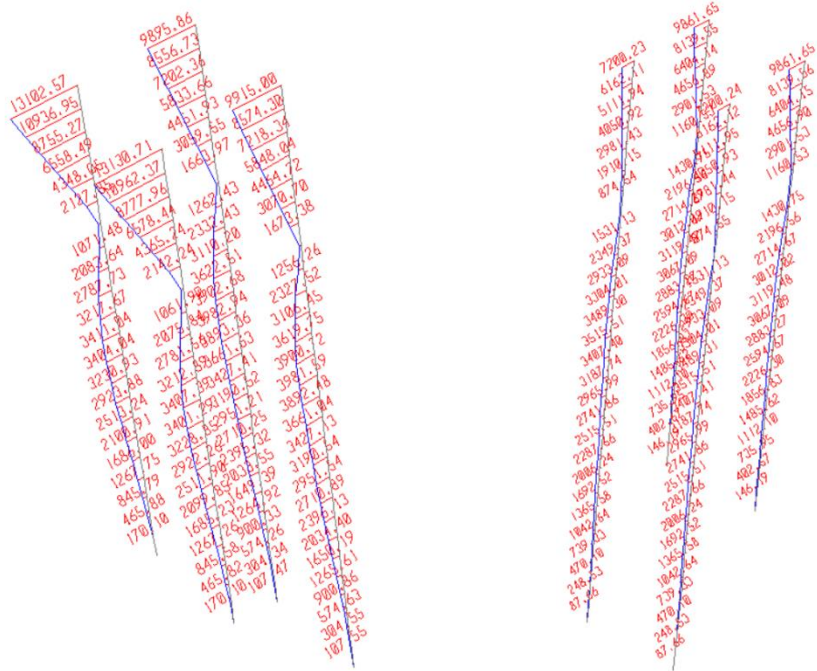


Figura 219 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez

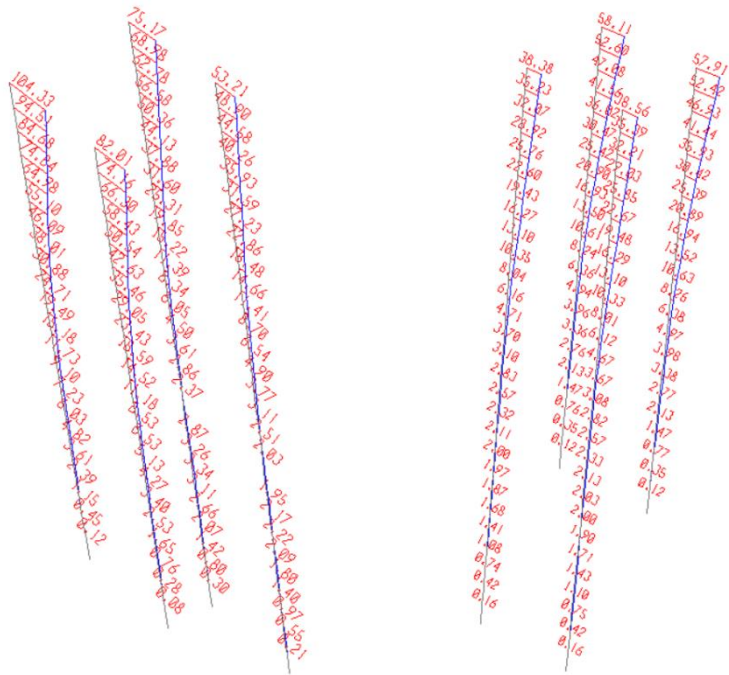


Figura 220 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez

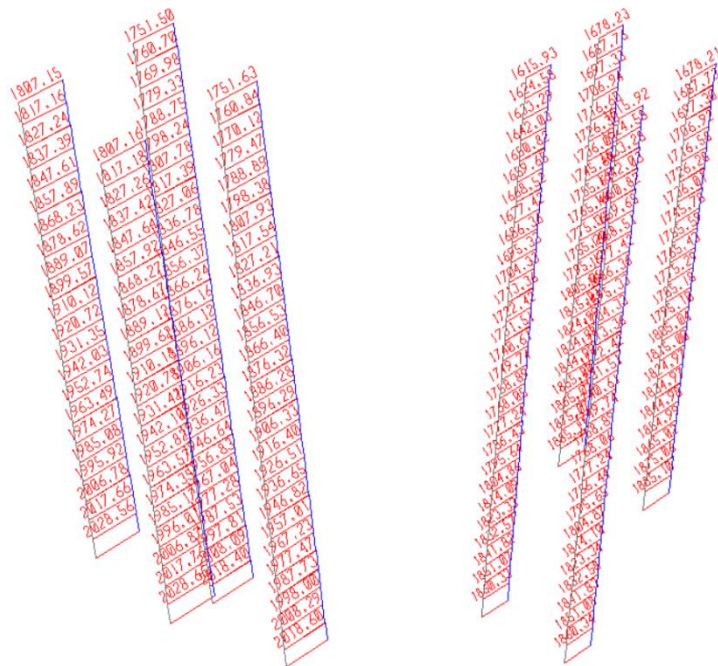


Figura 221 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Bermúdez

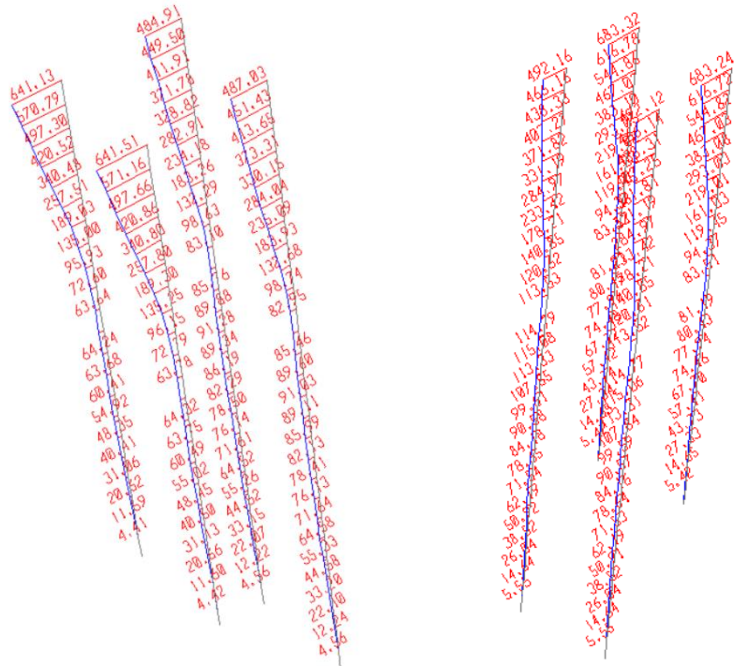


Figura 222 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez

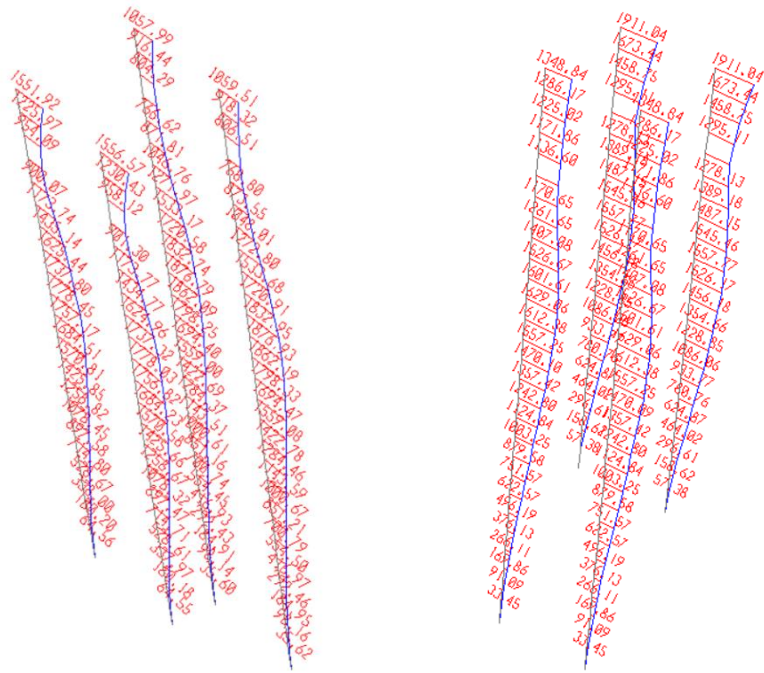


Figura 223 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez

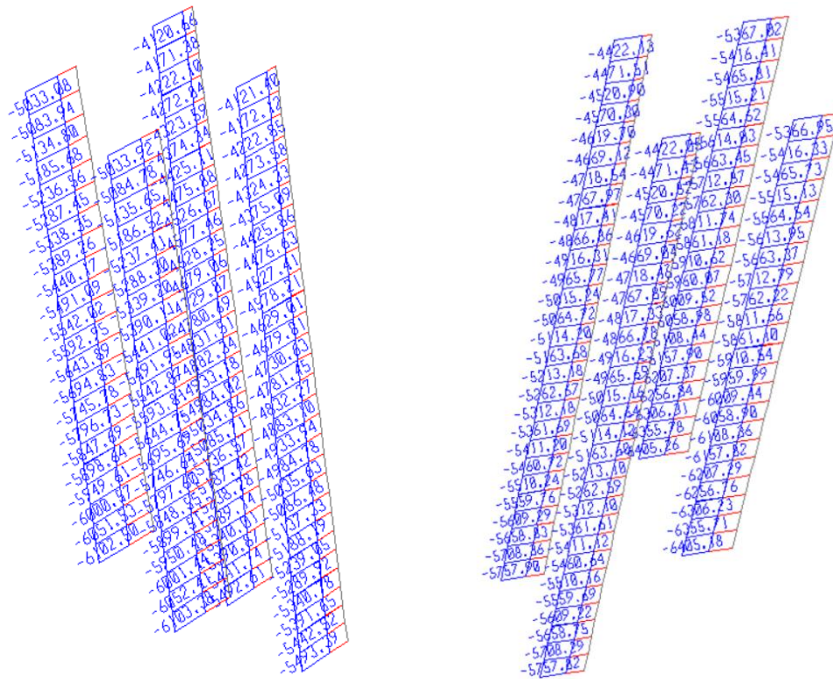


Figura 224 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Bermúdez

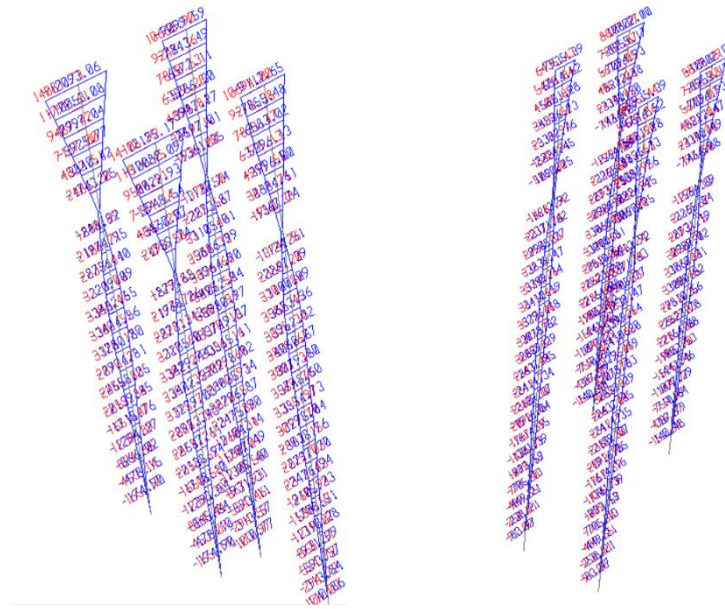


Figura 225 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez

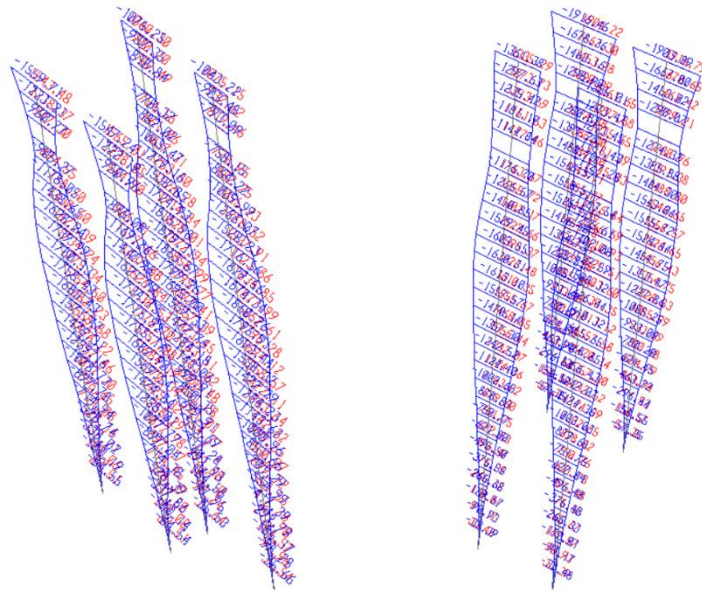


Figura 226 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente Bermúdez

8.5 Puente Bermúdez – CCP-14

8.5.1 Evaluación de cargas

8.5.1.1 Carga Viva (LL)

De acuerdo con el CCP-14 sección 3, se emplea el camión de diseño CC-14, el cual consiste en un camión propiamente dicho o tándem y una carga distribuida, como se explicó en el Numeral 6.1.4.1.

8.5.1.2 Factor de amplificación dinámica (IM)

Se consideró un factor de amplificación dinámica de 33%. Solo se aplicó a la porción correspondiente al camión o tándem y no a la carga de carril.

8.5.1.3 Factor de multi presencia

El análisis por carga viva se realizó teniendo en cuenta dos condiciones:

1. El paso de un solo camión, permitiéndole desplazarse transversalmente a través del ancho libre del puente, con un factor de 1.2.
2. El paso de dos camiones, permitiéndoles desplazarse transversalmente por la mitad del ancho libre del puente, con un factor de 1.0

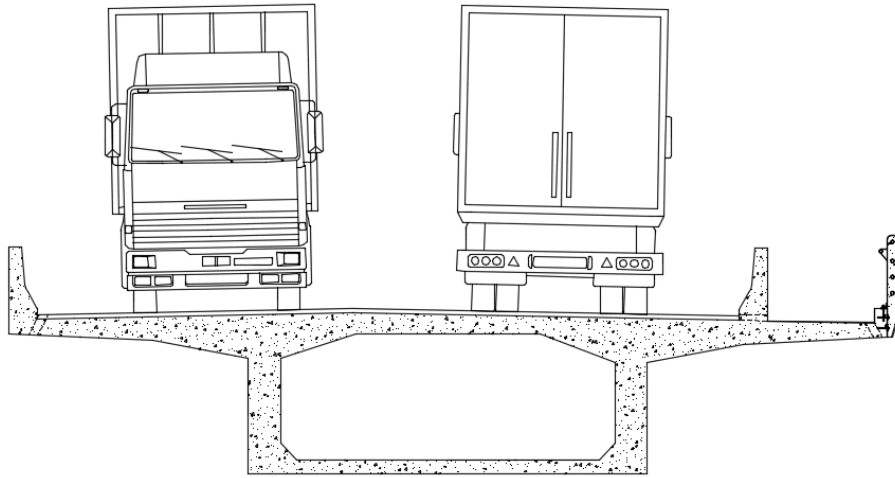


Figura 227 Número de carriles Puente Bermúdez

8.5.2 Combinaciones de diseño

Para el análisis de la superestructura se obtuvieron los esfuerzos por la combinación de diseño Resistencia I.

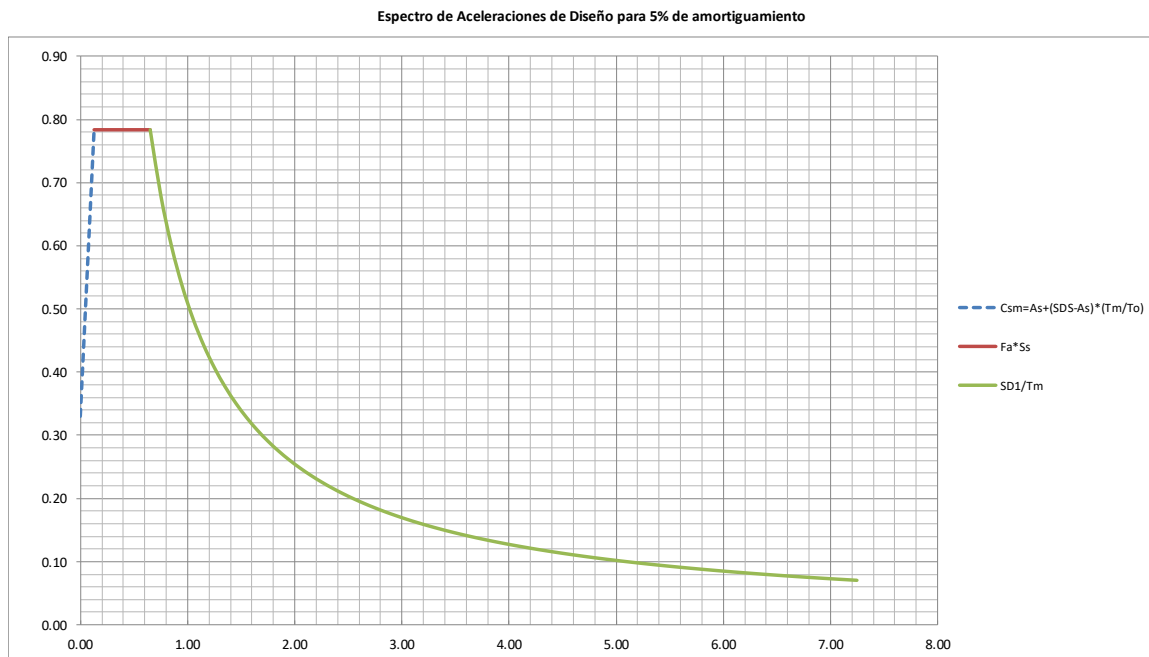
La subestructura se analizó con la combinación de diseño Evento Extremo I.

8.5.3 Análisis sísmico

Los siguientes aspectos son importantes en el análisis sísmico.

- El puente vehicular se encuentra ubicado en el proyecto vial Rumichaca –Pasto - Chachagui - Aeropuerto, por lo que se emplea un coeficiente de aceleración pico del terreno $PGA= 0.30$, coeficiente de período corto $S_s=0.70$ y coeficiente de período largo $S_1=0.35$. Tipo de perfil del terreno C.
- El espectro empleado en el análisis estructural se presenta en la siguiente figura.

PGA	0.30	As	0.33
Ss	0.70	SDS	0.78
S1	0.35	SD1	0.51
FPGA	1.10	TS	0.65
Fa	1.12	To	0.13
Fv	1.45		



8.5.4 Entrada de datos al programa SAP 2000

8.5.4.1 Esquema 3D

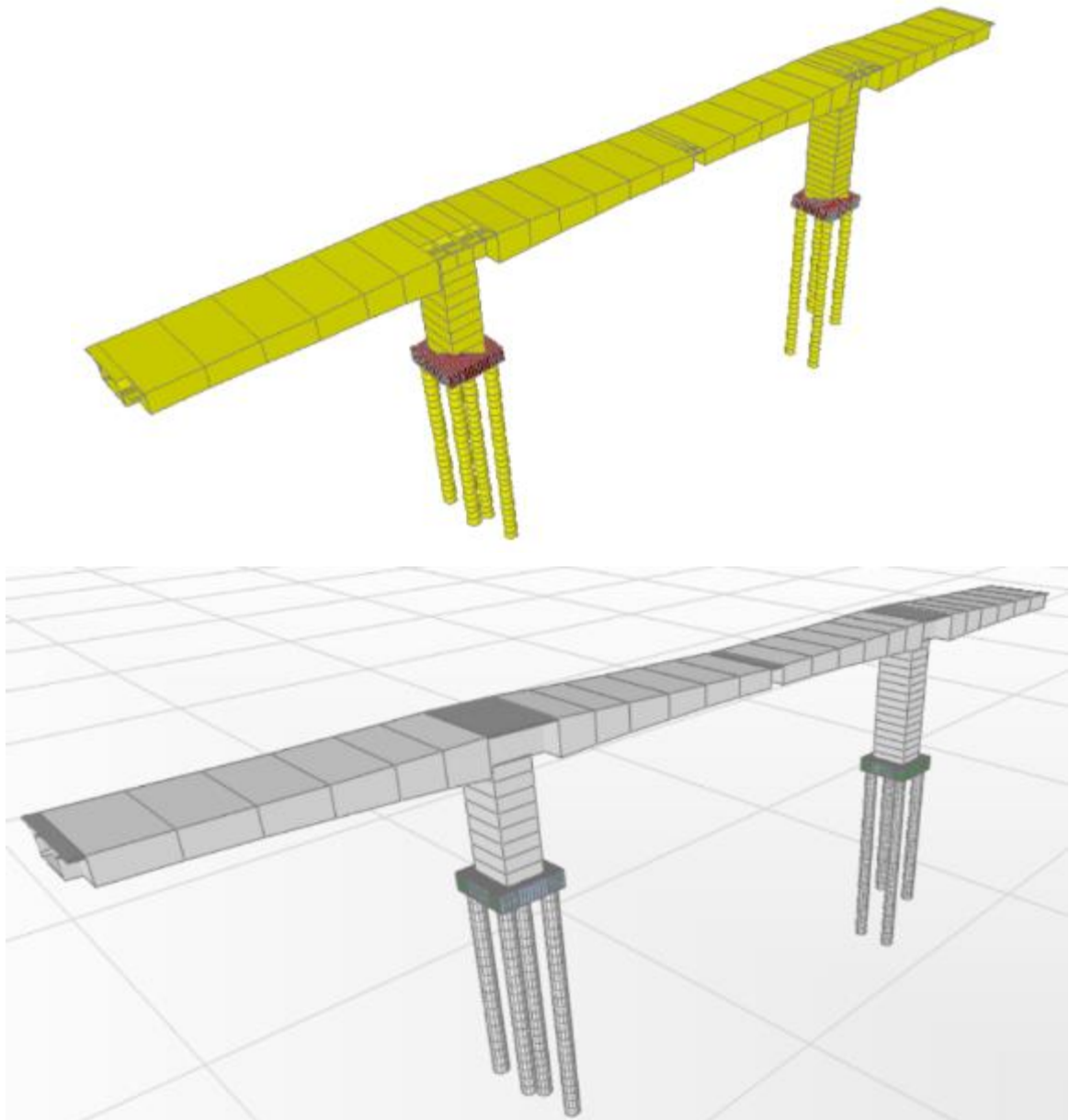


Figura 229 Esquema 3D - Puente Bermúdez

8.5.4.2 Carga Viva Vehicular

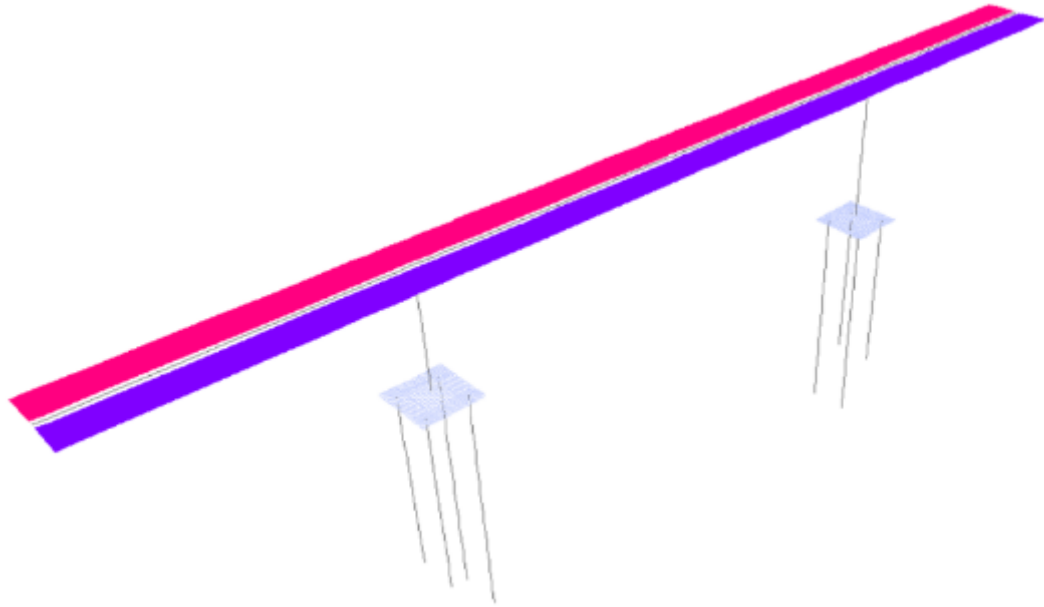


Figura 230 Líneas de carga 1 y 2 – CCP-14 SAP2000 - Puente Bermúdez

General Vehicle Data

Vehicle name: CCP-14 Canyon Units: Tonf. m. C

Floating/Axle Loads:

For Lane Moments: Value: 0 Width Type: One Point Axle Width: []

For Other Responses: Value: 0 Width Type: One Point Axle Width: []

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports

Interior Vertical Support Forces

All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3048

Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects:

Axle: None [Modify/Show...]

Uniform: None [Modify/Show...]

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	5.4249	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	5.4249	Two Points	1.8
Fixed Length	4.3		1.0503	Fixed Width	3	21.6796	Two Points	1.8
Variable Length	4.3	9	1.0503	Fixed Width	3	21.6796	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3			

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Applies To Shoulder (Adjacent) Lanes Only Shoulder Reduction Factor: []

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: OK, Cancel

Figura 231 Carga de camión CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Bermúdez

General Vehicle Data

Vehicle name: CCP-14 Tandem Units: Tonf. m. C

Floating/Axle Loads:

For Lane Moments: Value: 0 Width Type: One Point Axle Width: []

For Other Responses: Value: 0 Width Type: One Point Axle Width: []

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports

Interior Vertical Support Forces

All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3048

Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects:

Axle: None [Modify/Show...]

Uniform: None [Modify/Show...]

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	16.9500	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3	16.9500	Two Points	1.8
Fixed Length	1.2		1.0503	Fixed Width	3	16.9500	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		1.0503	Fixed Width	3			

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Applies To Shoulder (Adjacent) Lanes Only Shoulder Reduction Factor: []

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: OK, Cancel

Figura 232 Carga de tándem CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Bermúdez

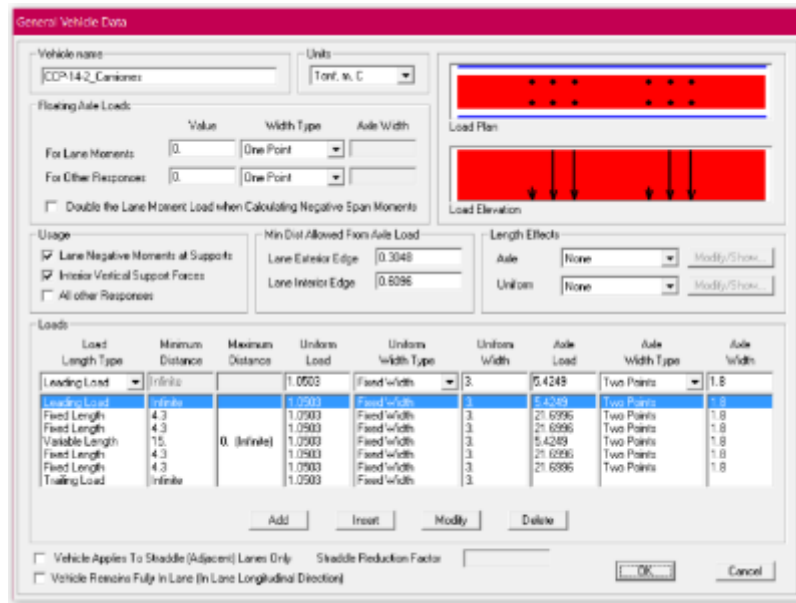


Figura 233 Carga de dos camiones CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Bermúdez

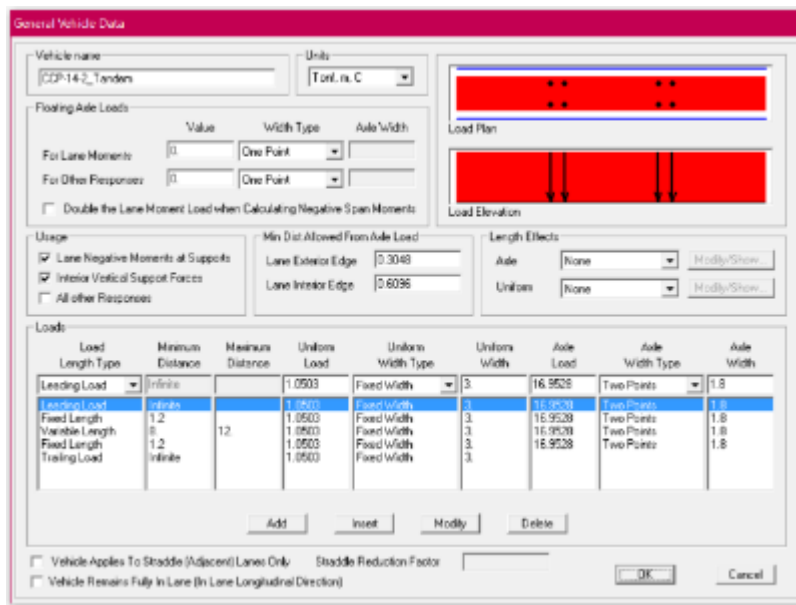


Figura 234 Carga de dos tandem CC-14 + Carril SAP2000 - Puente Bermúdez

8.5.5 Análisis Viga Continua

8.5.5.1 Diagrama de momentos y cortantes (Unidades: kN-m)

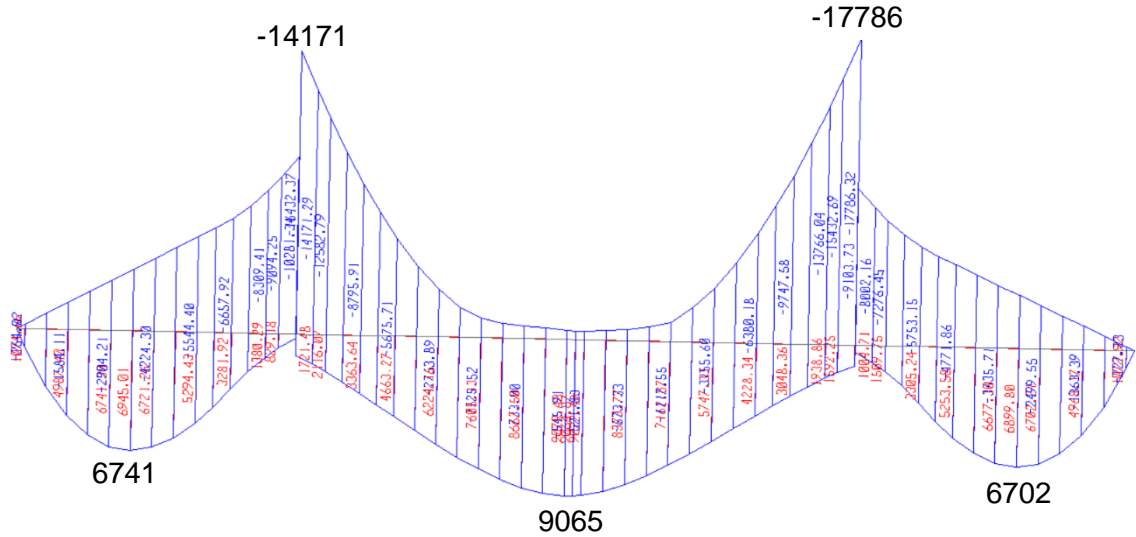


Figura 235 Momento carga viva vehicular - Puente Bermúdez

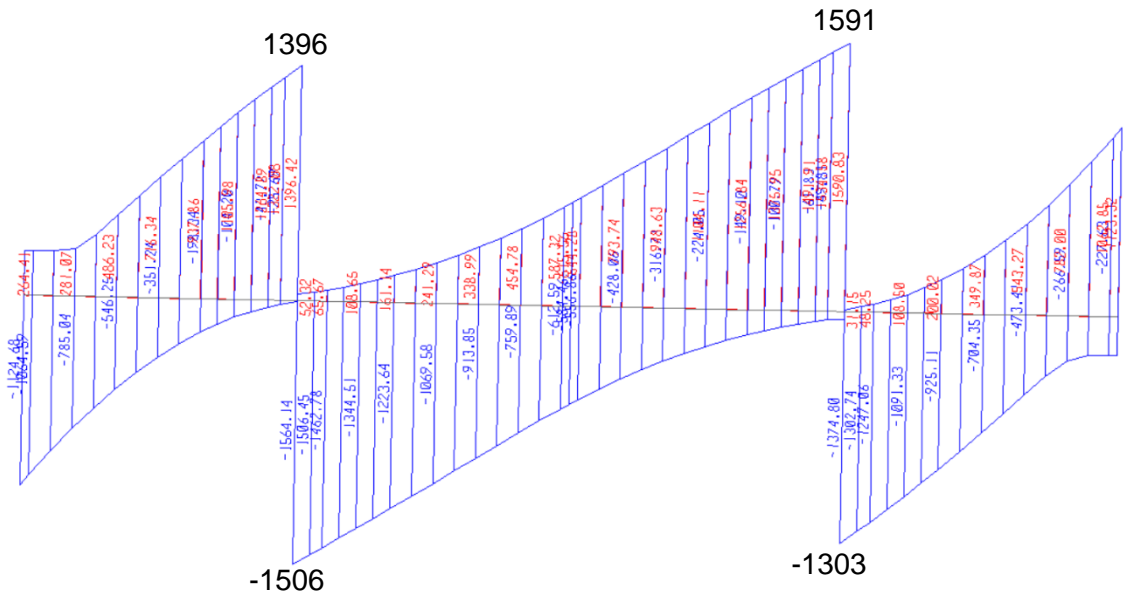


Figura 236 Cortante carga viva vehicular - Puente Bermúdez

Con las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 5.1.1 se obtuvieron los diagramas de momentos y cortantes, para la envolvente de diseño.

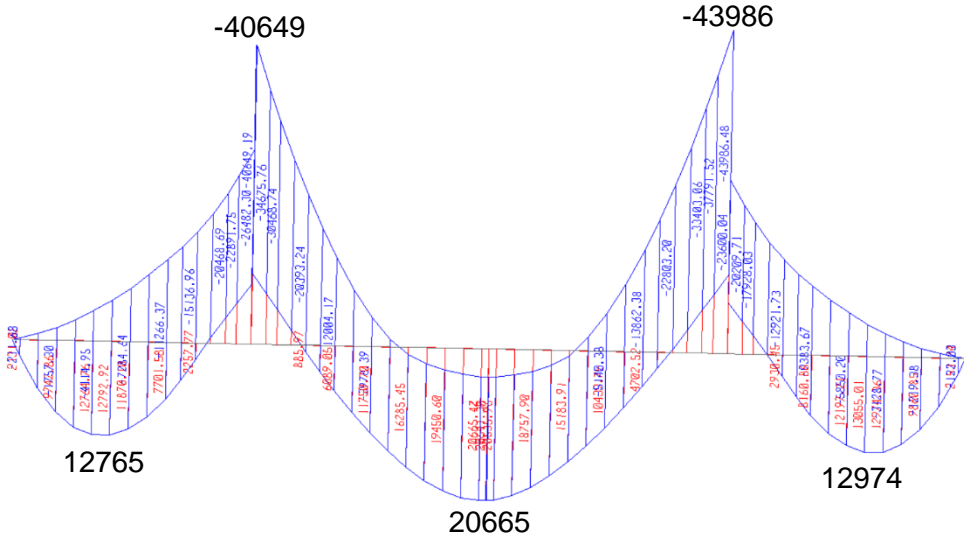


Figura 237 Momento por envolvente de diseño - Puente Bermúdez

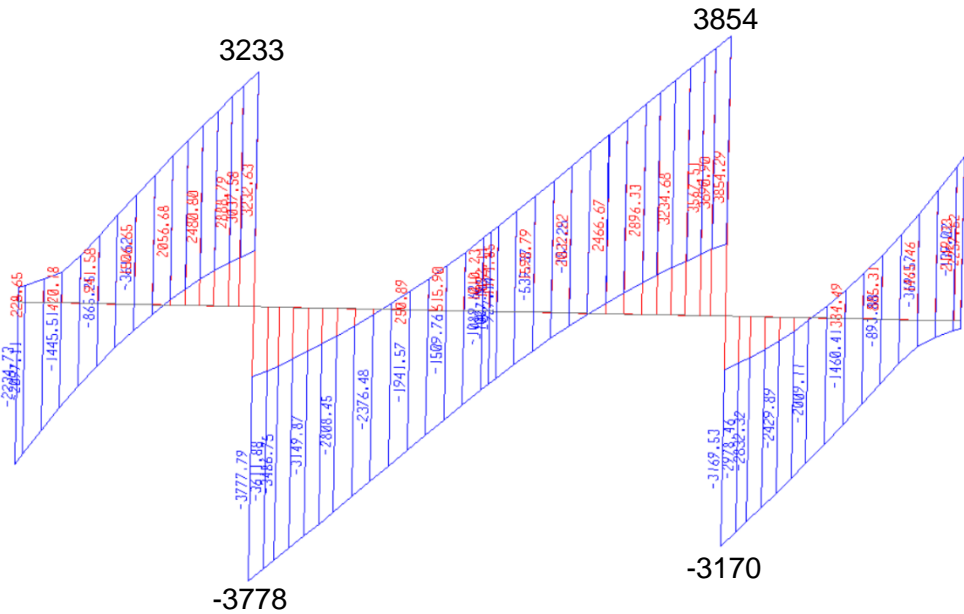


Figura 238 Cortante por envolvente de diseño - Puente Bermúdez

8.5.6 Análisis de columnas

8.5.6.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

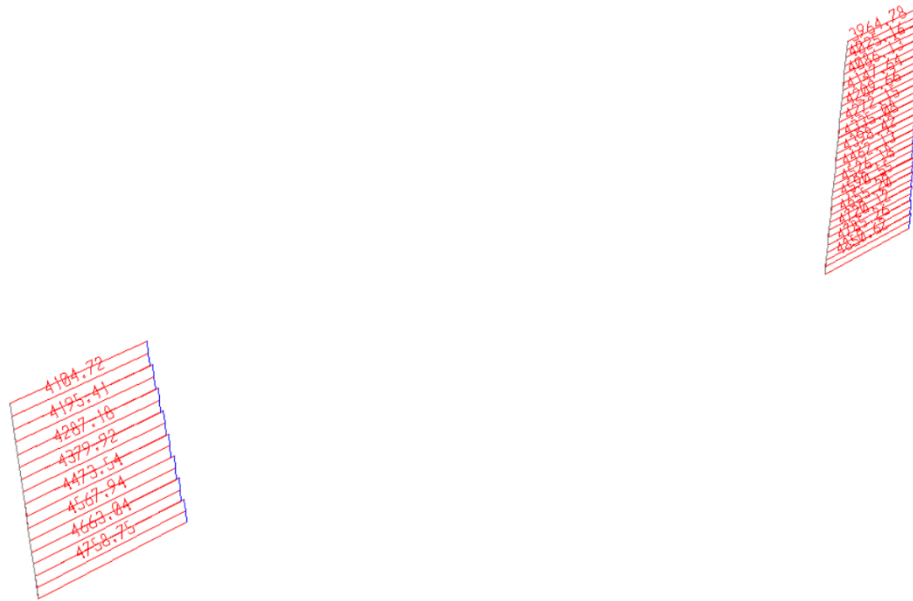


Figura 239 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente Bermúdez

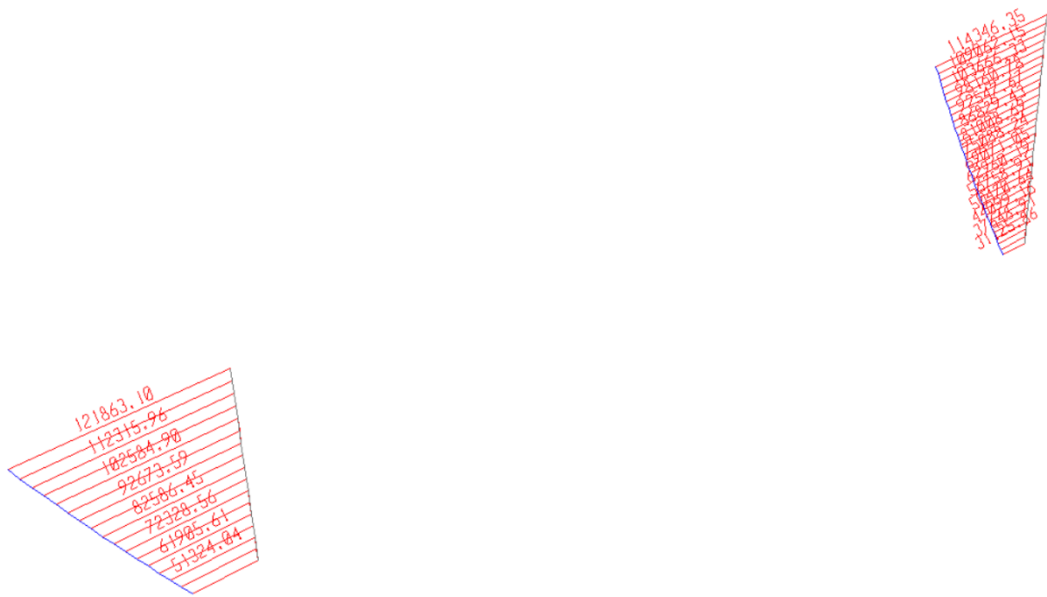


Figura 240 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez



Figura 241 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez

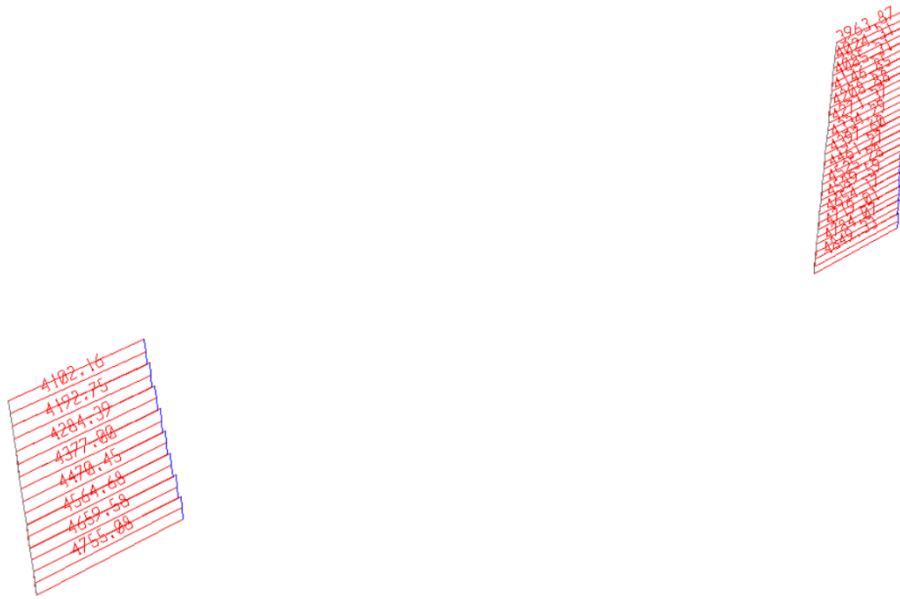


Figura 242 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Bermúdez



Figura 243 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez

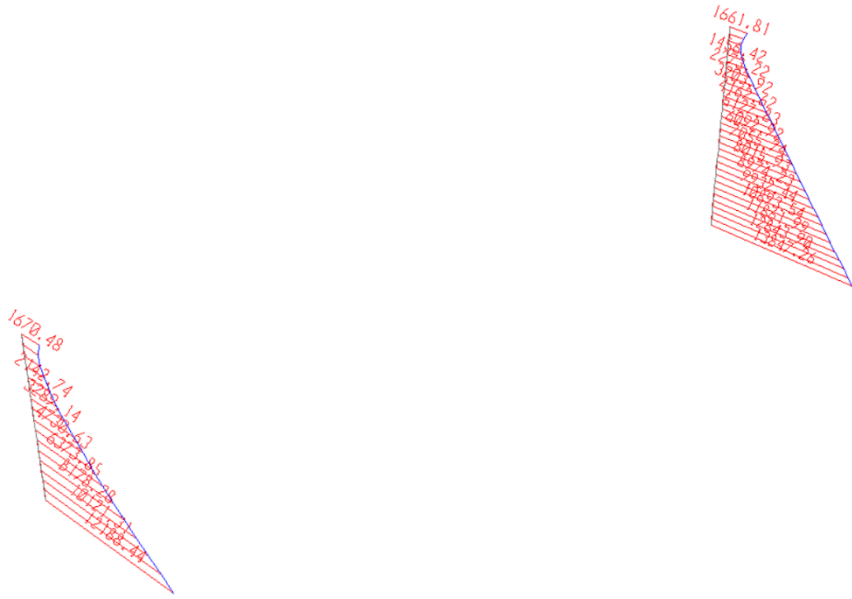


Figura 244 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez

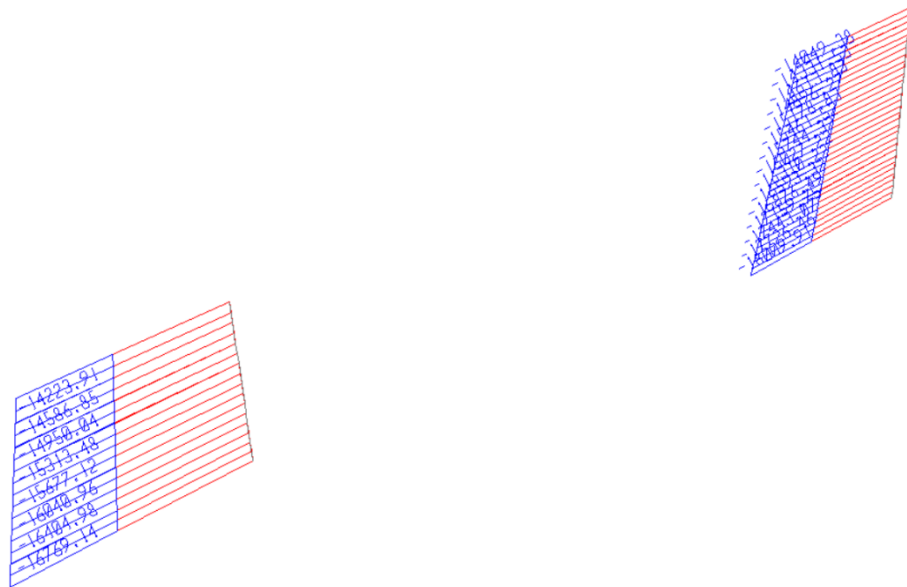


Figura 245 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Bermúdez



Figura 246 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Punte Bermúdez

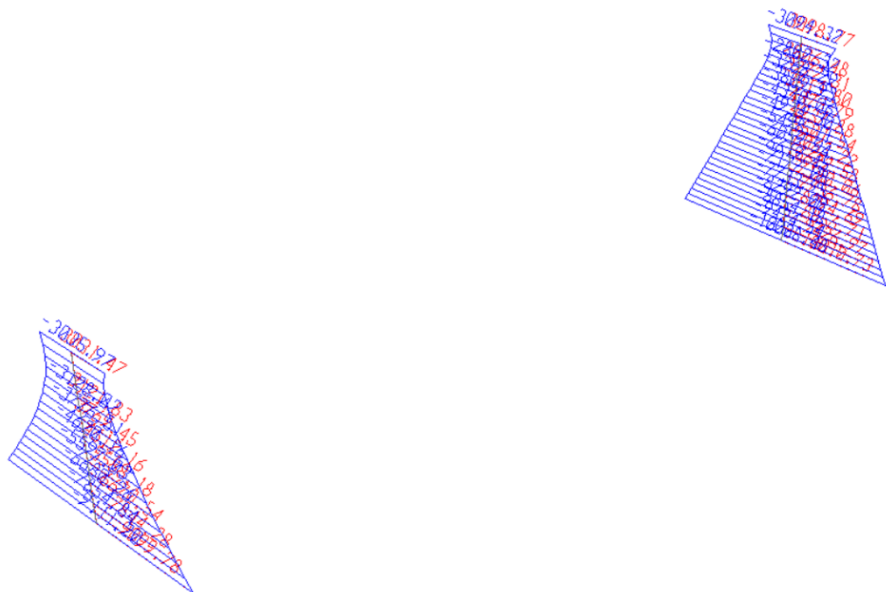


Figura 247 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Punte Bermúdez

8.5.7 Análisis de pilotes

8.5.7.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

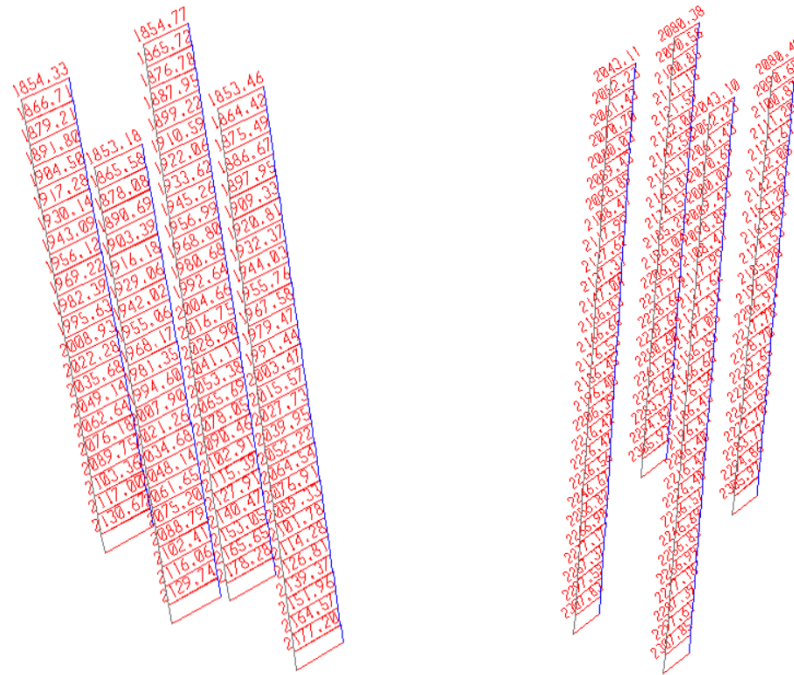


Figura 248 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puentes Bermúdez

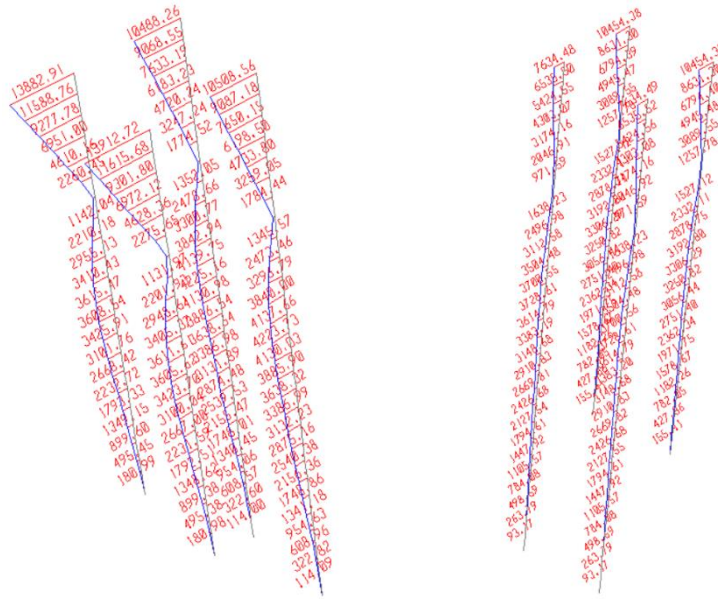


Figura 249 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez

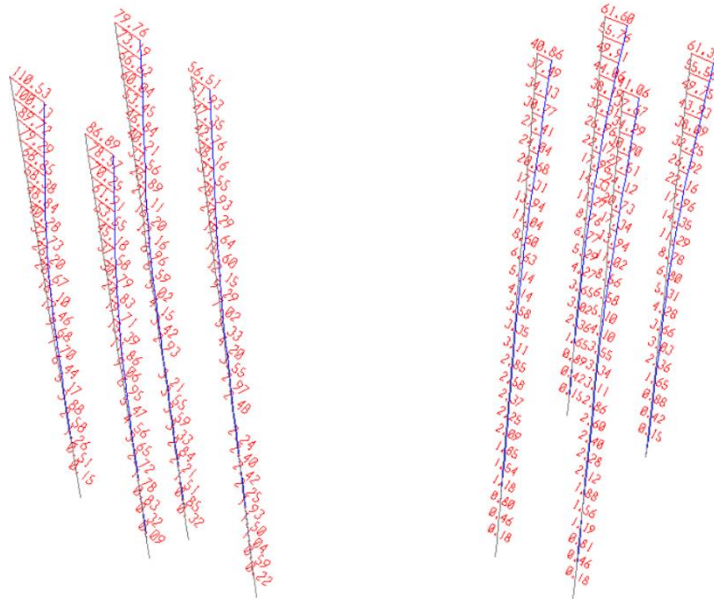


Figura 250 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente Bermúdez

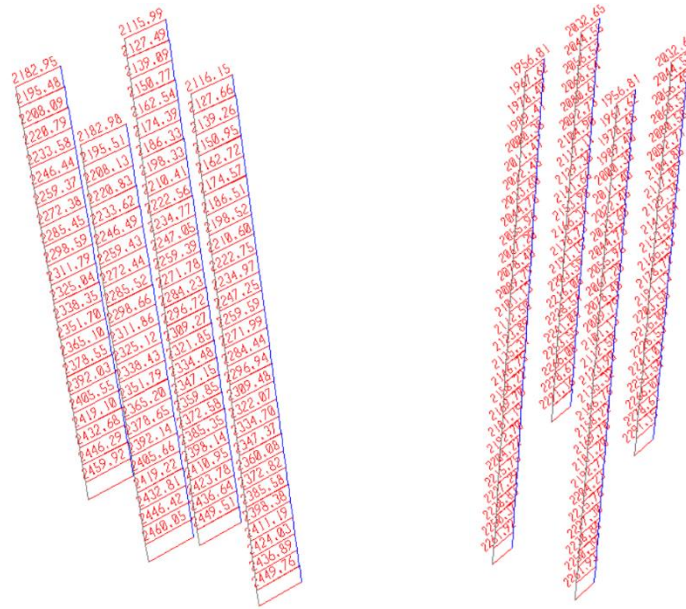


Figura 251 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente Bermúdez

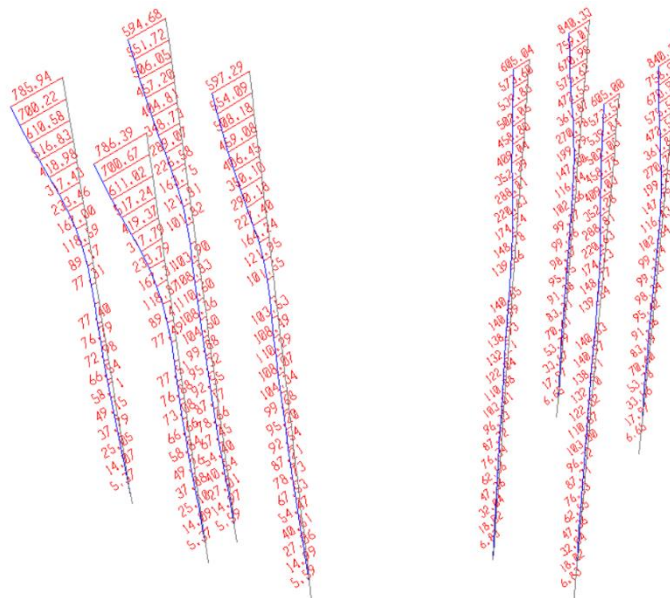


Figura 252 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez

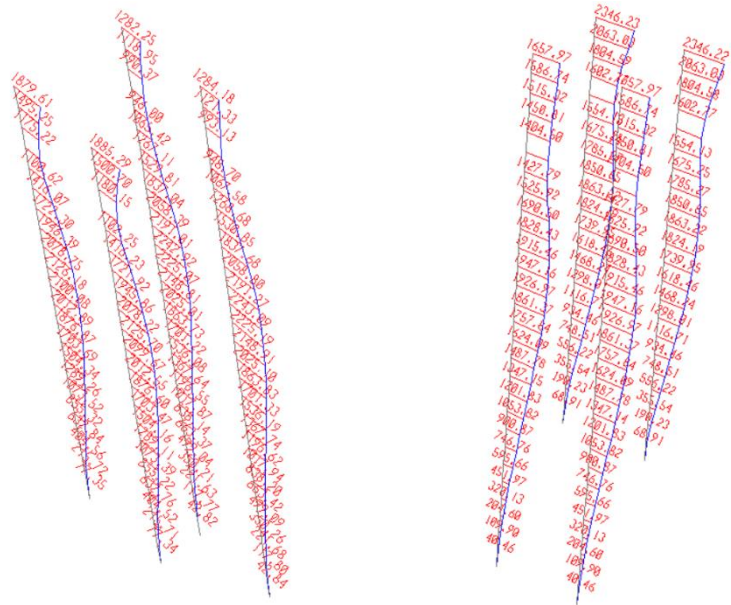


Figura 253 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente Bermúdez

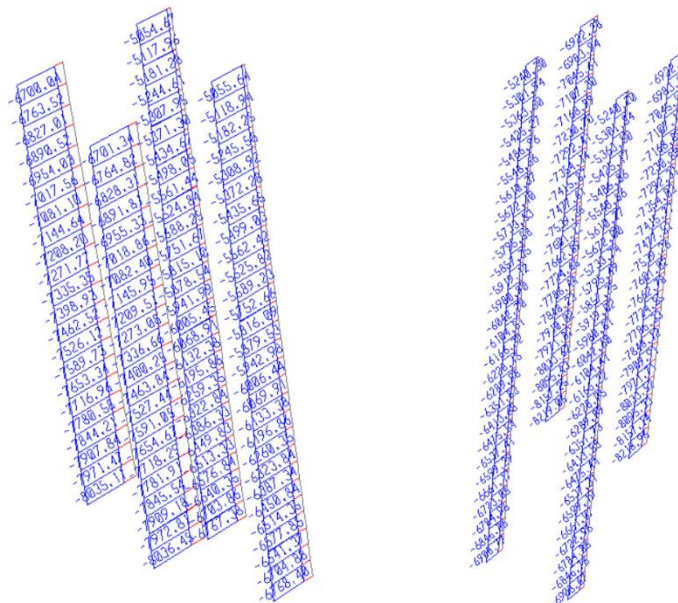


Figura 254 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente Bermúdez

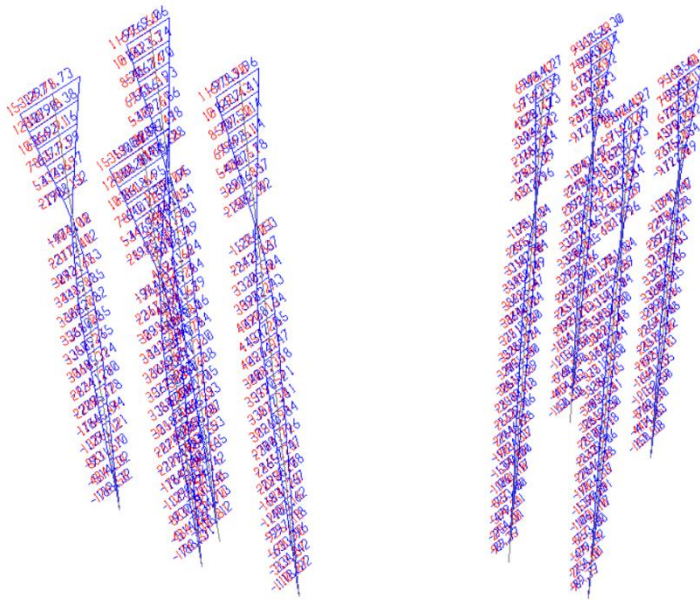


Figura 255 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolverte de Diseño -
Puente Bermúdez

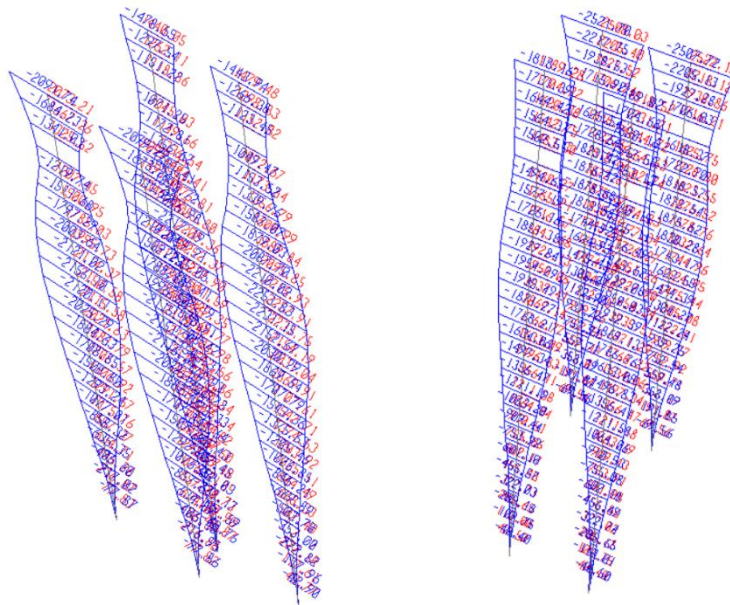


Figura 256 Diagrama de Momentos Transversales por Envolverte de Diseño -
Puente Bermúdez

8.6 Puente Bermúdez – Comparación

8.6.1 Carga Viva

Uno de los cambios considerables del CCP-14 con respecto al CCDSP-95 es la carga viva.

A continuación, se presenta una gráfica comparativa de los momentos y cortantes obtenidos para la viga cajón del Puente Bermúdez, con las dos normativas.

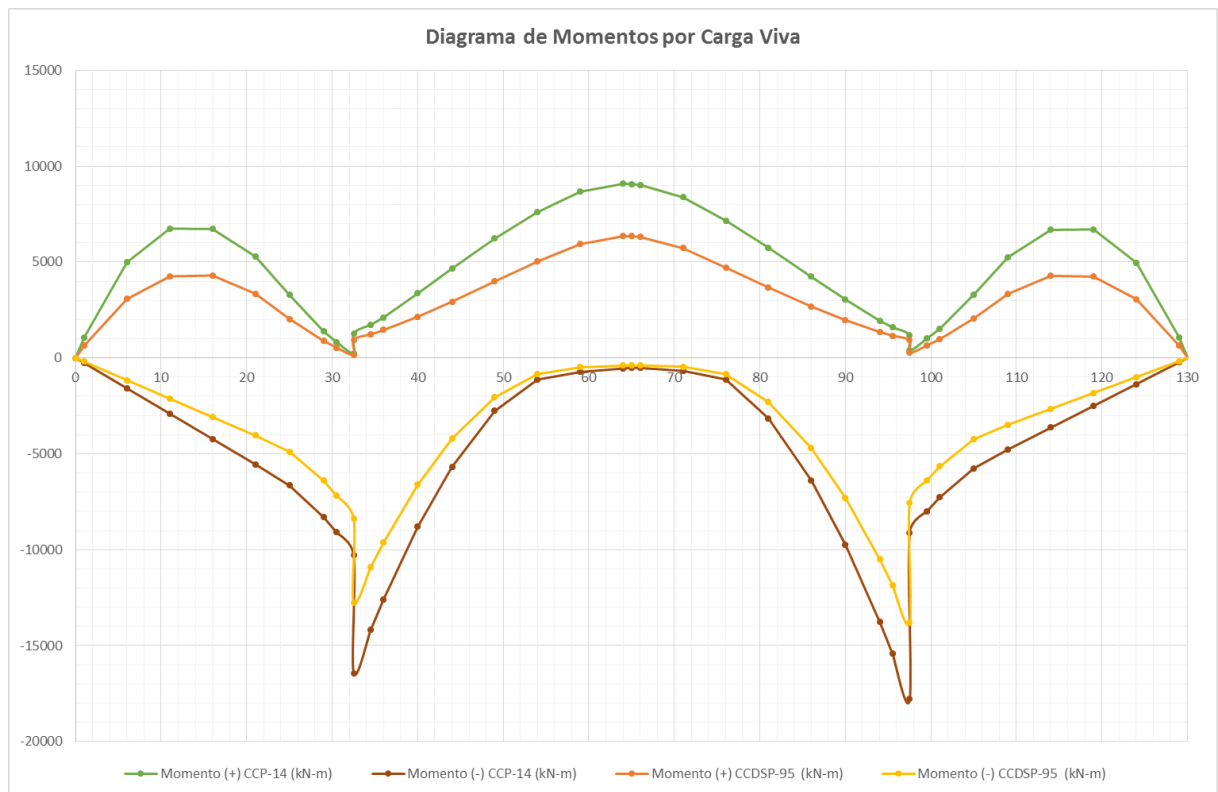


Figura 257 Comparación de diagramas de momentos por carga viva Puente Bermúdez

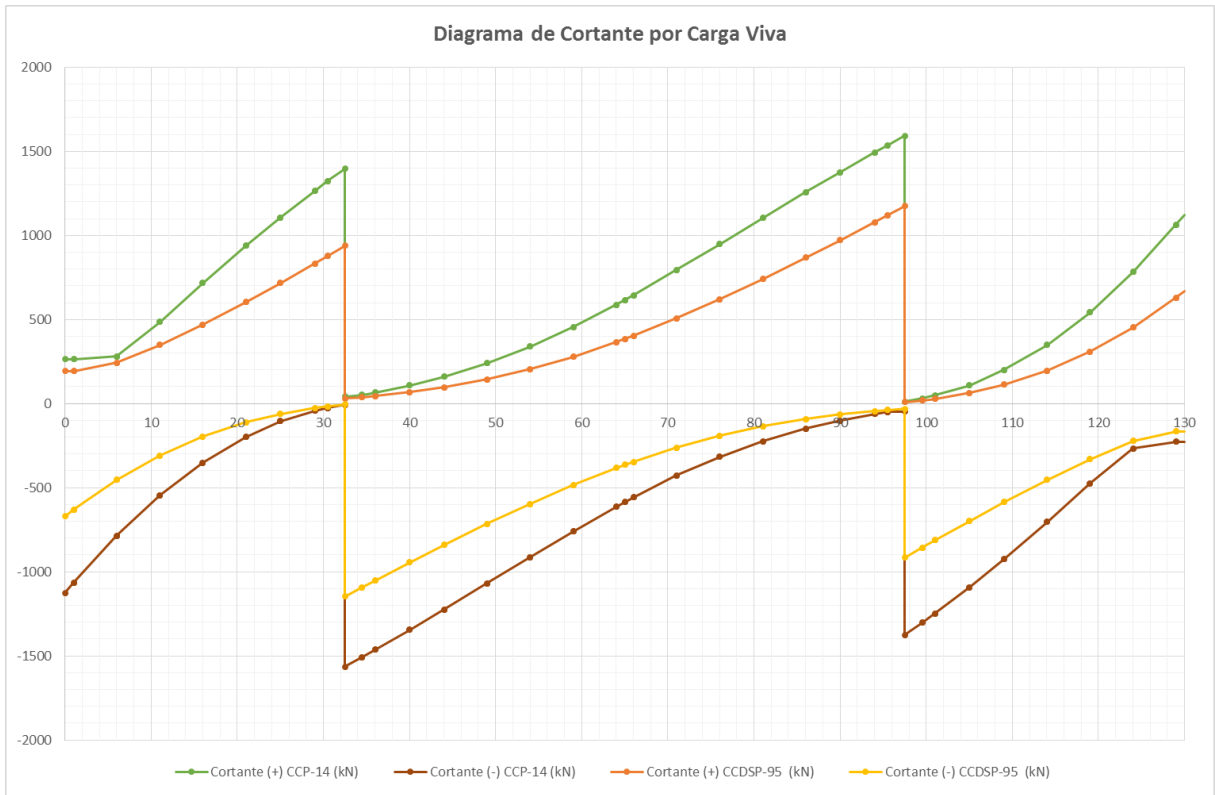


Figura 258 Comparación de diagramas de cortante por carga viva Puente Bermúdez

8.6.2 Combinaciones de diseño vigas

En el capítulo anterior se mostró la diferencia de la carga viva de una normativa a otra, pero esta no es la única carga que influye en el diseño de la superestructura. Es por ello que en este capítulo se muestra la comparación de carga última para el diseño de la viga, teniendo en cuenta las combinaciones de diseño de cada normativa, ya que los factores cambian considerablemente del código CCDSP-95 al nuevo código CCP-14.

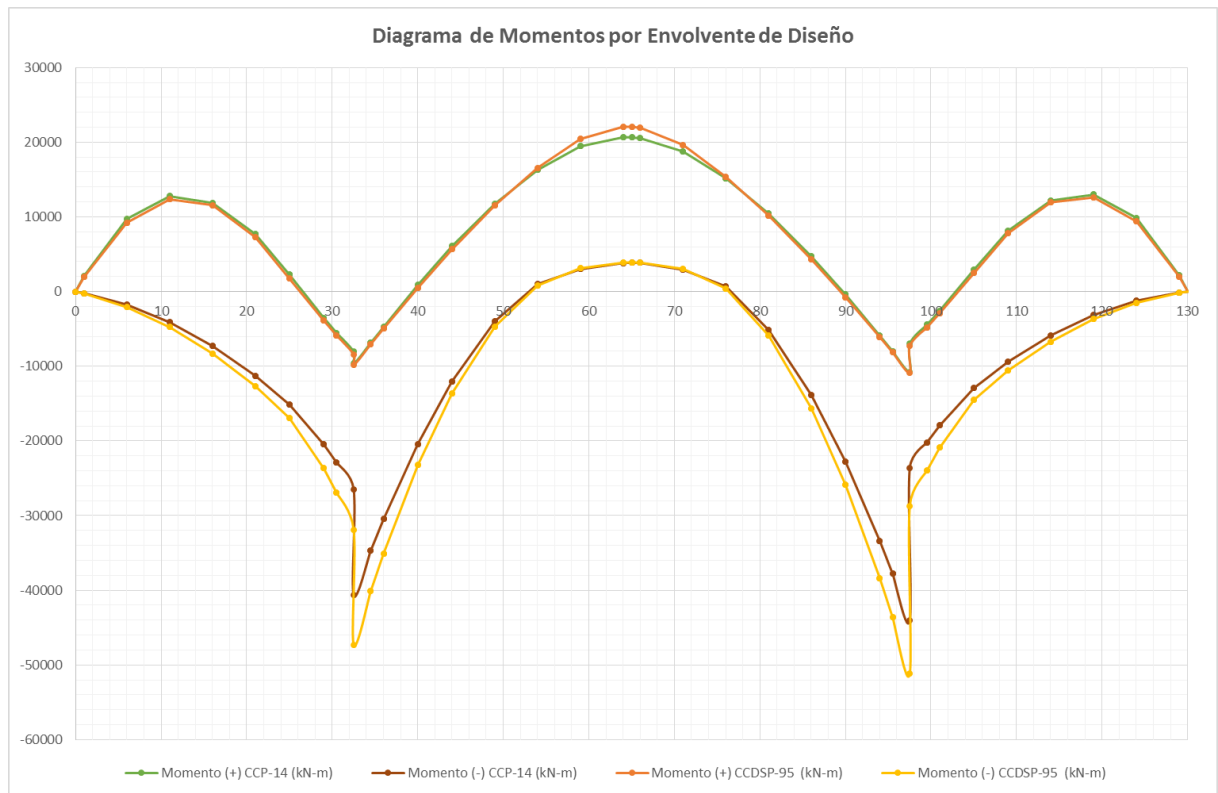


Figura 259 Comparación de diagramas de momentos por envolvente de diseño Puente Bermúdez

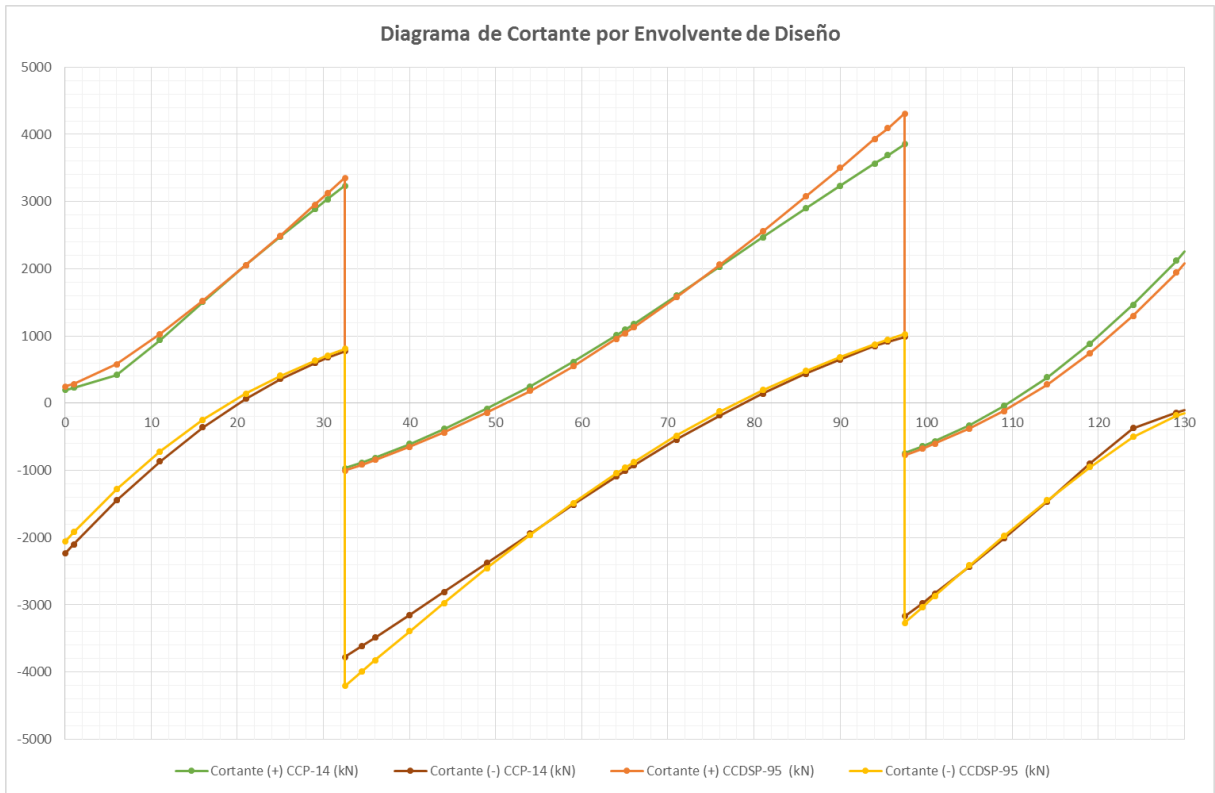


Figura 260 Comparación de diagramas de cortante por envoltorio de diseño Puente Bermúdez

8.6.3 Análisis sísmico

Otro de los cambios relevantes del Código CCP-14 con respecto al Código CCDSP-95 es el análisis sísmico, específicamente, el espectro de diseño a utilizar.

A continuación, se presenta una comparación entre los espectros de diseño con los diferentes códigos para el análisis del Puente Bermúdez:

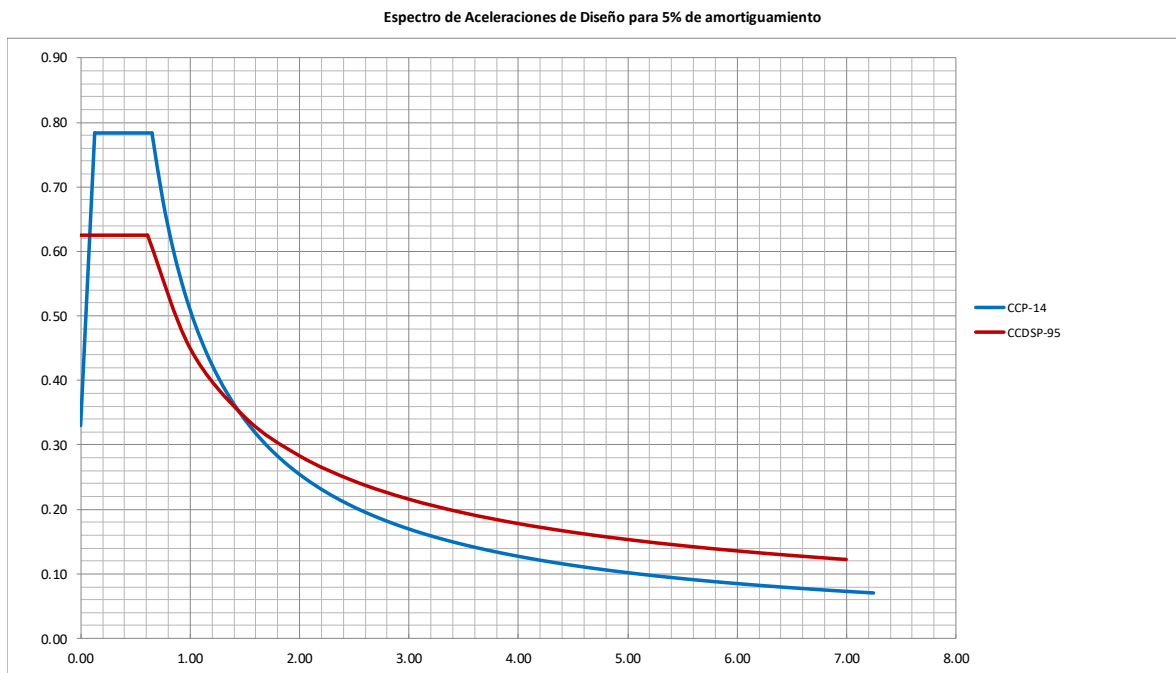


Figura 261 Comparación de espectros de diseño Puente Bermúdez

El cambio en el espectro de diseño de una norma a otra se ve reflejado en el diseño de la subestructura.

A continuación, se presenta el comparativo de los diagramas de axiales y momentos para las columnas y pilotes del Puente Bermúdez, con las dos normas en estudio:

8.6.3.1 Columna eje 2

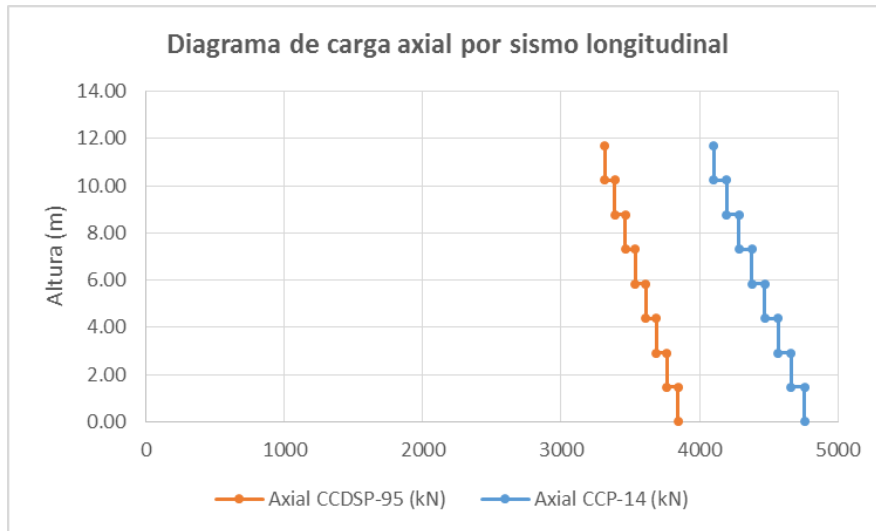


Figura 262 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

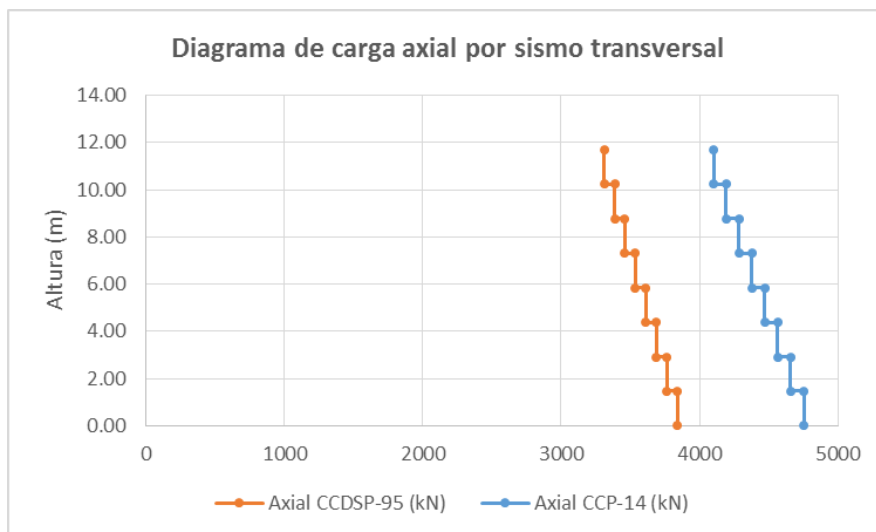


Figura 263 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

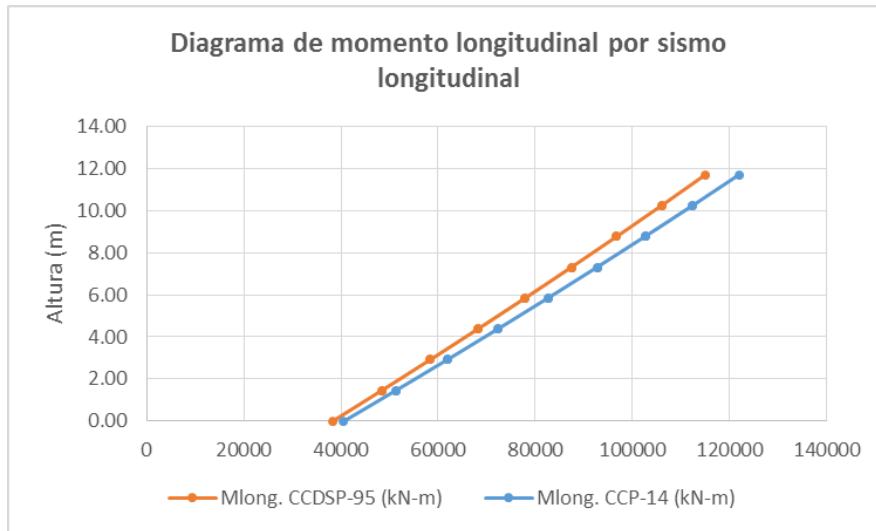


Figura 264 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

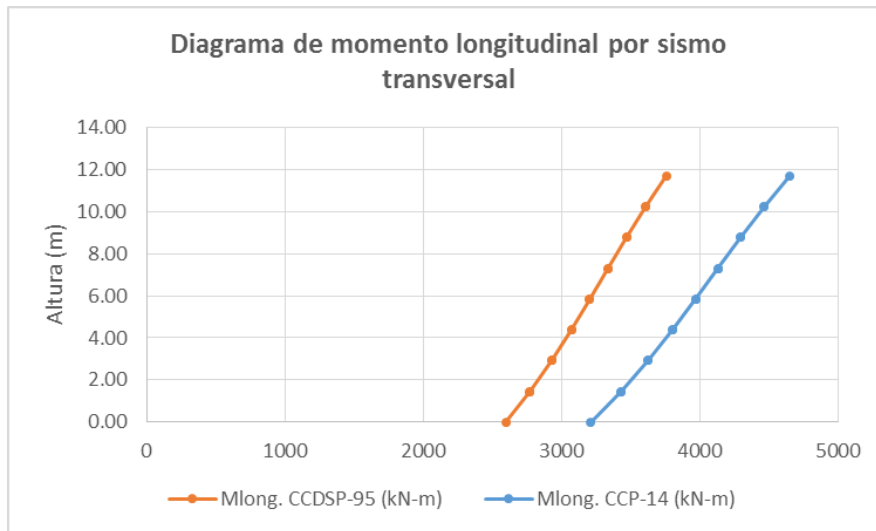


Figura 265 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

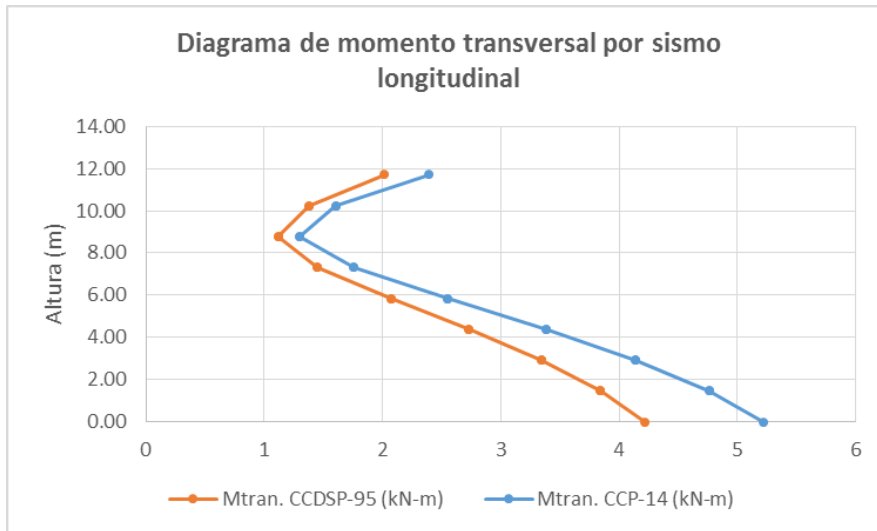


Figura 266 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

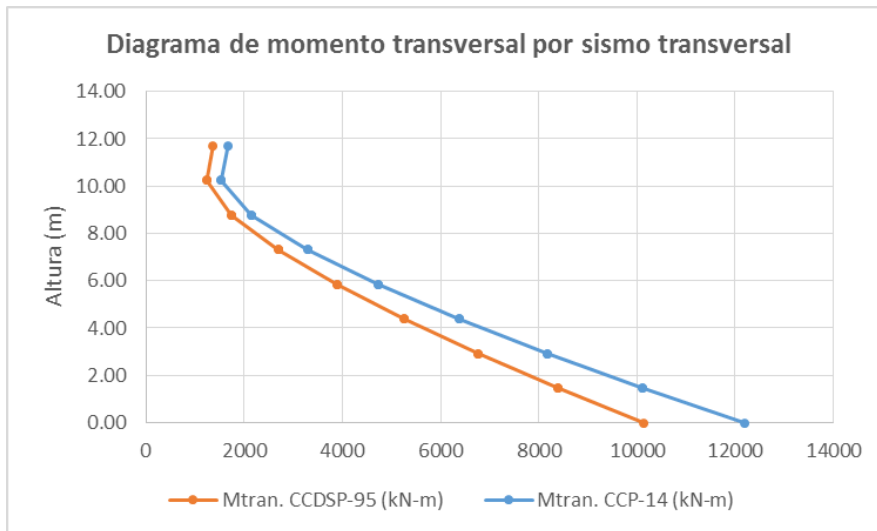


Figura 267 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.2 Columna eje 3

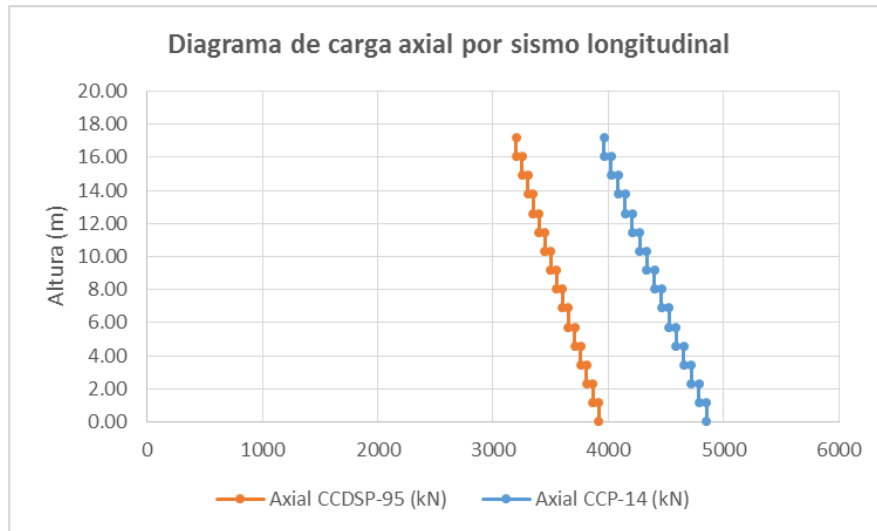


Figura 268 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

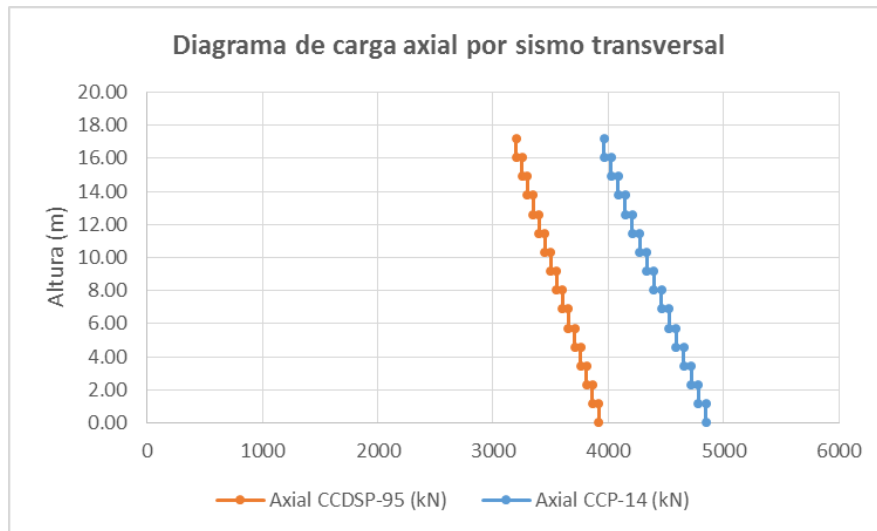


Figura 269 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

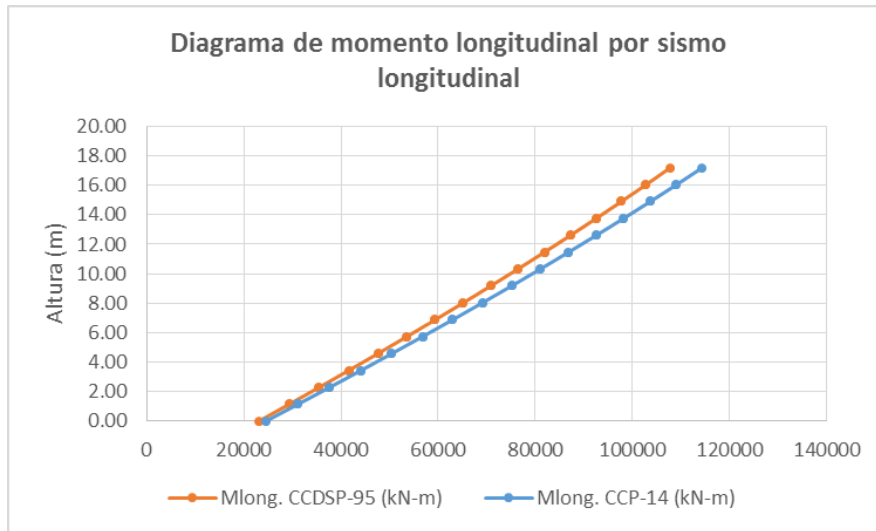


Figura 270 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

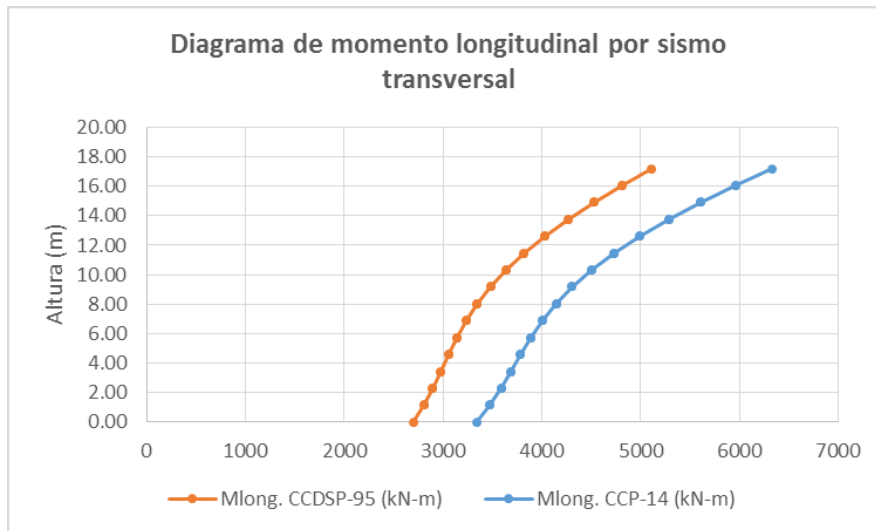


Figura 271 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

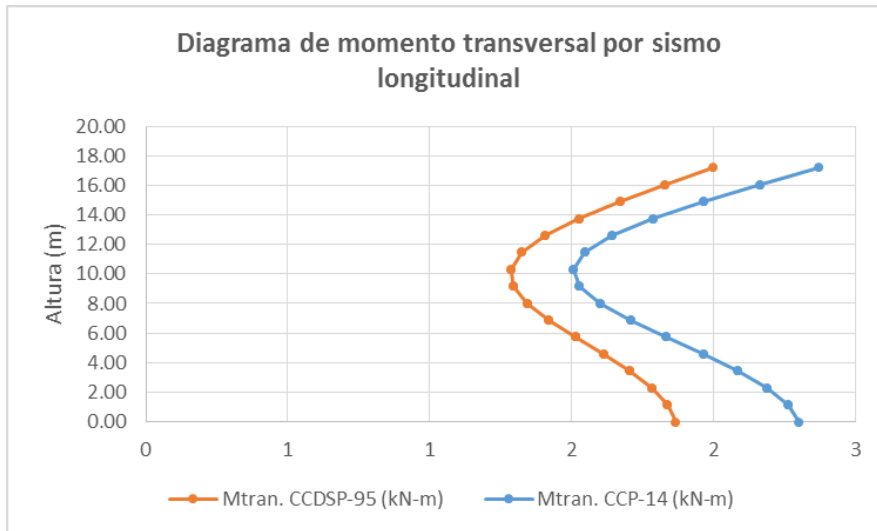


Figura 272 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

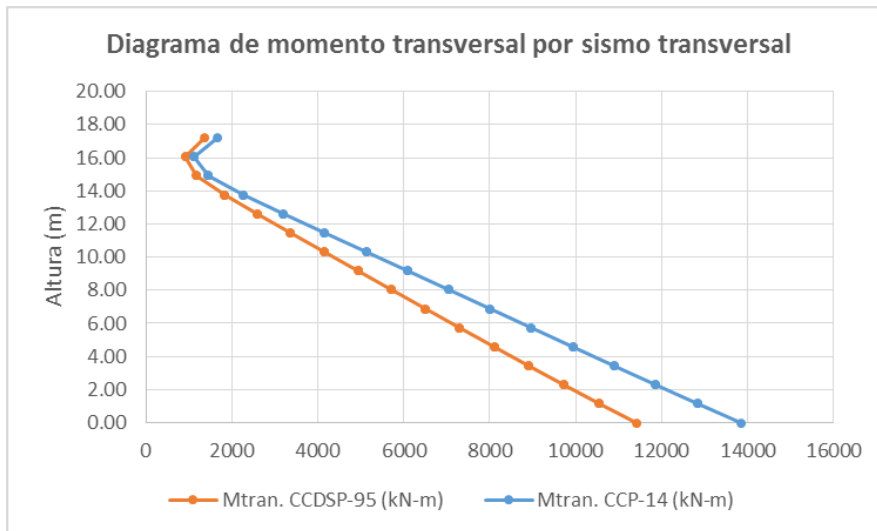


Figura 273 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.3 Pilote 1 eje 2

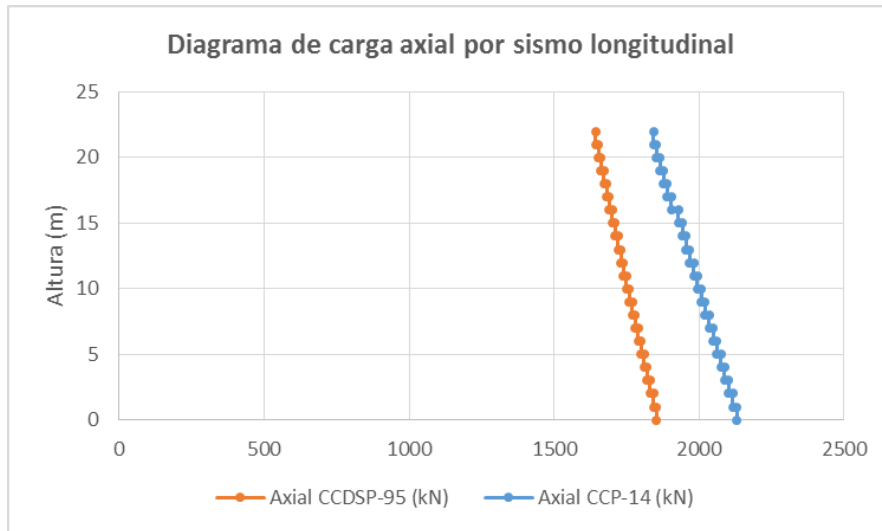


Figura 274 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

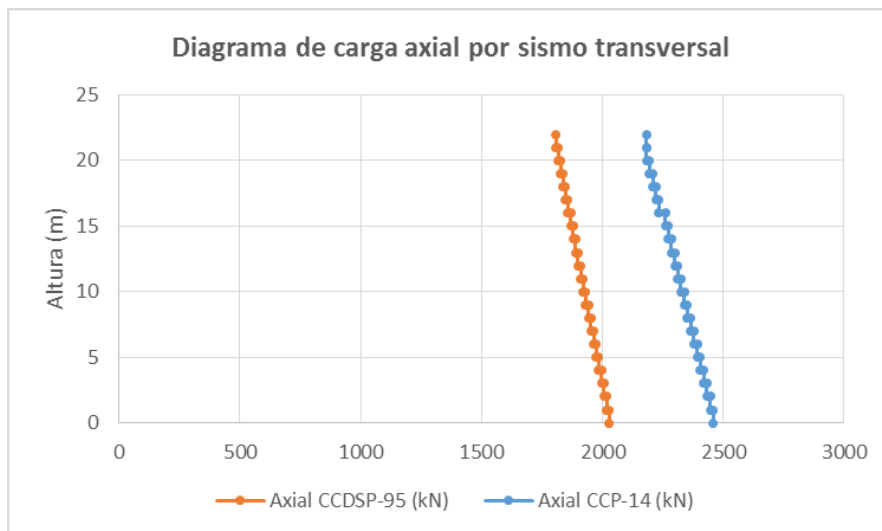


Figura 275 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

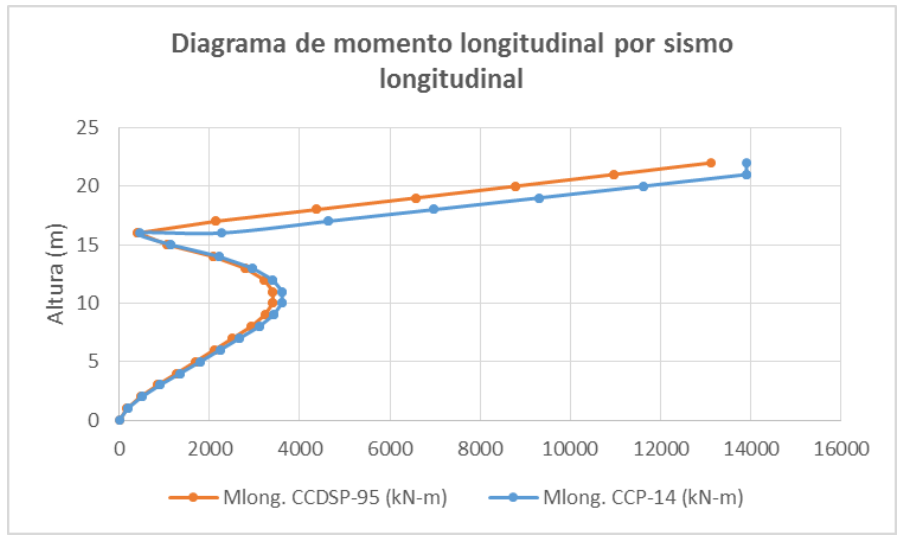


Figura 276 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

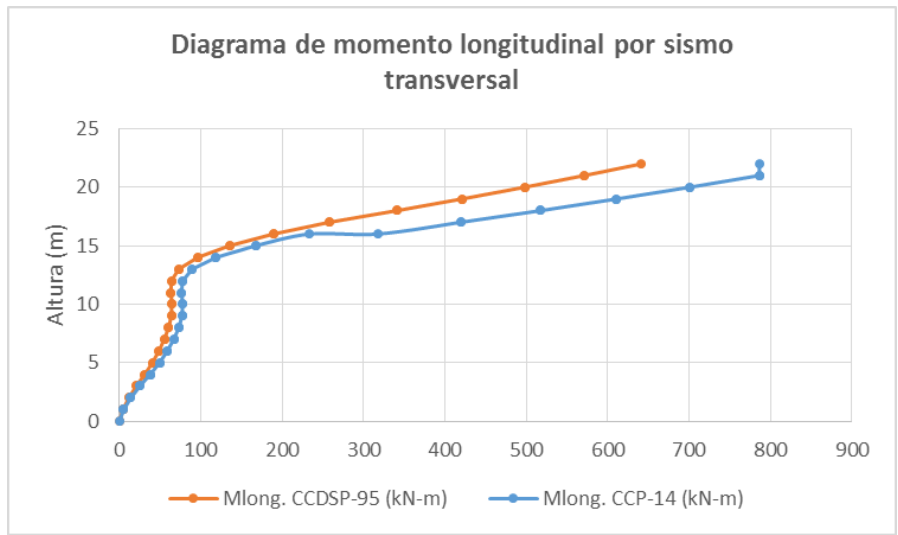


Figura 277 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

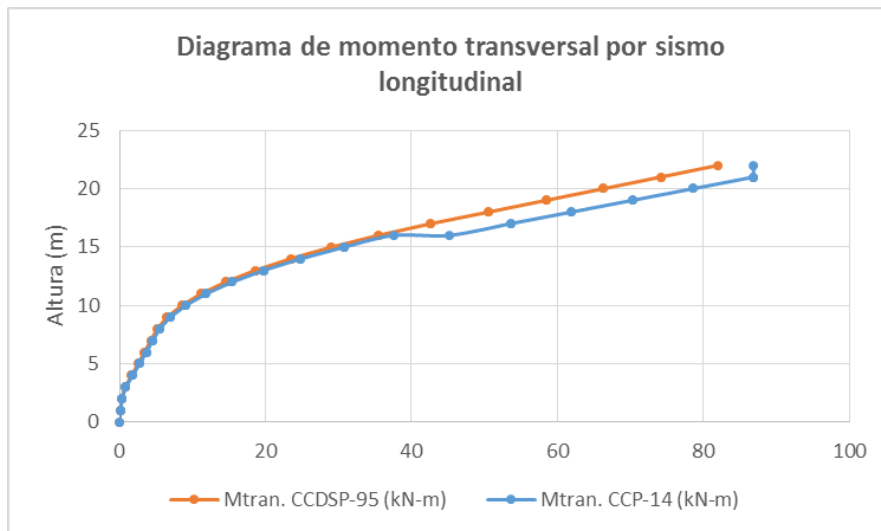


Figura 278 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

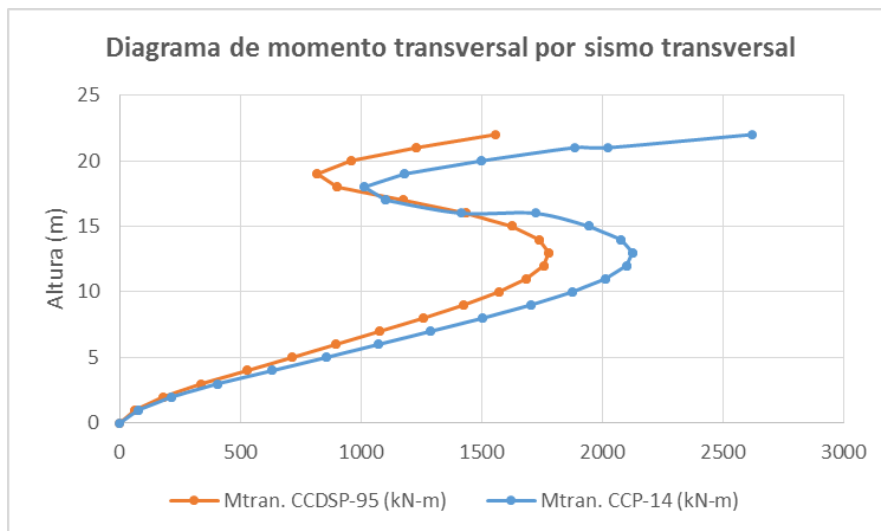


Figura 279 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.4 Pilote 2 eje 2

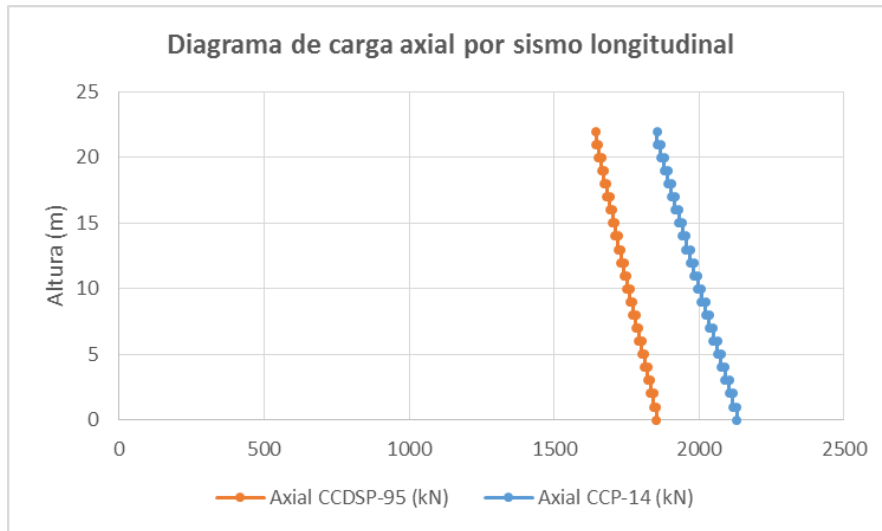


Figura 280 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

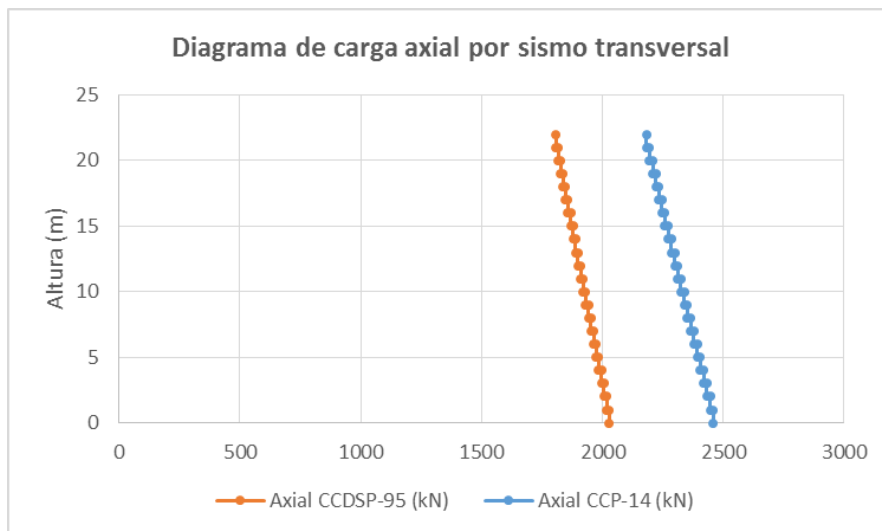


Figura 281 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

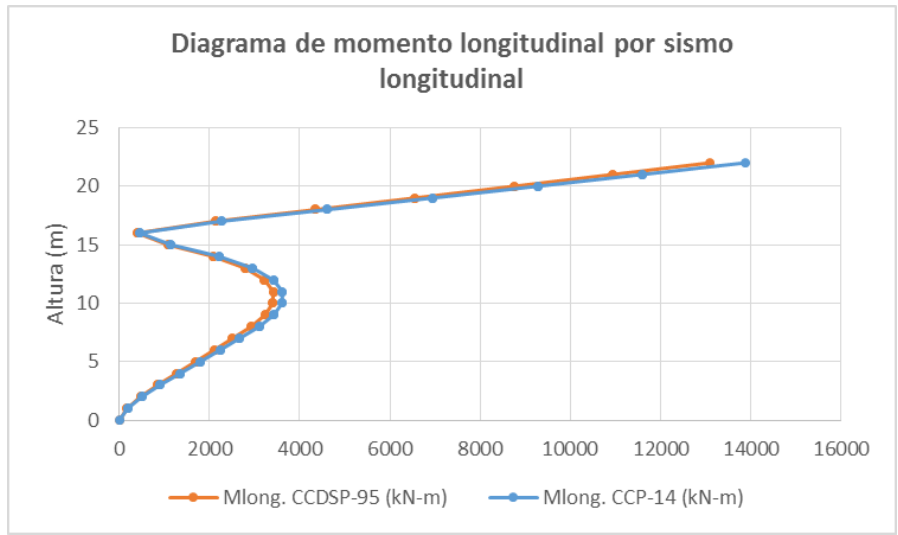


Figura 282 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

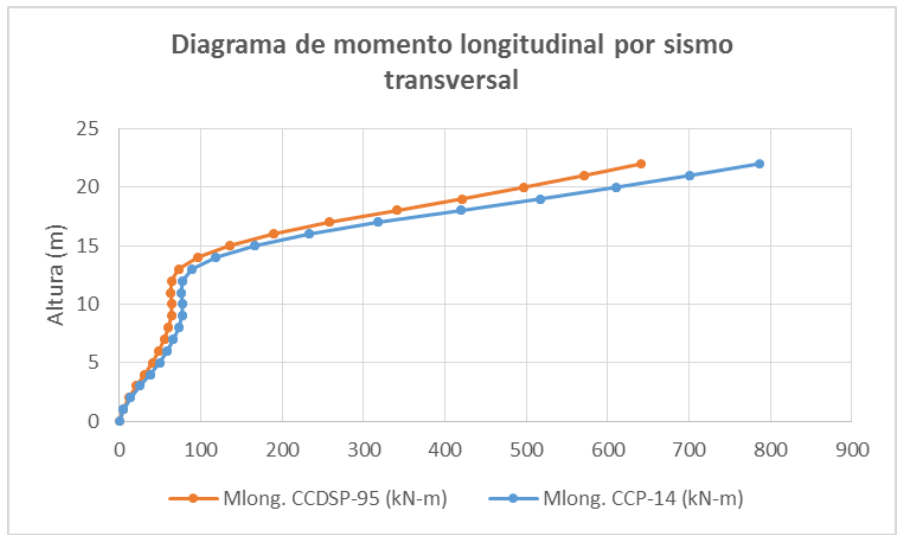


Figura 283 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

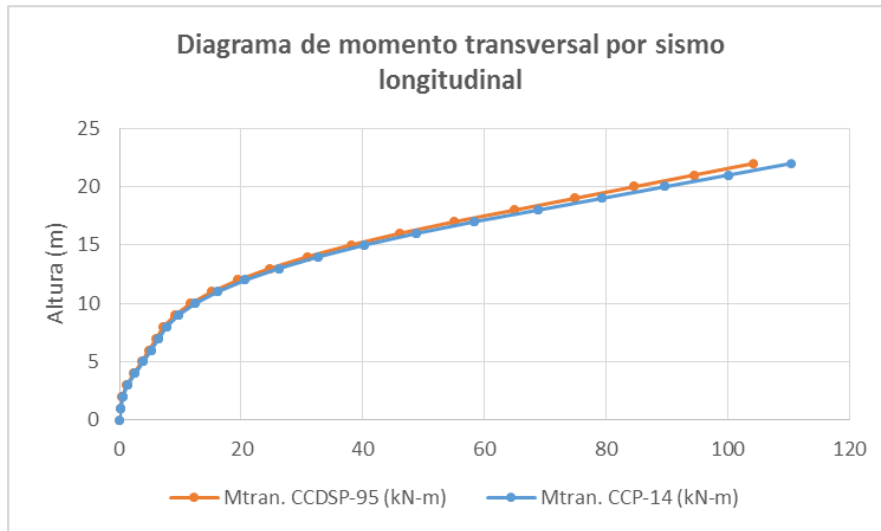


Figura 284 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

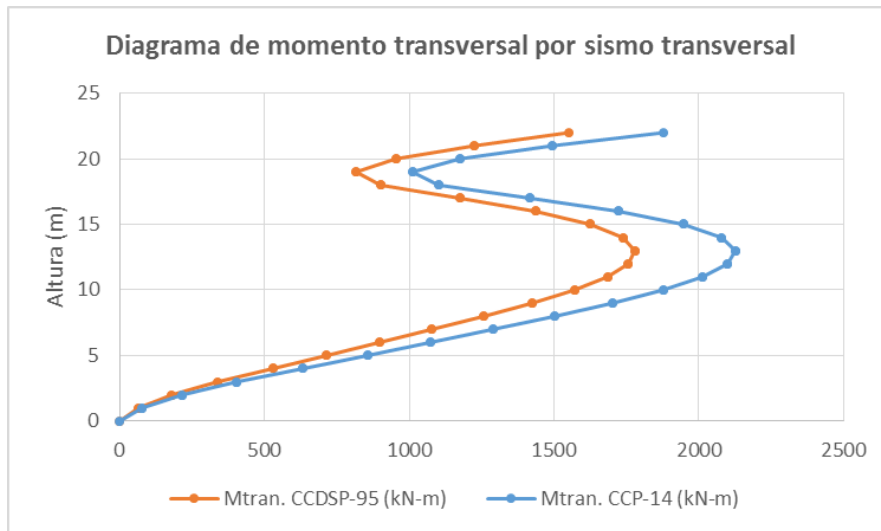


Figura 285 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.5 Pilote 3 eje 2

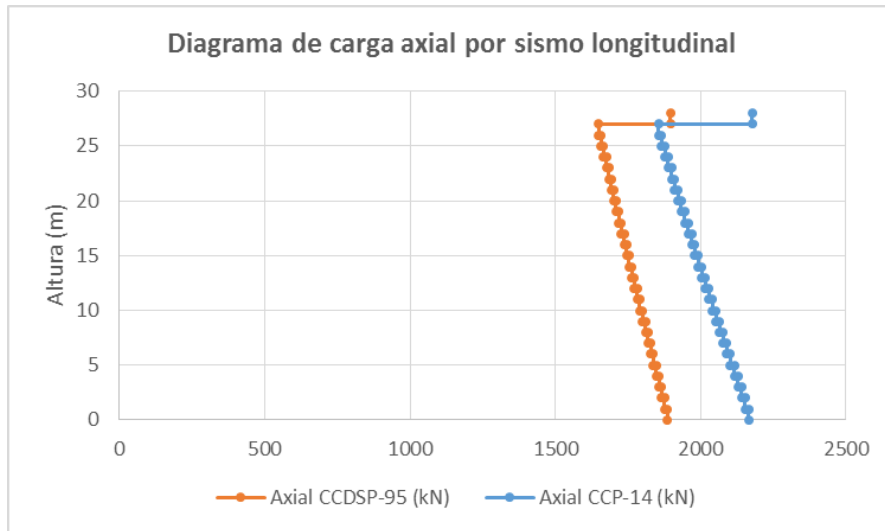


Figura 286 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

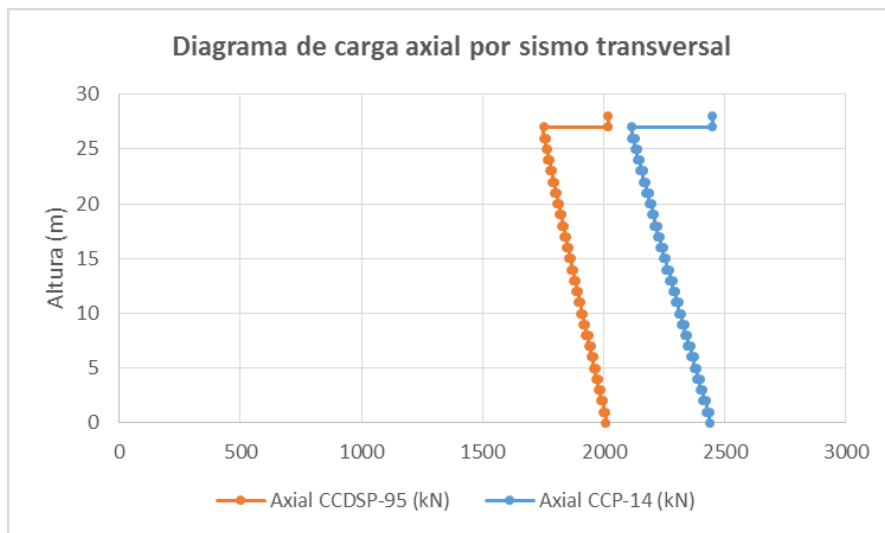


Figura 287 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

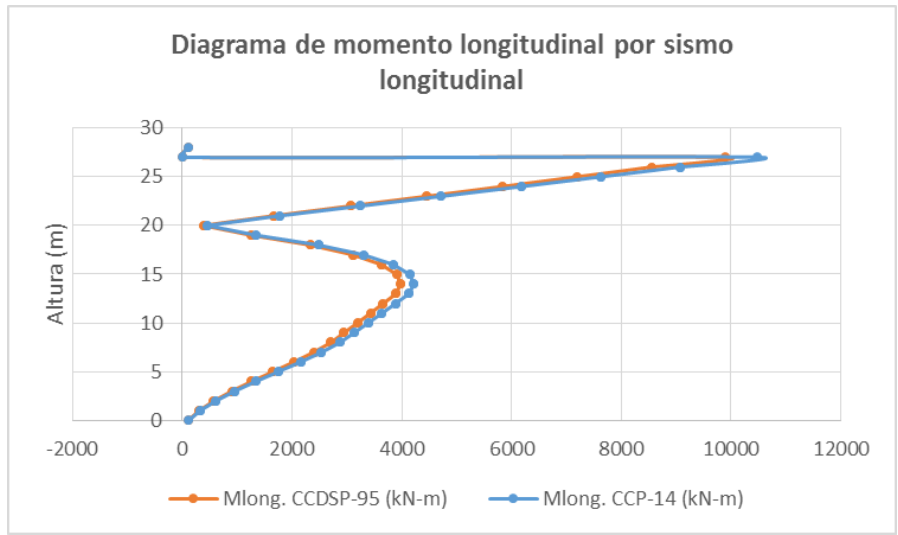


Figura 288 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

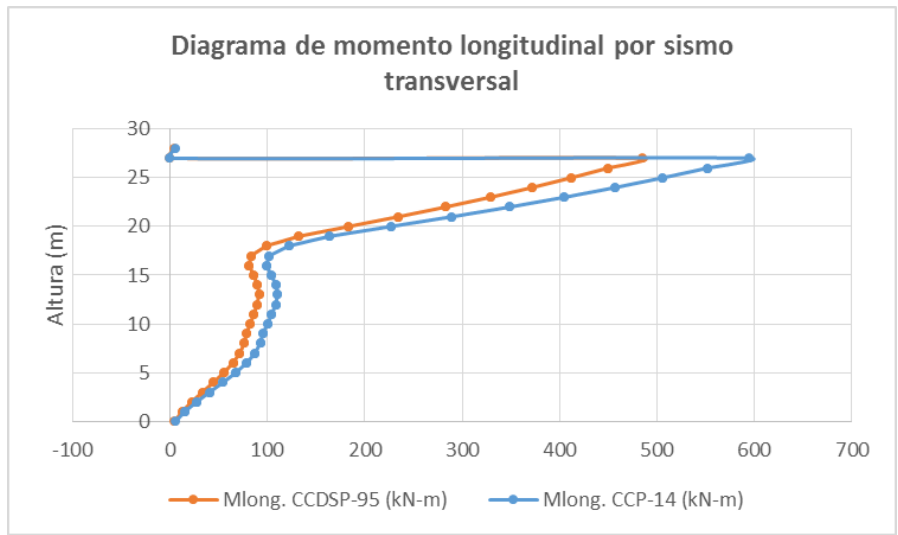


Figura 289 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

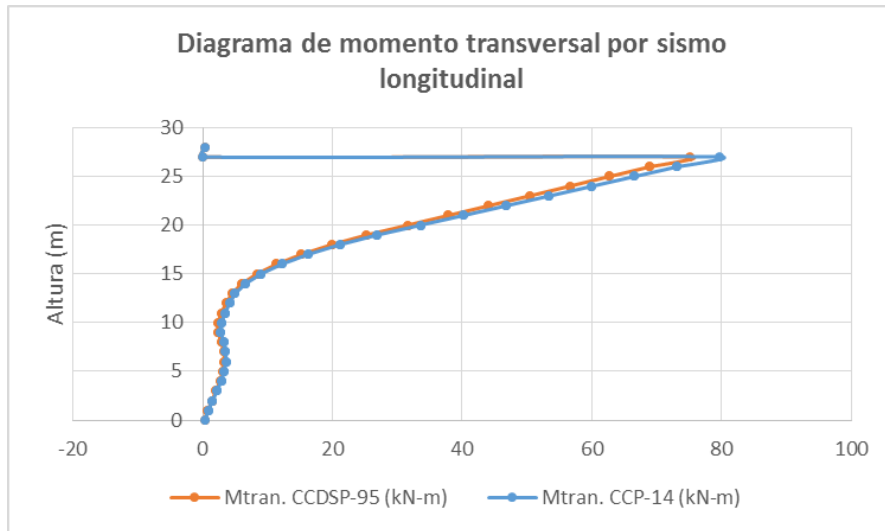


Figura 290 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

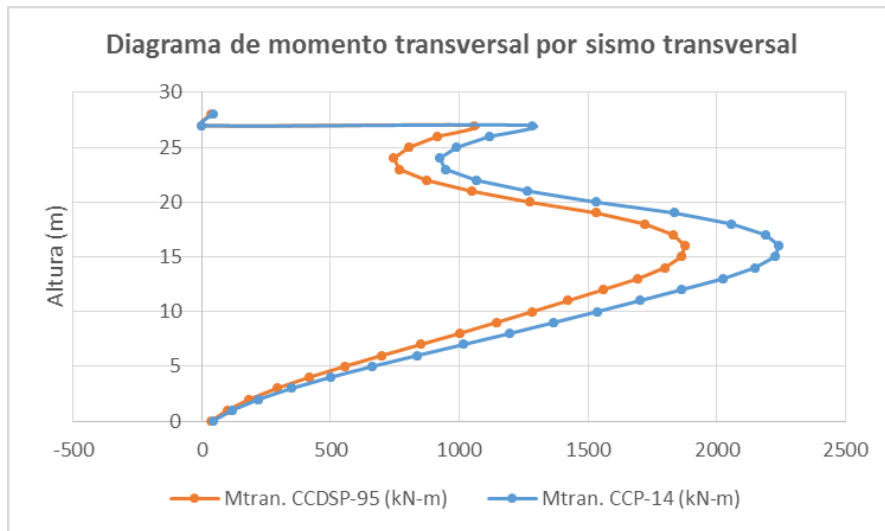


Figura 291 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.6 Pilote 4 eje 2

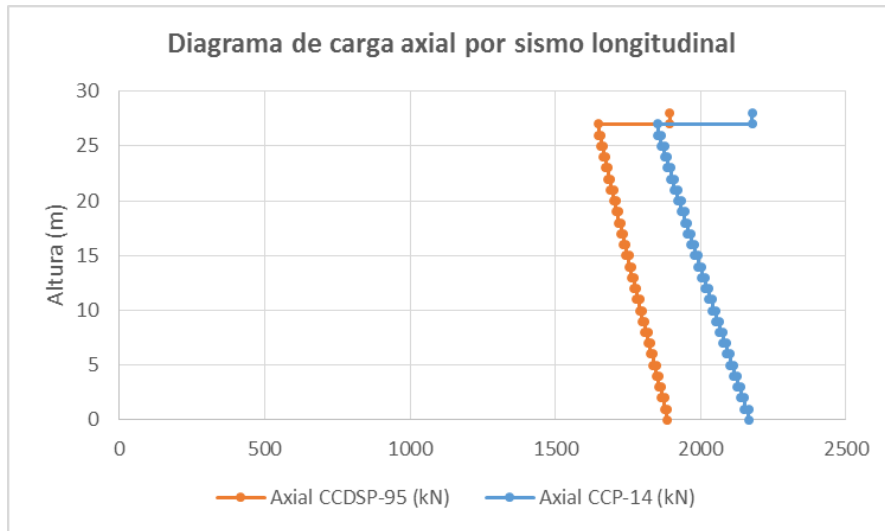


Figura 292 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

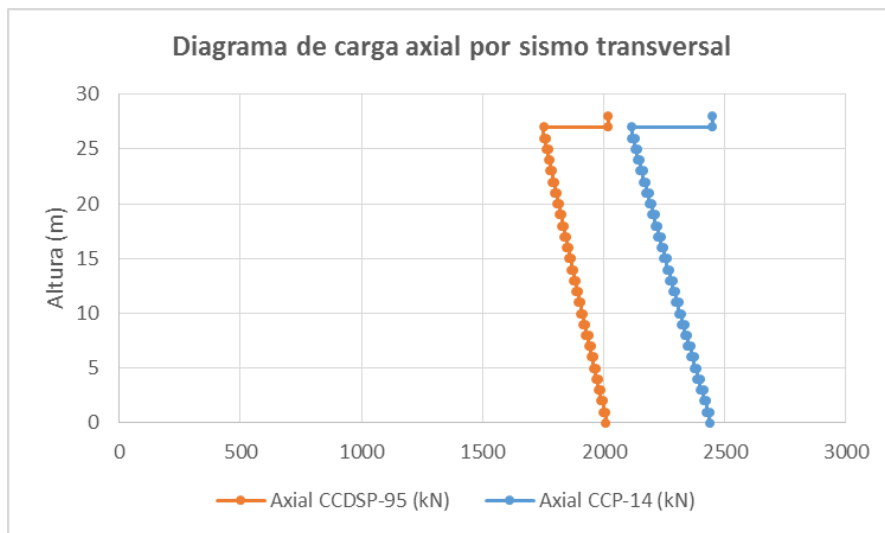


Figura 293 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

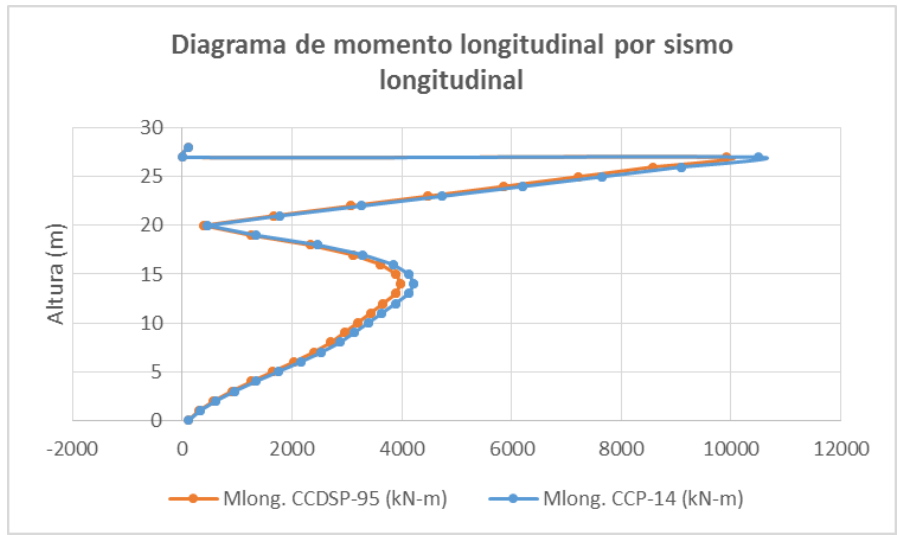


Figura 294 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

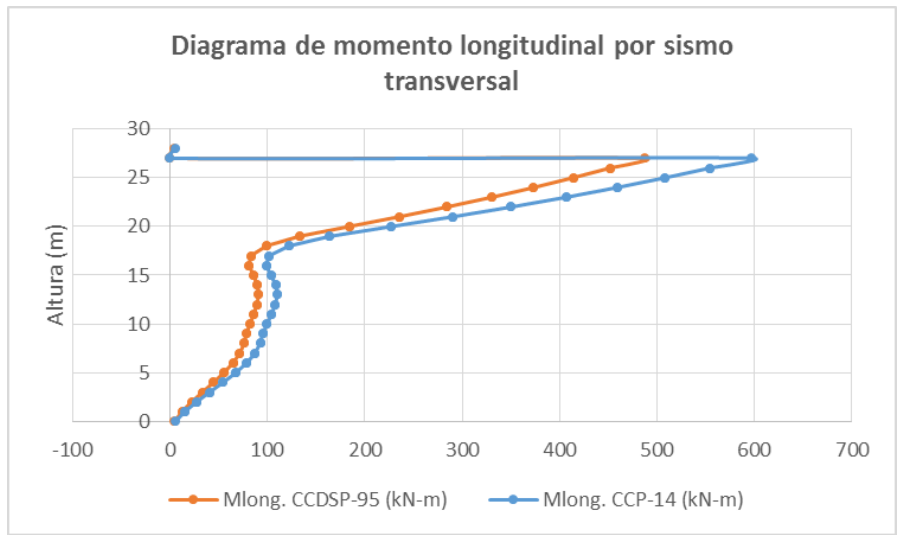


Figura 295 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

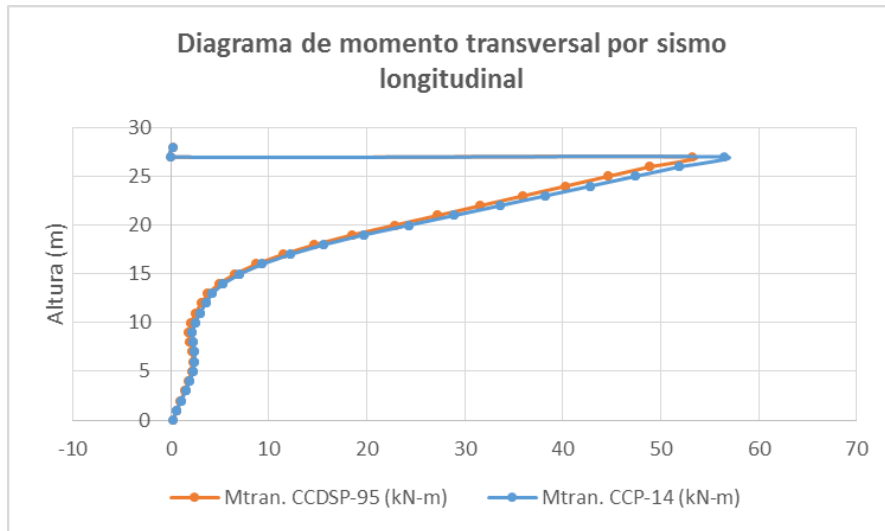


Figura 296 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

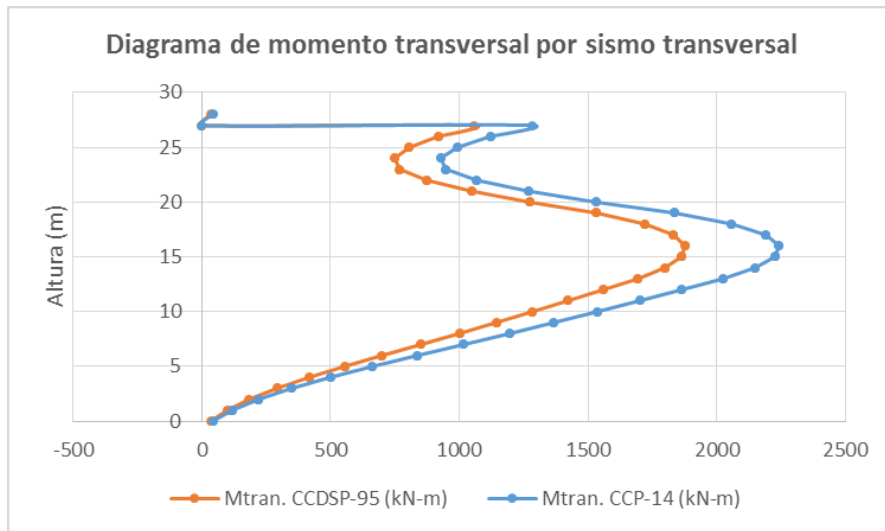


Figura 297 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.7 Pilote 5 eje 3

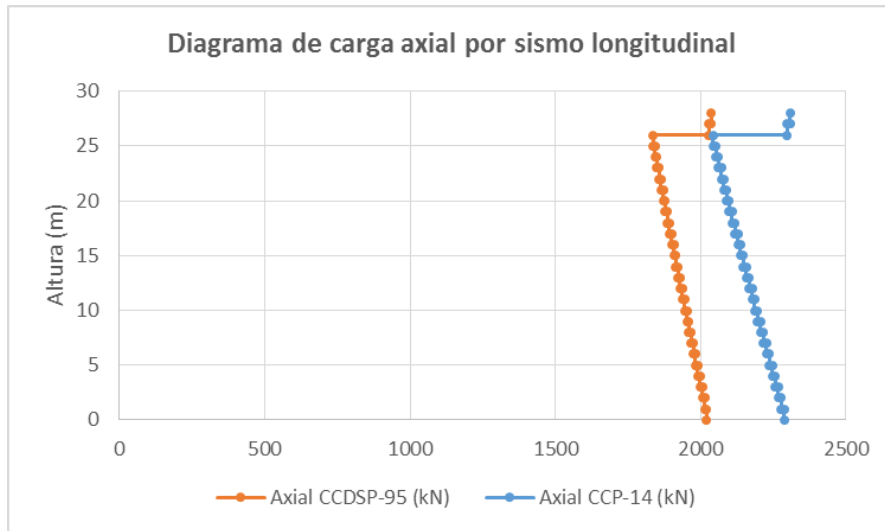


Figura 298 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

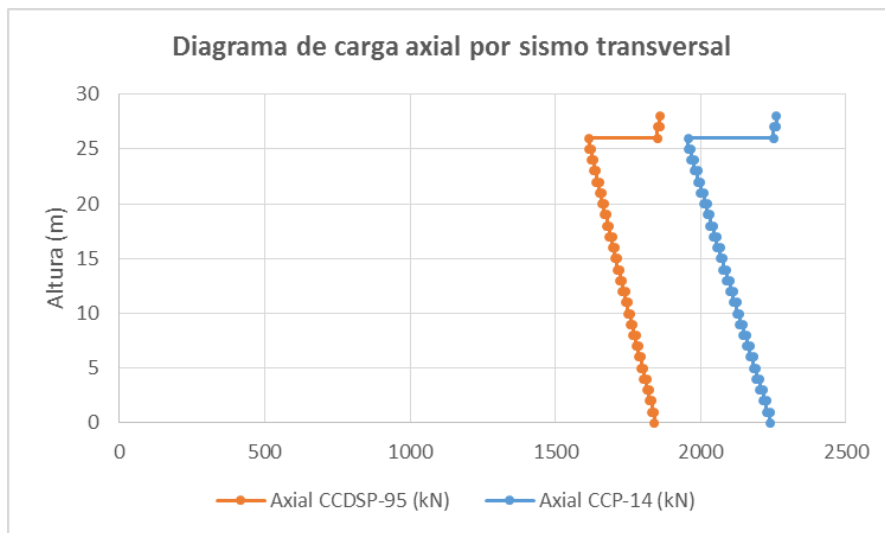


Figura 299 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

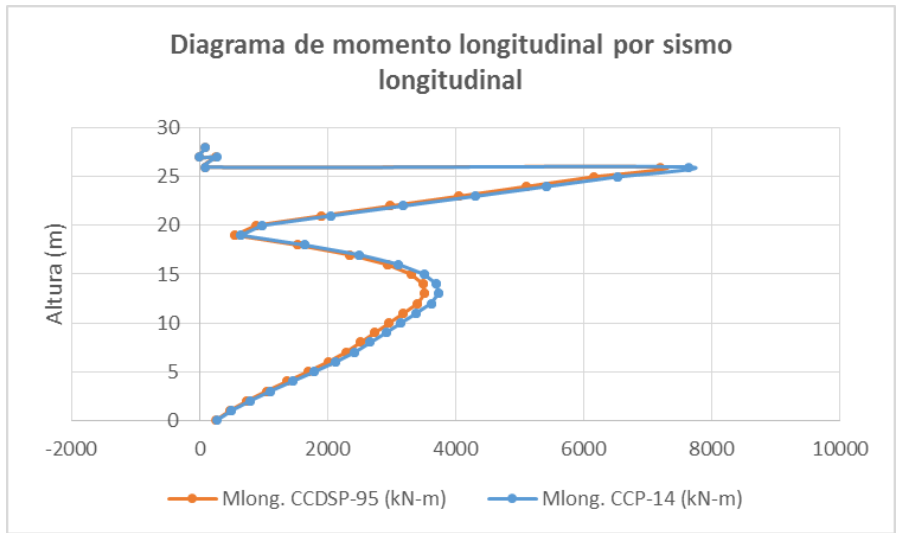


Figura 300 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

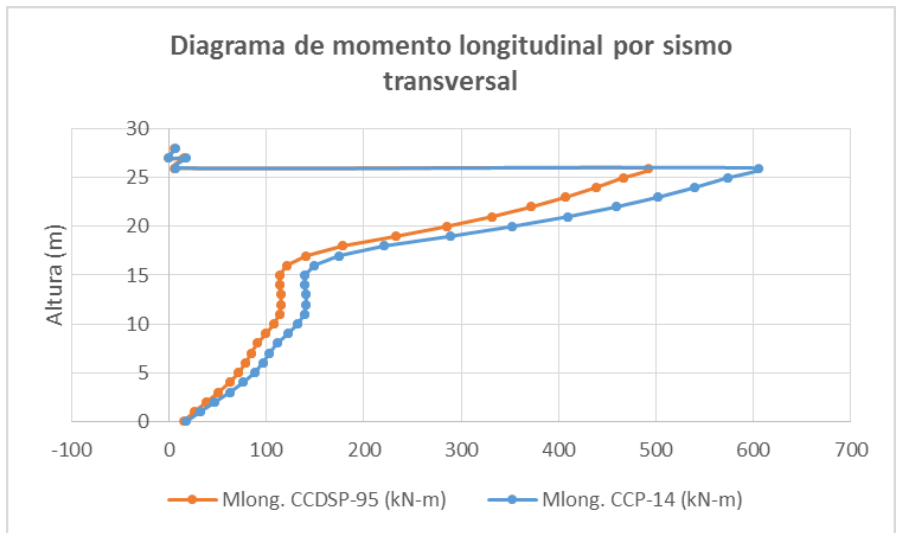


Figura 301 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

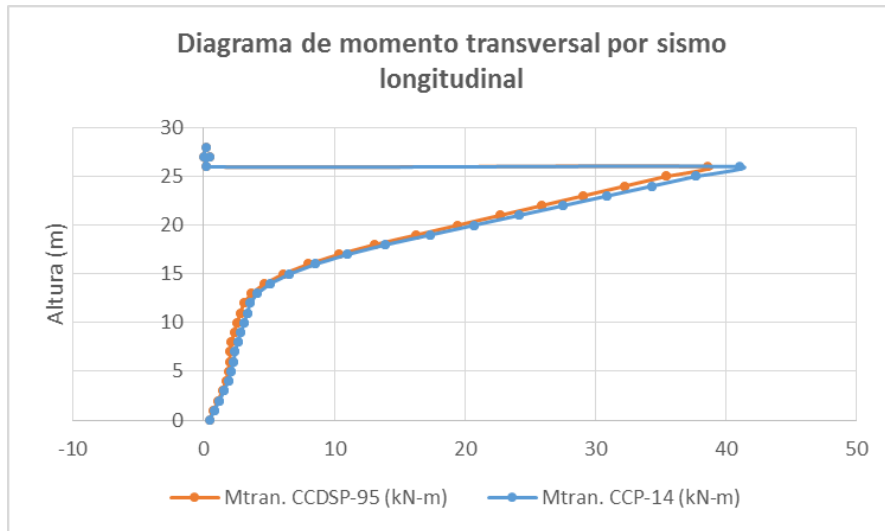


Figura 302 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

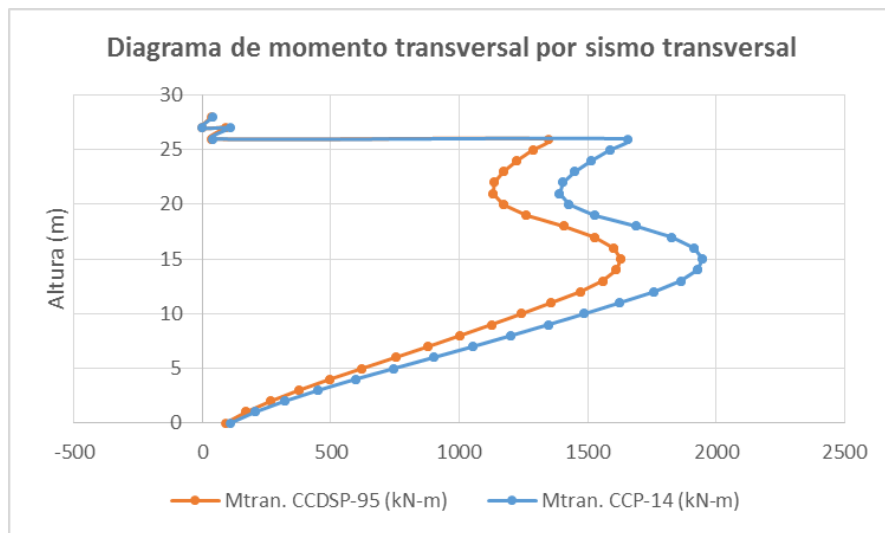


Figura 303 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.8 Pilote 6 eje 3

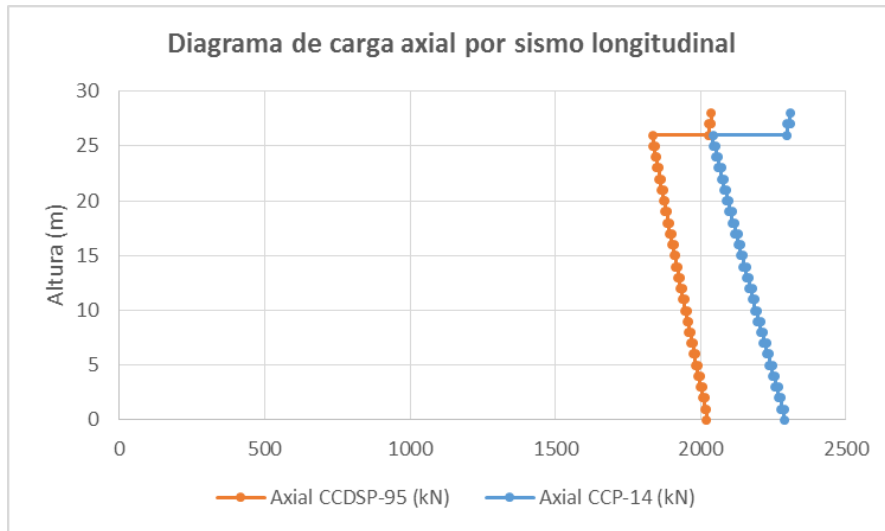


Figura 304 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

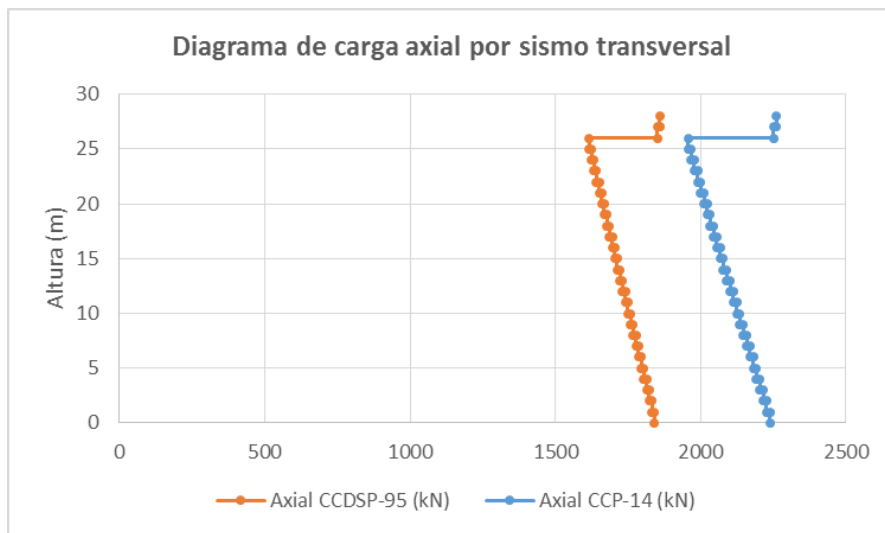


Figura 305 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

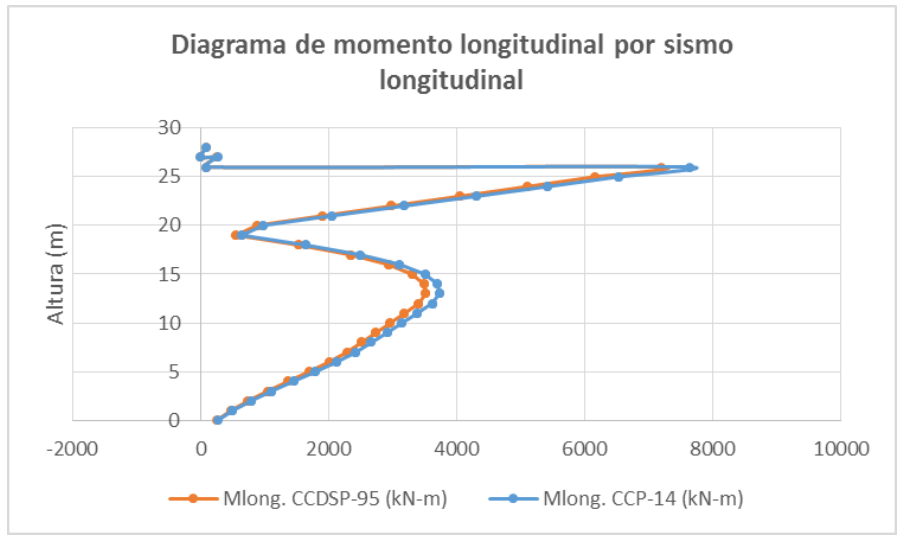


Figura 306 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

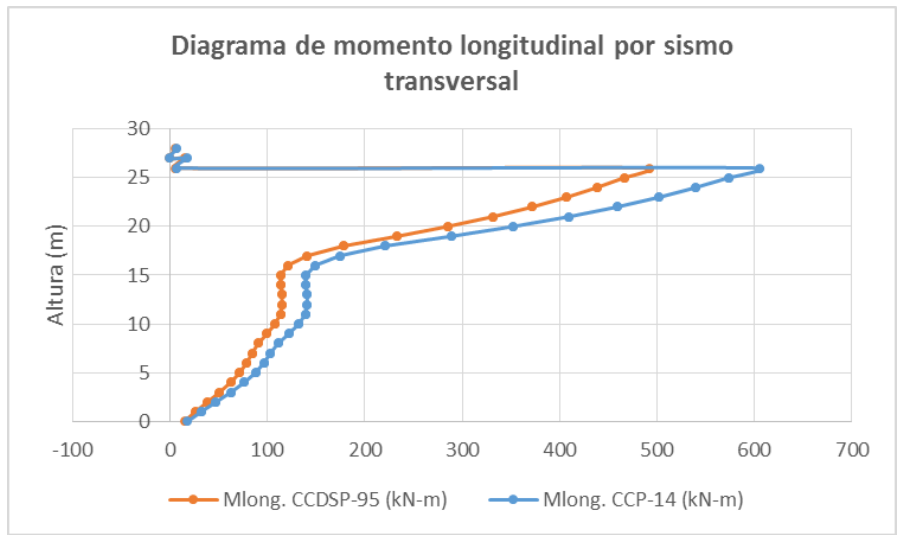


Figura 307 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

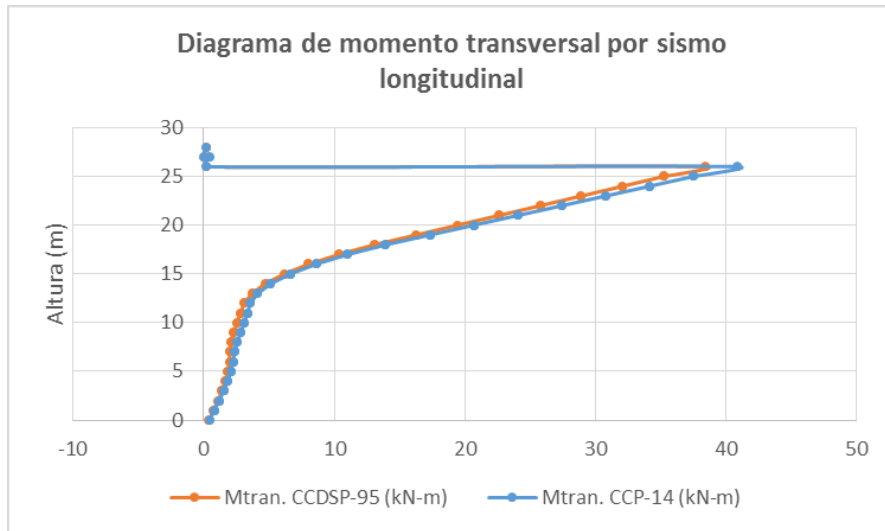


Figura 308 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

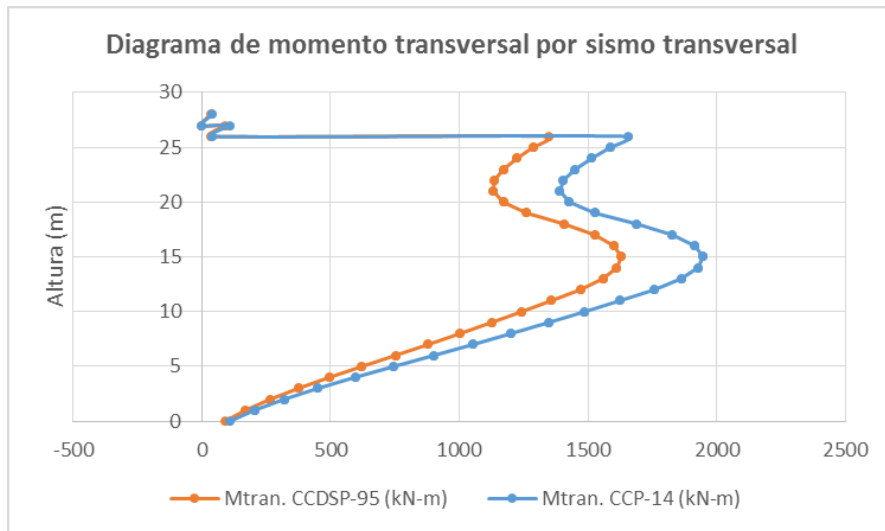


Figura 309 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.9 Pilote 7 eje 3

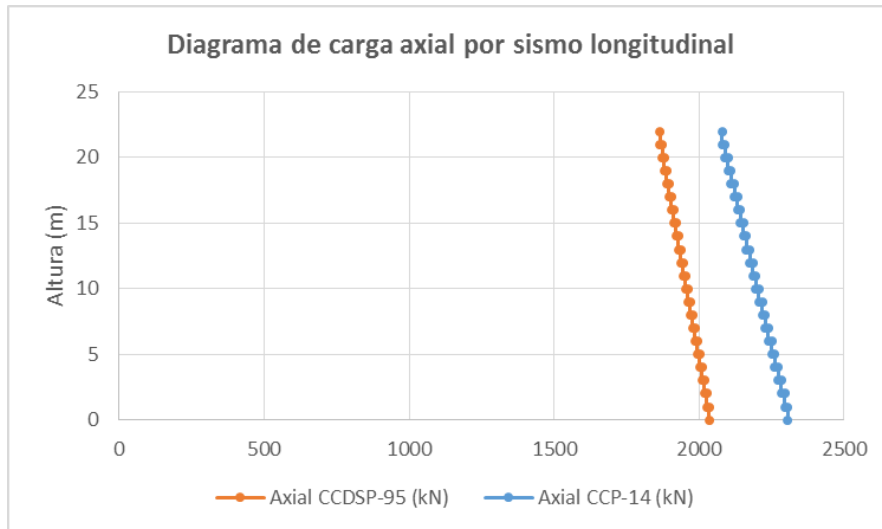


Figura 310 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

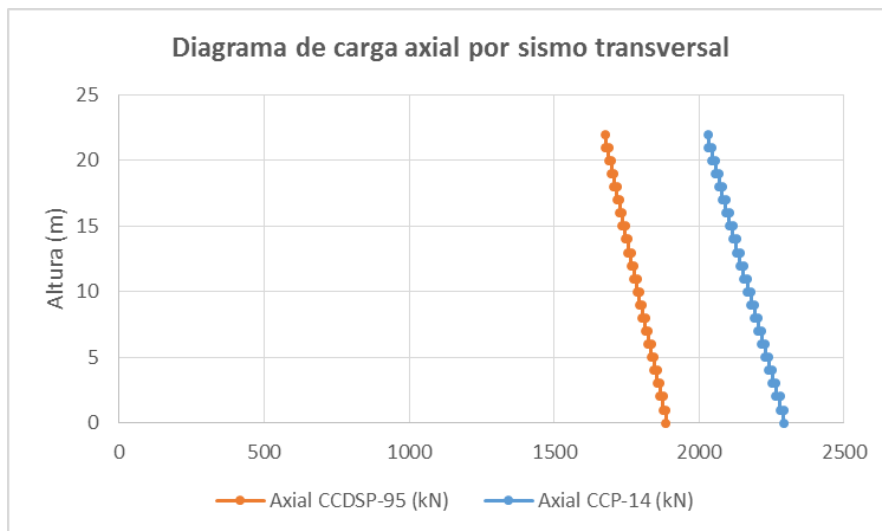


Figura 311 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

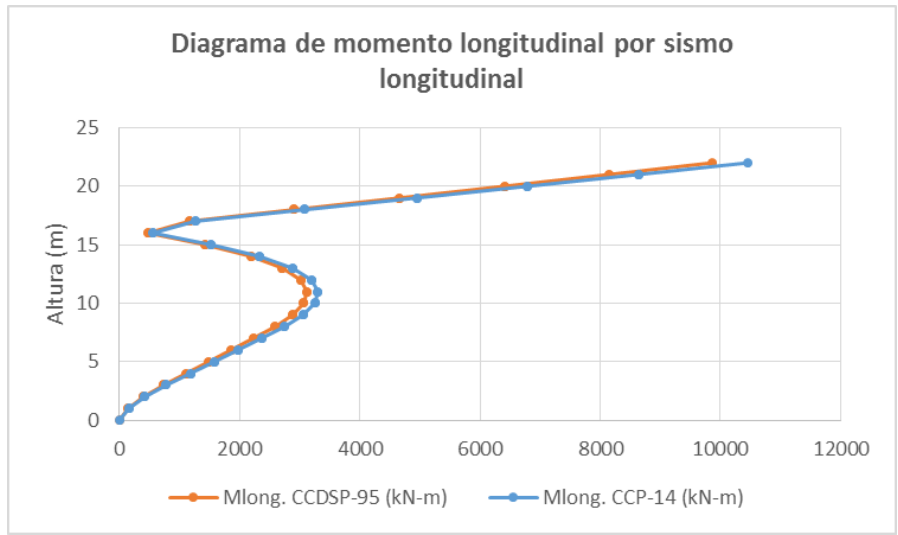


Figura 312 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

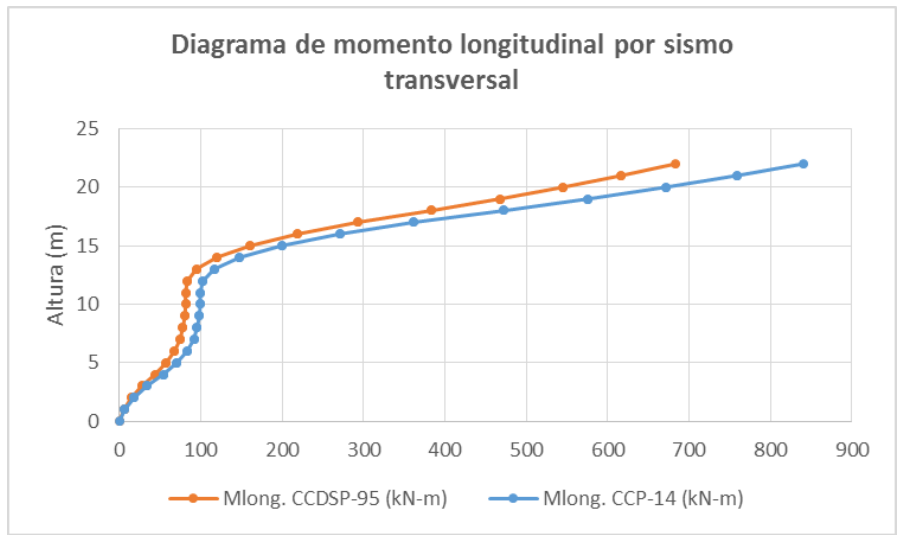


Figura 313 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

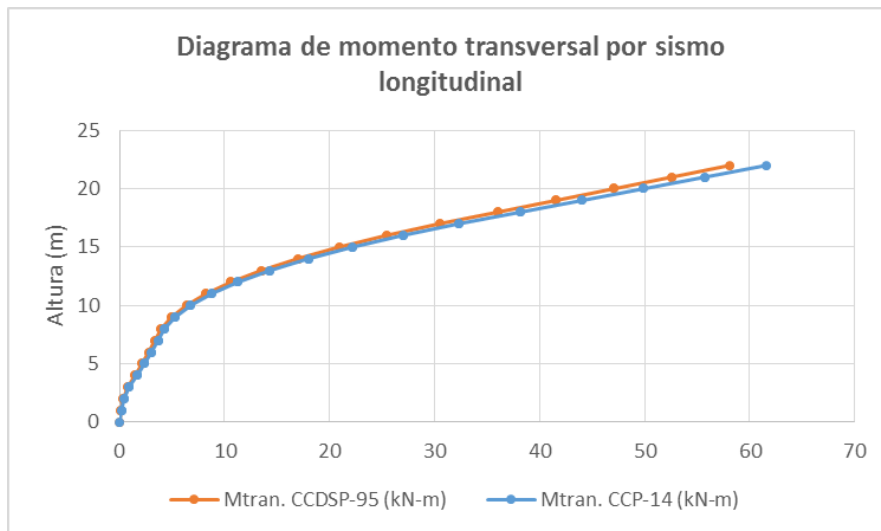


Figura 314 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

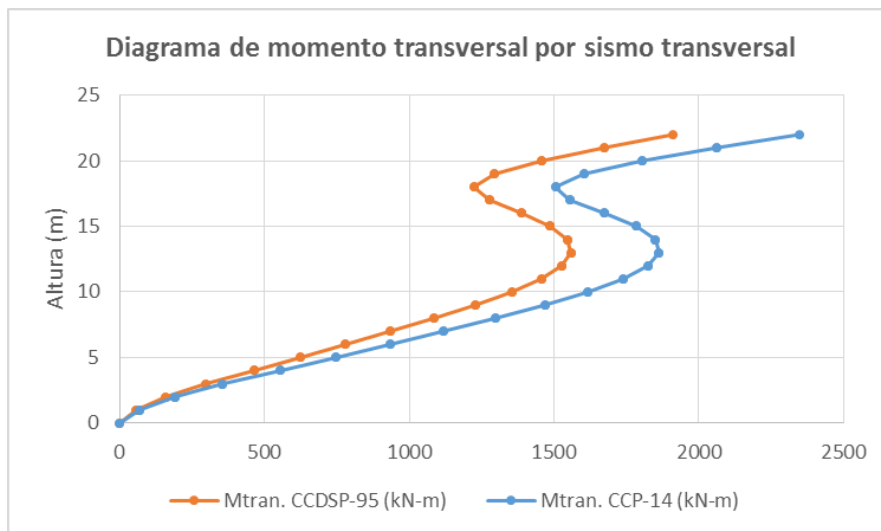


Figura 315 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.3.10 Pilote 8 eje 3

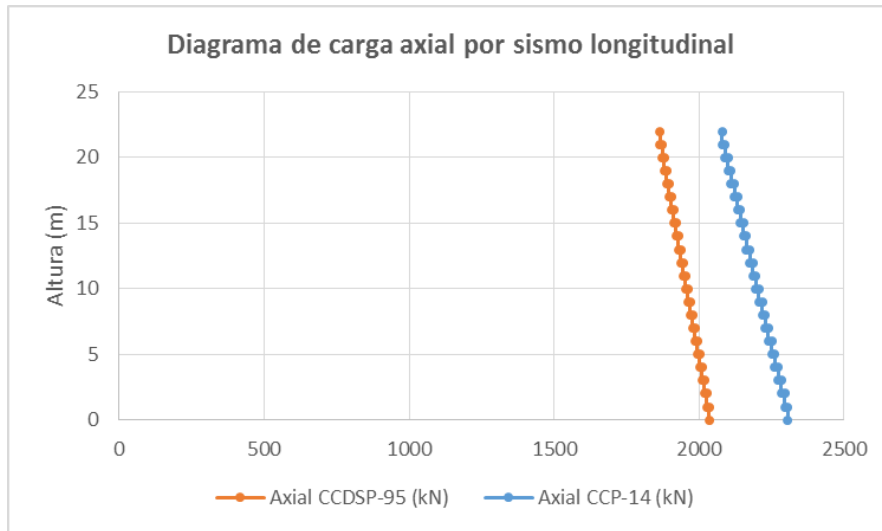


Figura 316 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente Bermúdez

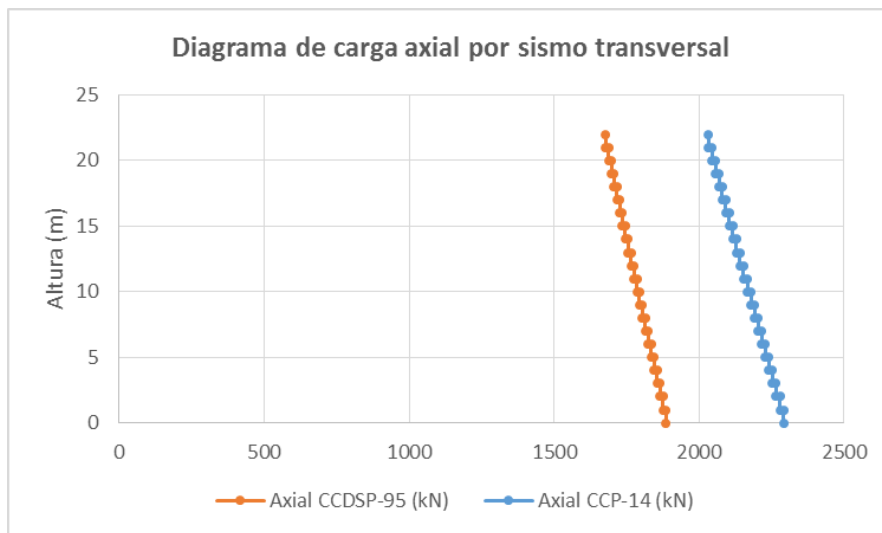


Figura 317 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente Bermúdez

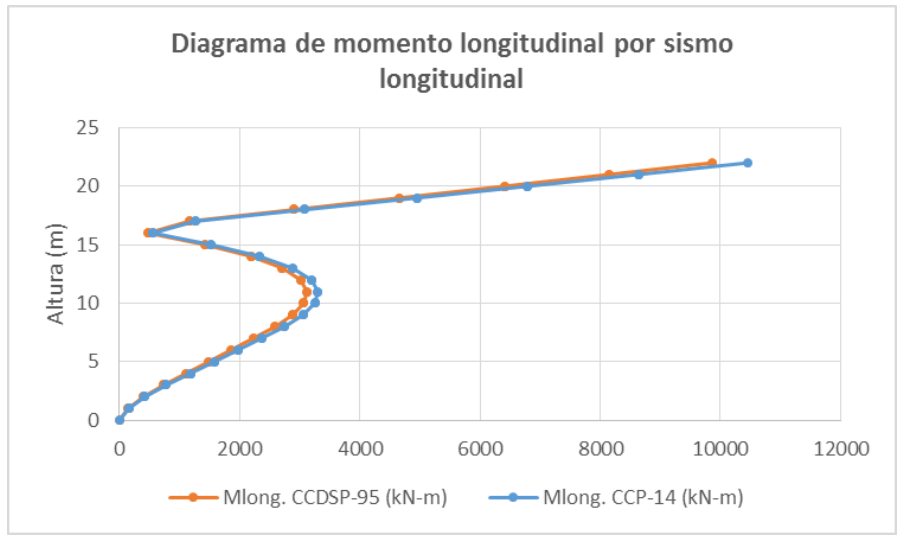


Figura 318 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente Bermúdez

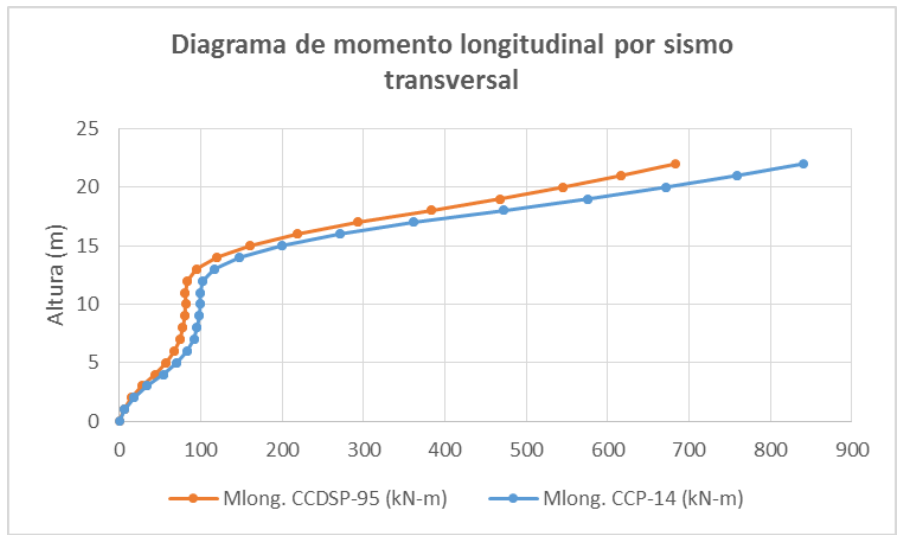


Figura 319 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente Bermúdez

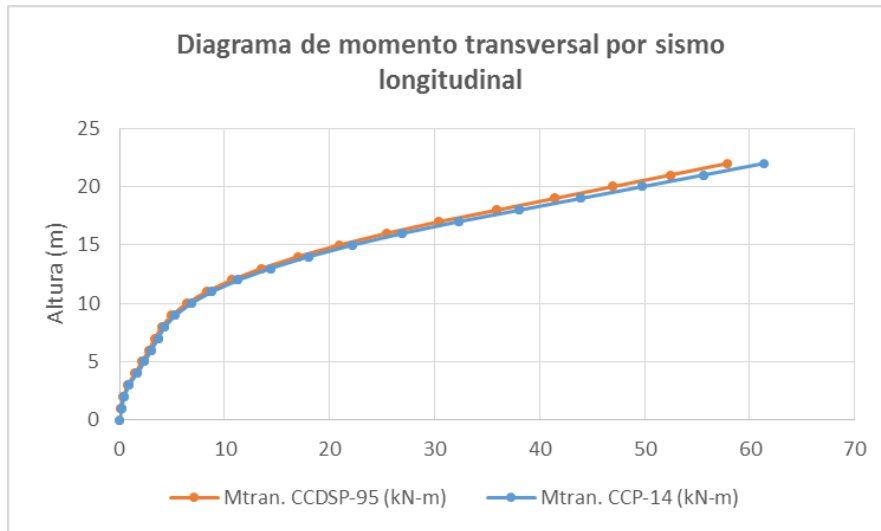


Figura 320 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente Bermúdez

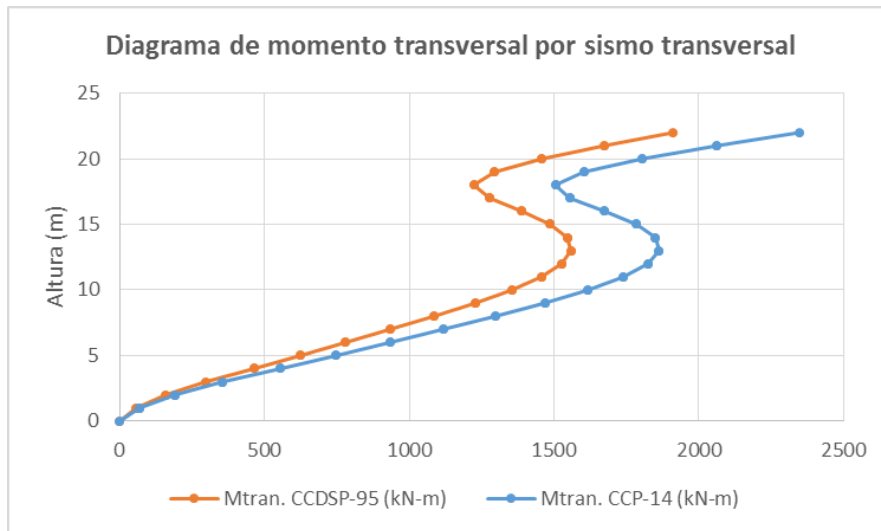


Figura 321 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente Bermúdez

8.6.4 Combinaciones de diseño columnas

8.6.4.1 Columna eje 2

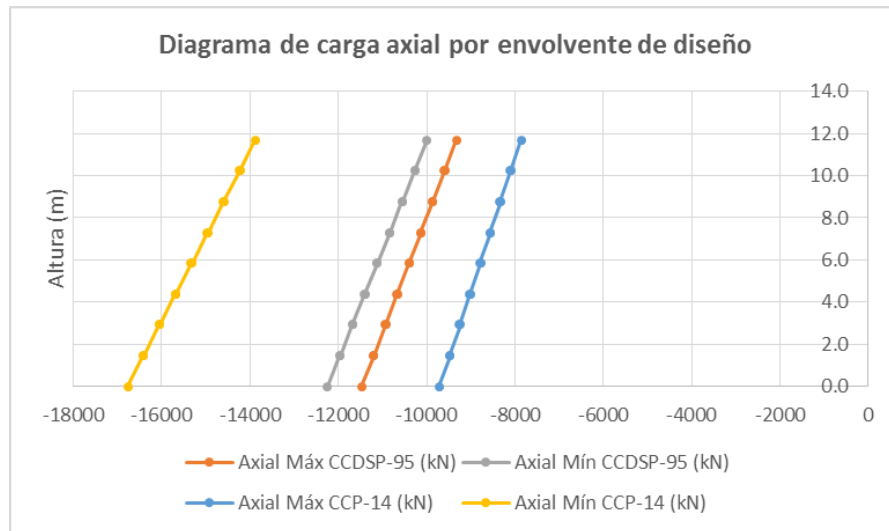


Figura 322 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

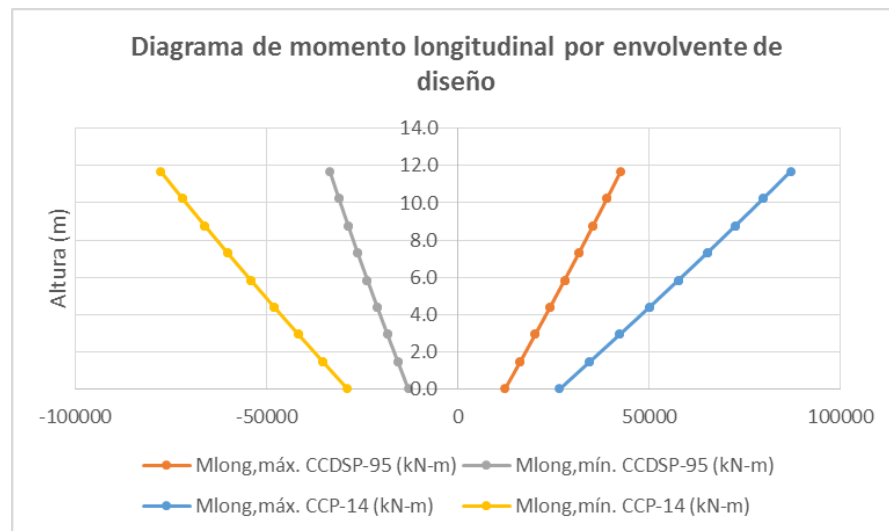


Figura 323 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

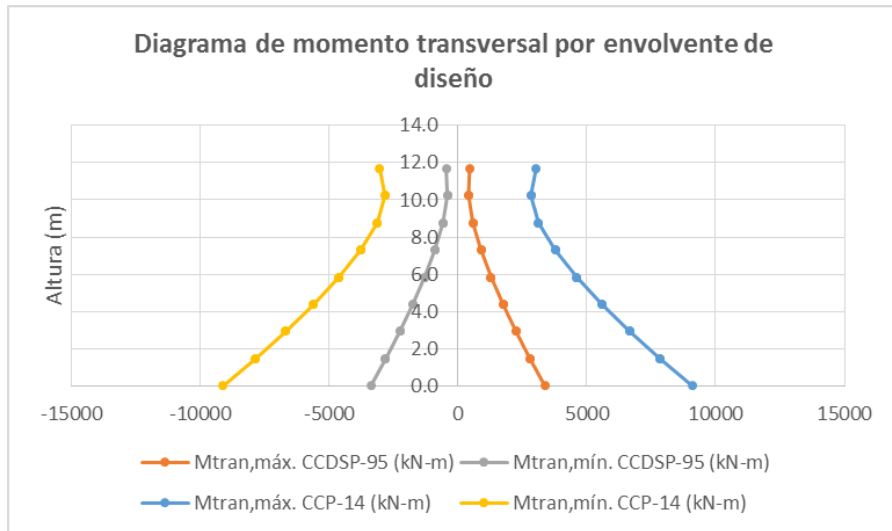


Figura 324 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.4.2 Columna eje 3

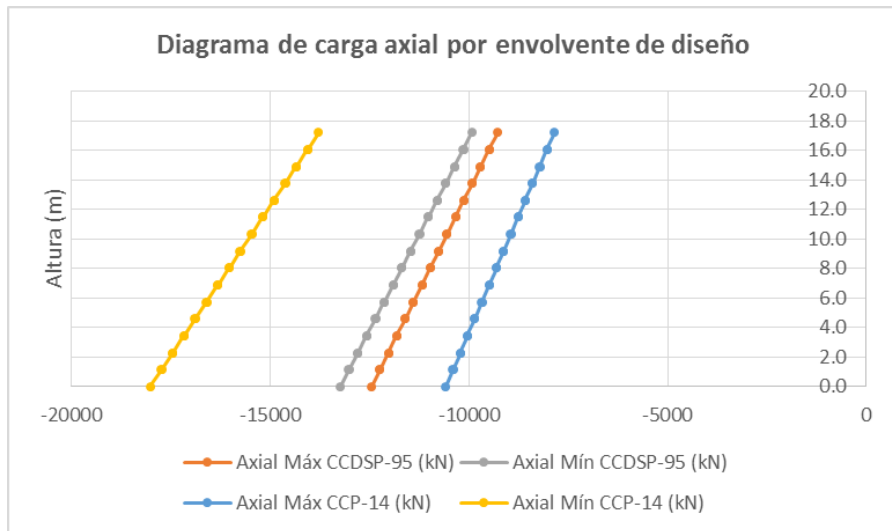


Figura 325 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

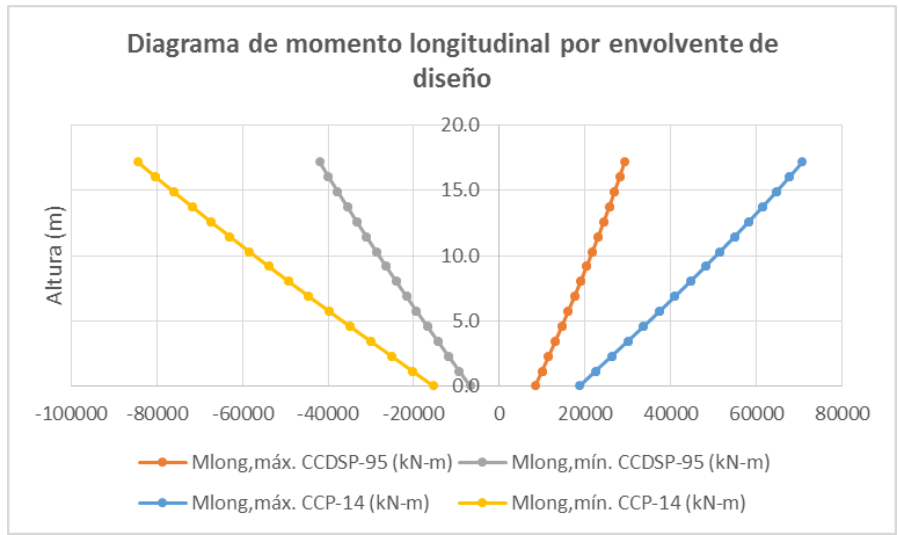


Figura 326 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

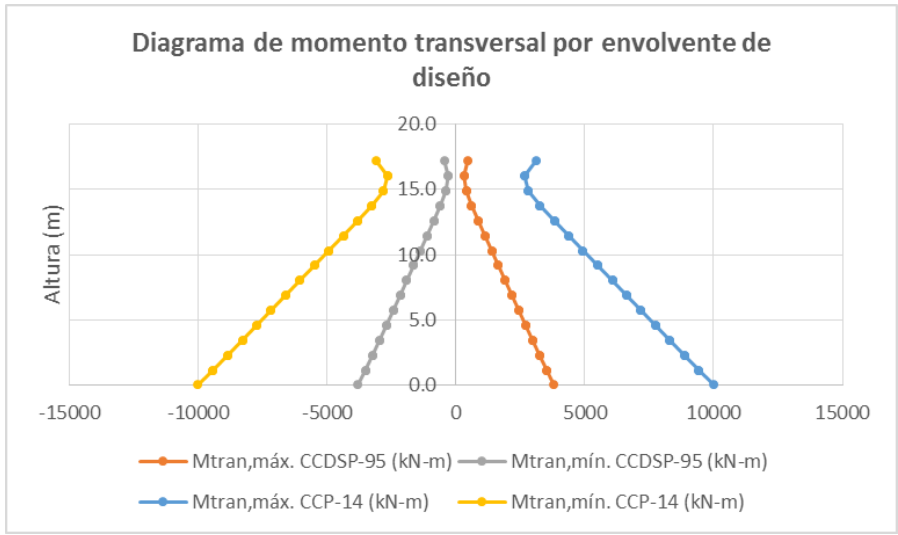


Figura 327 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.5 Combinaciones de diseño pilotes

8.6.5.1 Pilote 1 Eje 2

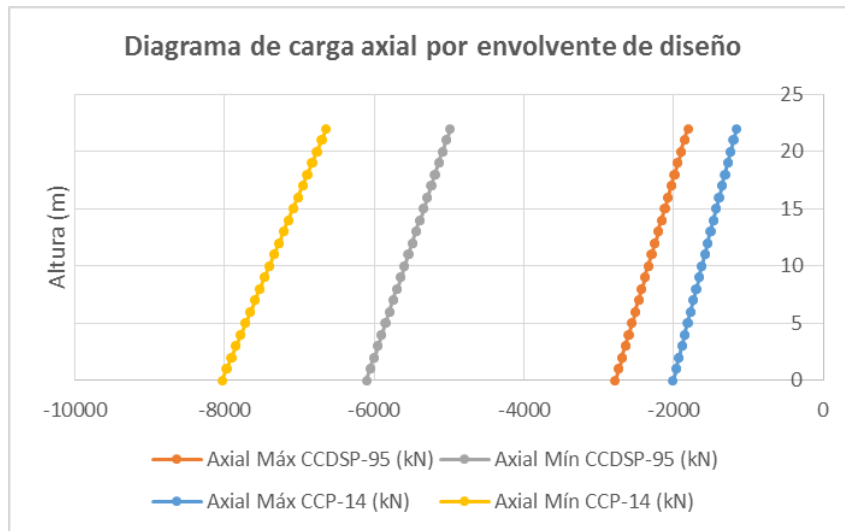


Figura 328 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puesto Bermúdez

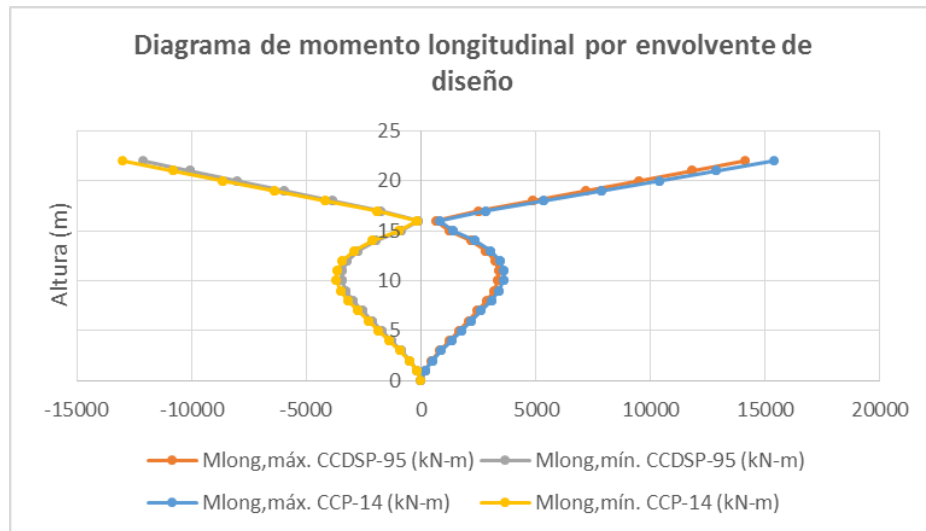


Figura 329 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puesto Bermúdez

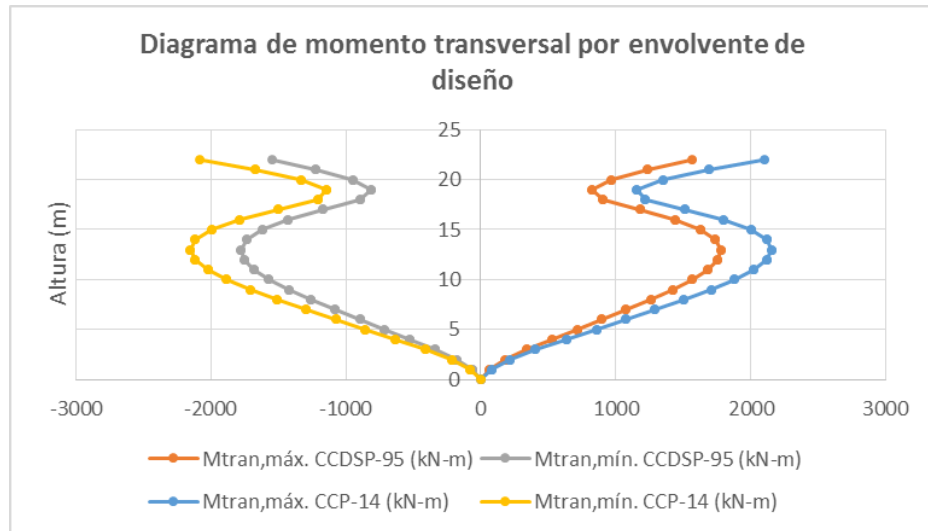


Figura 330 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.5.2 Pilote 2 Eje 2

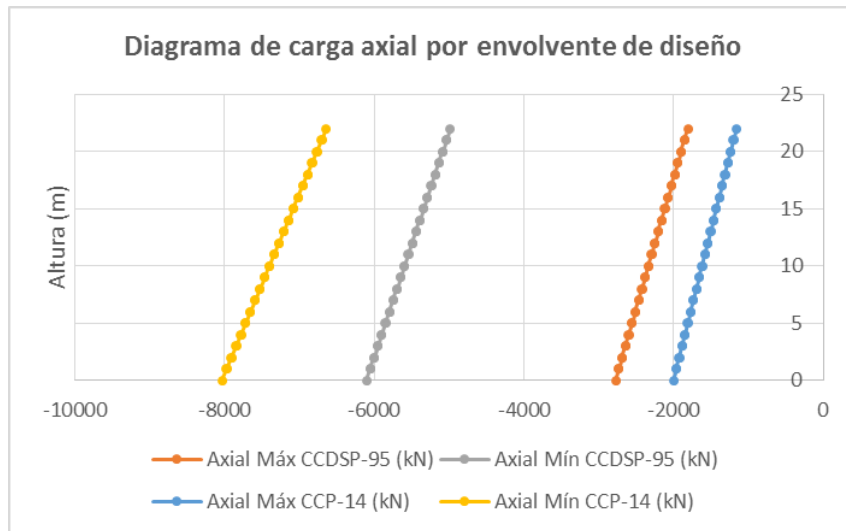


Figura 331 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

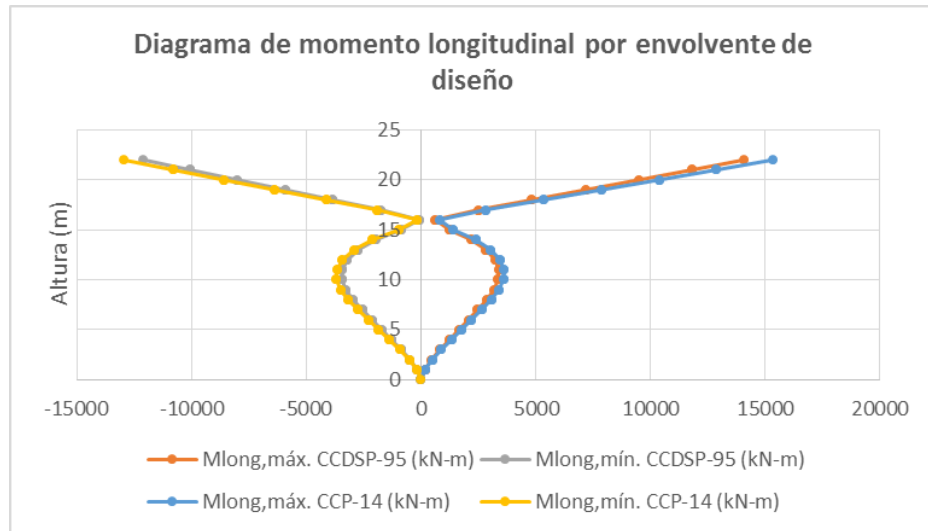


Figura 332 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

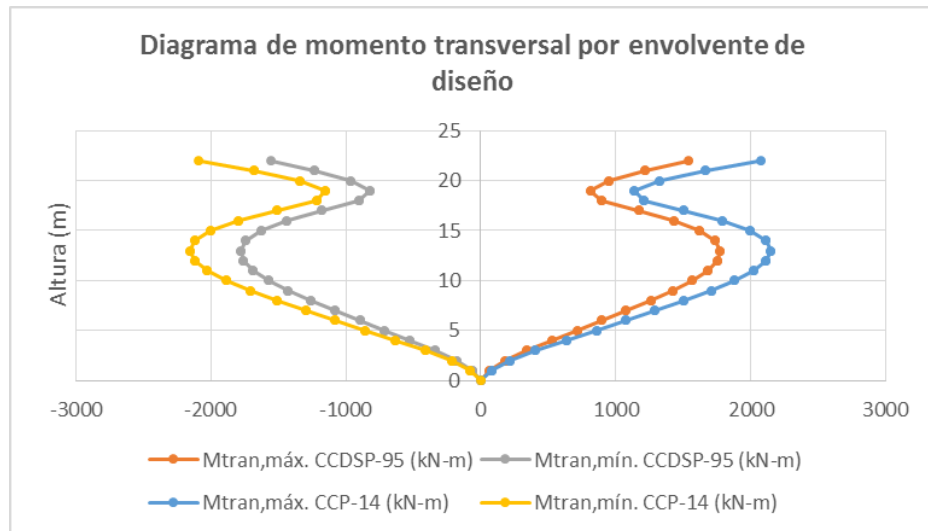


Figura 333 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.5.3 Pilote 3 Eje 2

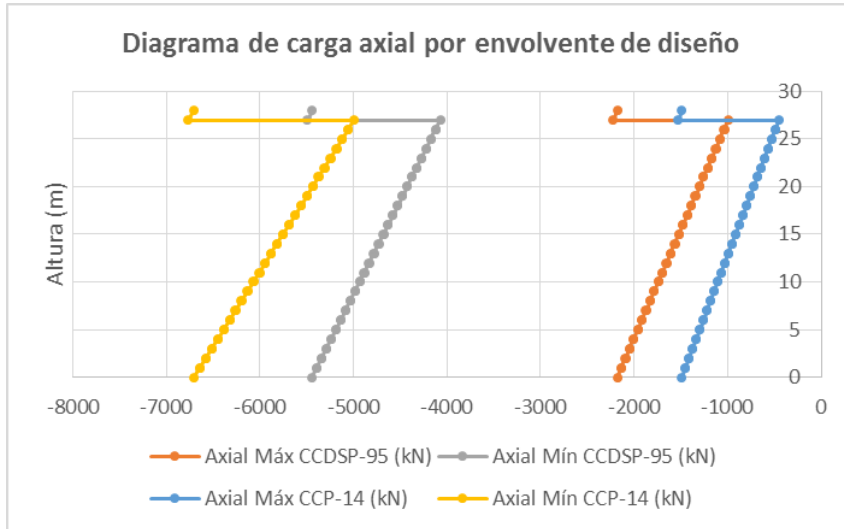


Figura 334 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puesto Bermúdez

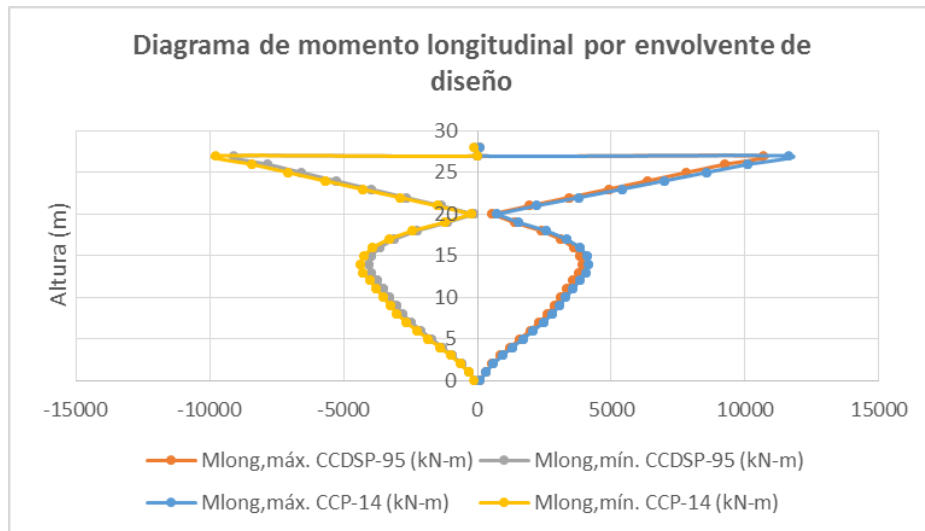


Figura 335 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puesto Bermúdez

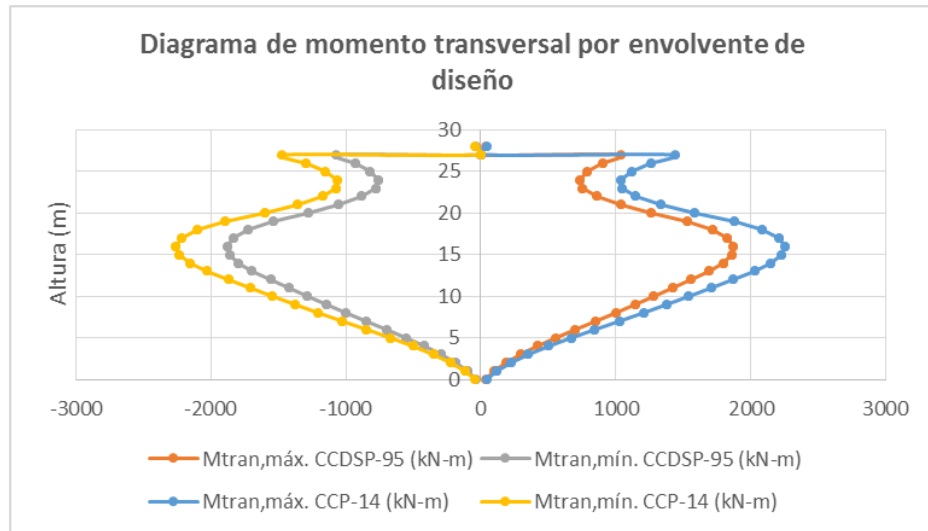


Figura 336 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.5.4 Pilote 4 Eje 2

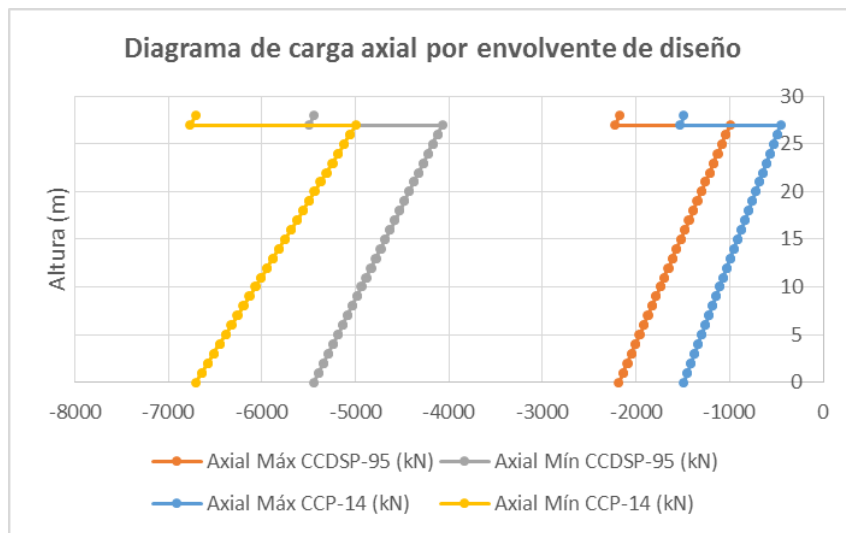


Figura 337 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

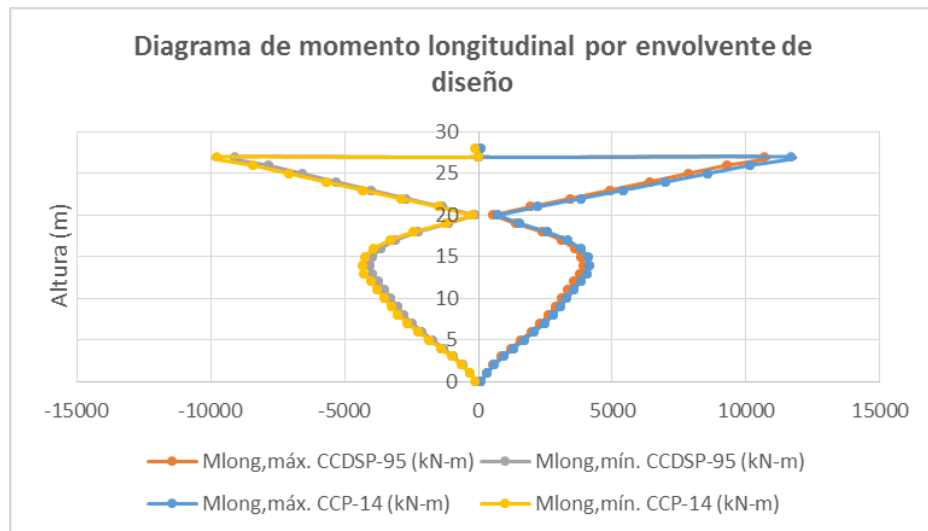


Figura 338 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

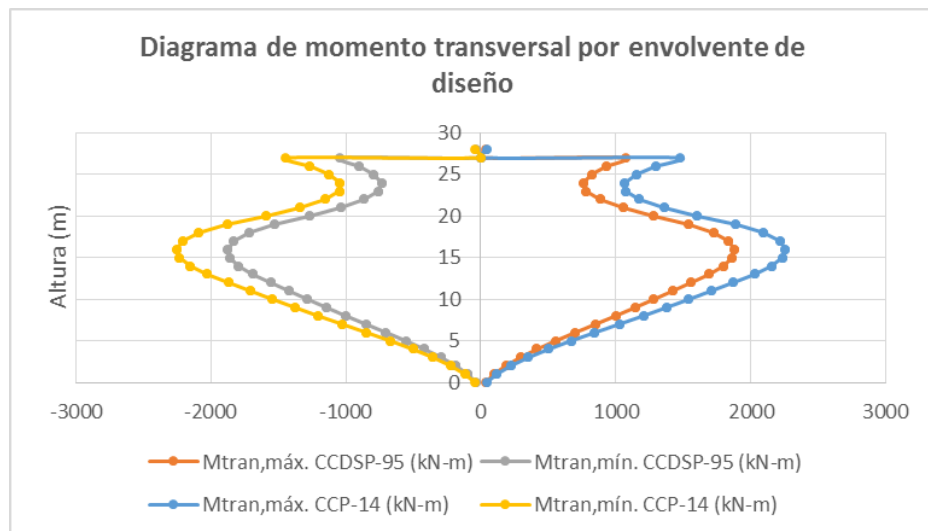


Figura 339 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.5.5 Pilote 5 Eje 3

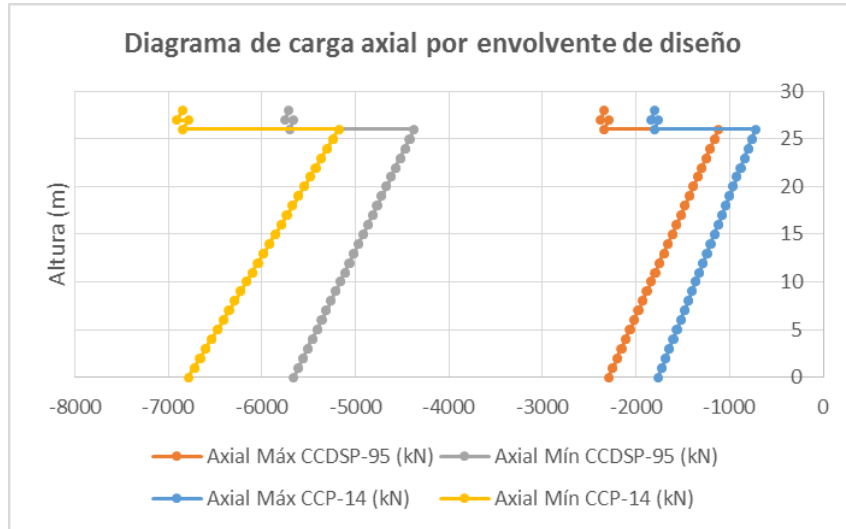


Figura 340 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

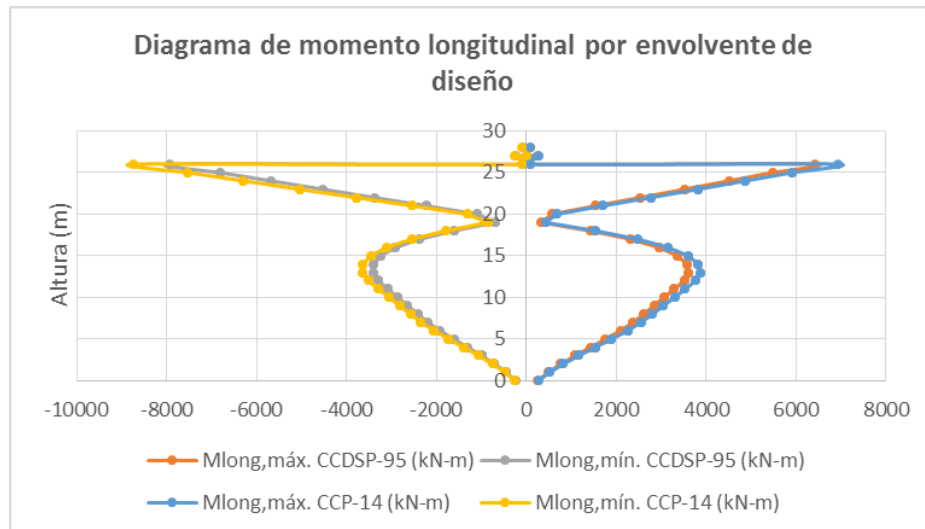


Figura 341 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

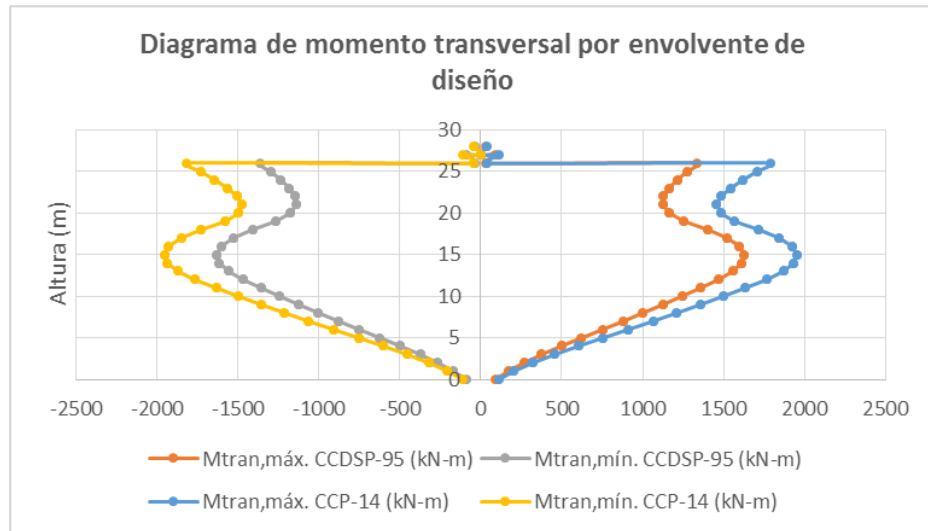


Figura 342 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.5.6 Pilote 6 Eje 3

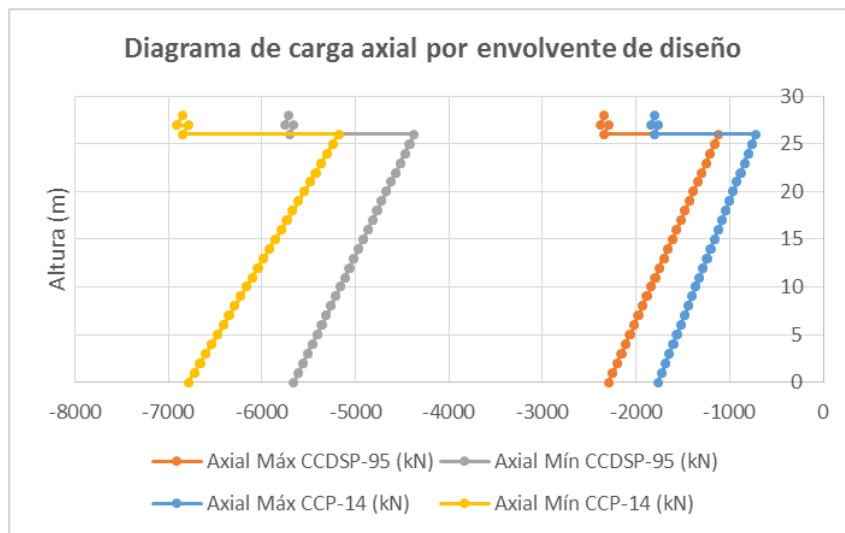


Figura 343 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

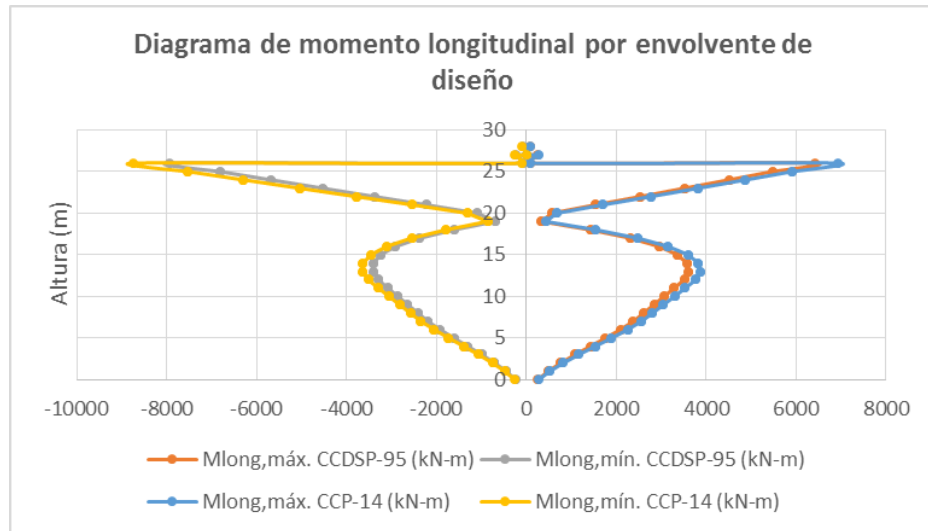


Figura 344 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

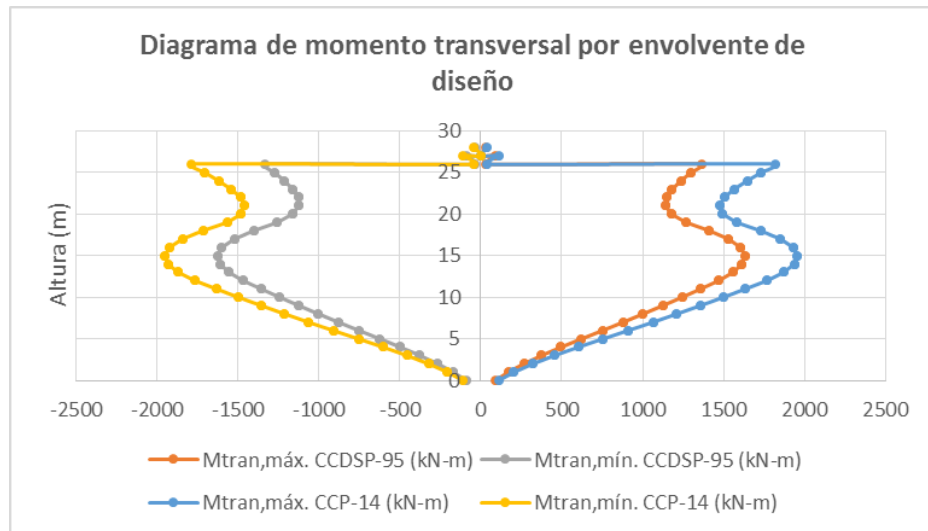


Figura 345 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.5.7 Pilote 7 Eje 3

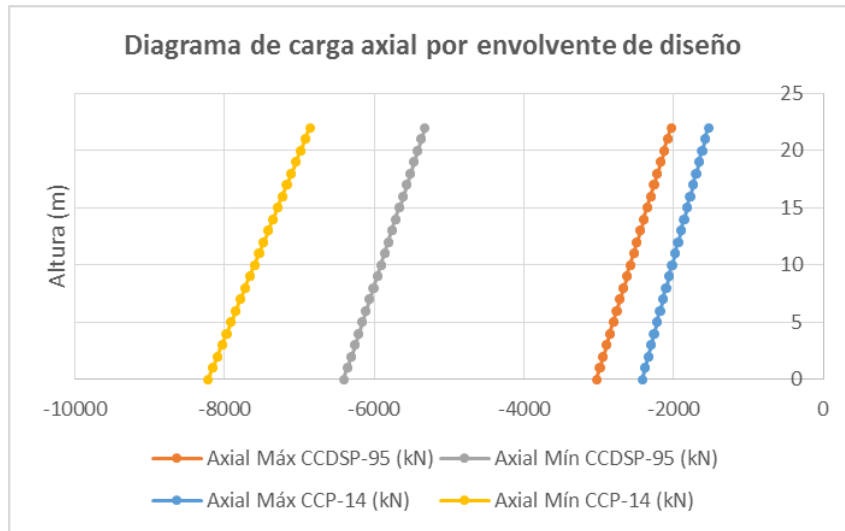


Figura 346 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puesto Bermúdez

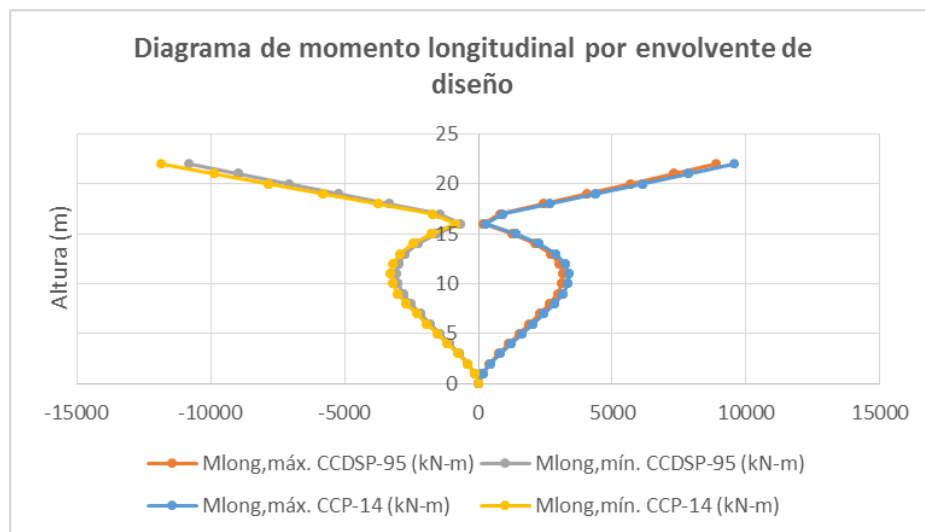


Figura 347 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puesto Bermúdez

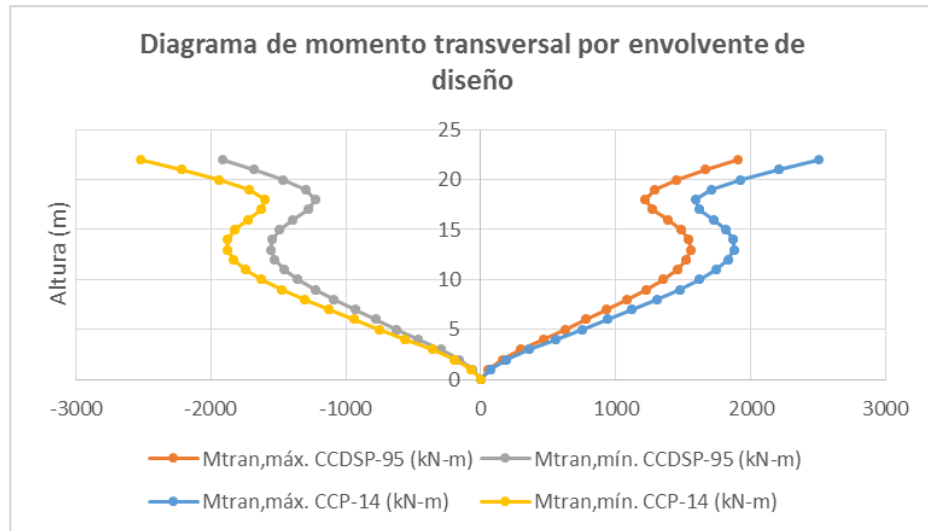


Figura 348 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.6.5.8 Pilote 8 Eje 3

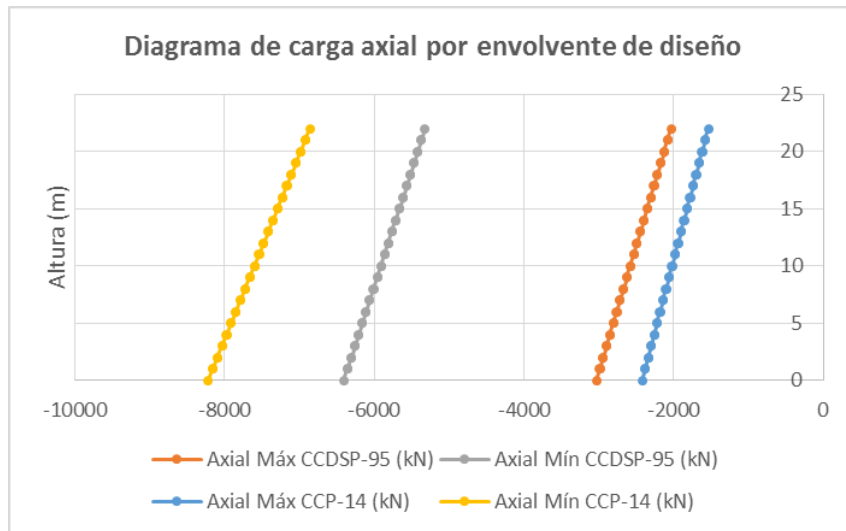


Figura 349 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

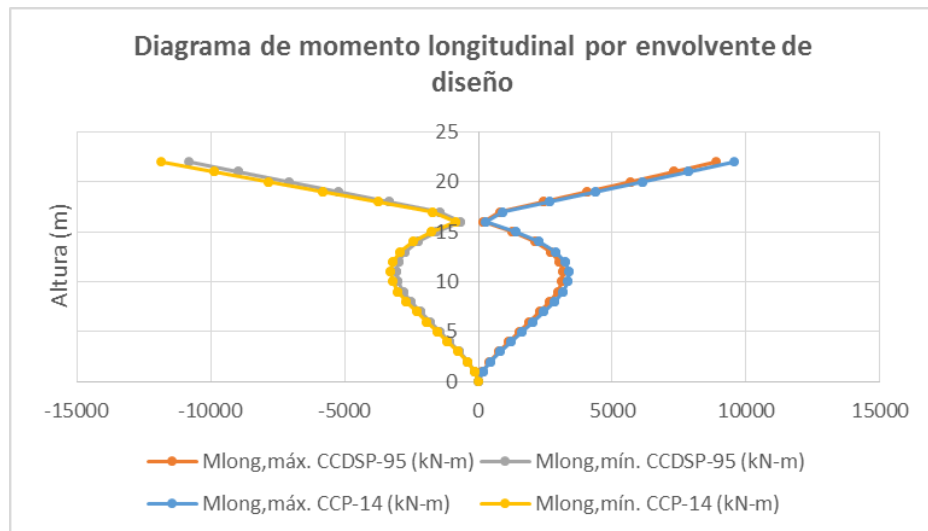


Figura 350 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

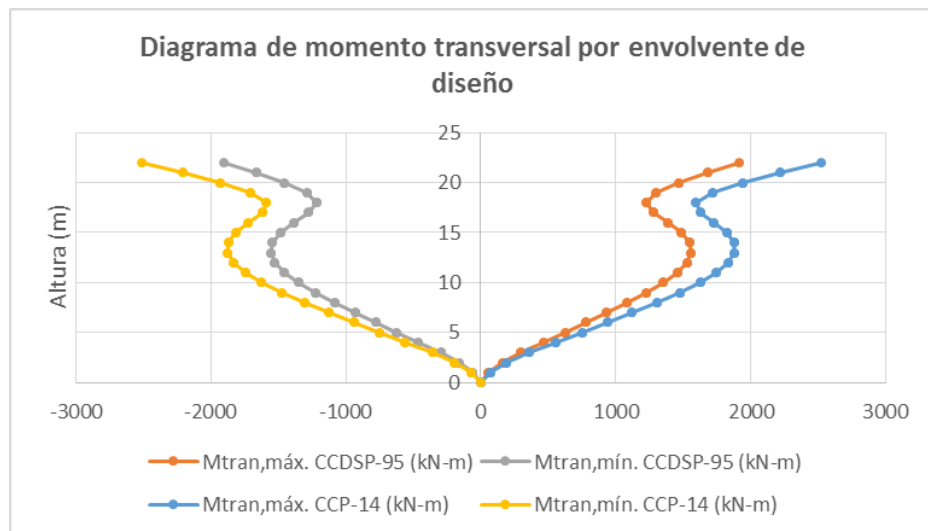


Figura 351 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Bermúdez

8.7 Puente San Pedro – CCDSP-95

8.7.1 Evaluación de cargas

8.7.1.1 Carga Viva (LL)

La carga viva con la que se analizó el puente corresponde a la carga de carril la cual depende de la luz.

Para obtener los momentos la carga de carril utilizada es la siguiente:

Tabla 13 Carga de carril para momento CCDSP-95 – Puente San Pedro.

$28 \leq L \leq 100$	Carril	$w = 1.50 - \frac{(L-28)}{200}$ P=12 ton
L=30m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(30-28)}{200} = 1.49 \text{ ton/m}$ P=12 ton
L=45m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(45-28)}{200} = 1.42 \text{ ton/m}$ P=12 ton
L=90m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(90-28)}{200} = 1.19 \text{ ton/m}$ P=12 ton

Para obtener los cortantes la carga de carril utilizada es la siguiente:

Tabla 14 Carga de carril para cortante CCDSP-95 – Puente San Pedro.

$28 \leq L \leq 100$	Carril	$w = 1.50 - \frac{(L-24)}{300}$ P=16 ton
L=30m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(30-24)}{300} = 1.48 \text{ton/m}$ P=16 ton
L=45m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(45-24)}{300} = 1.43 \text{ton/m}$ P=16 ton
L=90m	Carril	$w = 1.50 - \frac{(90-24)}{300} = 1.28 \text{ton/m}$ P=16 ton

El incremento por efecto del impacto también depende de la luz.

Tabla 15 Porcentaje de impacto – Puente San Pedro.

Impacto	$I = \frac{16}{L + 40}$
L=30m	$I = \frac{16}{30 + 40} = 0.23$
L=45m	$I = \frac{16}{45 + 40} = 0.19$
L=90m	$I = \frac{16}{90 + 40} = 0.12$

8.7.1.2 Factor de reducción de carga

El análisis por carga viva se realizó teniendo en cuenta tres condiciones:

1. El paso de un solo camión, permitiéndole desplazarse transversalmente a través del ancho libre del puente, con un factor de 1.0.
2. El paso de dos camiones, permitiéndoles desplazarse transversalmente por la mitad del ancho libre del puente, con un factor de 1.0.

3. El paso de tres camiones, permitiéndoles desplazarse transversalmente por un tercio del ancho libre del puente, con un factor de 0.9.

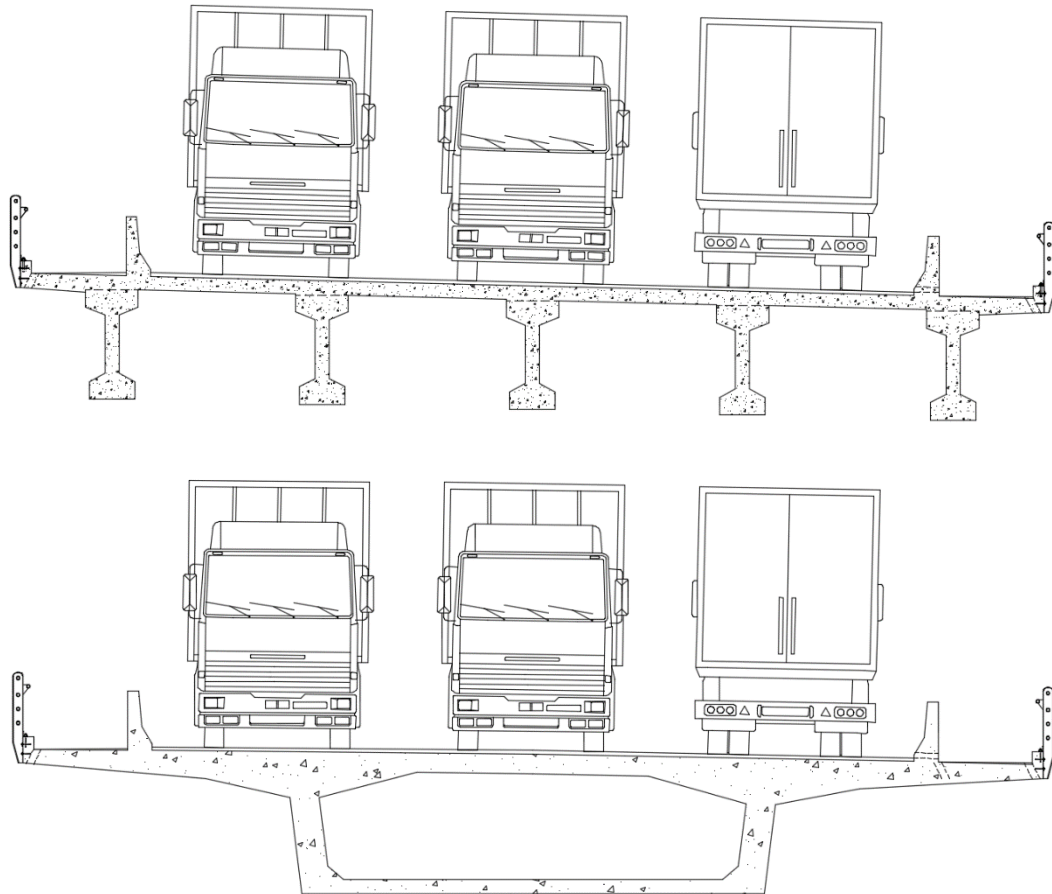


Figura 352 Número de carriles Puente San Pedro

8.7.2 Combinaciones de diseño

Para el análisis de la superestructura se obtuvieron los esfuerzos por la combinación de diseño Grupo I.

La subestructura se analizó con la combinación de diseño Grupo VII.

8.7.3 Análisis sísmico

Los siguientes aspectos son importantes en el análisis sísmico.

- El puente vehicular se encuentra ubicado en cercanías del Municipio de San José del Fragua (Departamento del Caquetá), por lo que se empleó un coeficiente de aceleración efectiva $A_a = 0.20$, de acuerdo a la figura A.3.5-1 del CCP 200-95.
- El espectro empleado en el análisis estructural se presenta en la siguiente figura.

$$\begin{array}{l} A = \boxed{0.2} \\ \text{Tipo de Suelo} = \boxed{S3} \end{array}$$

$$S = 1.5$$

$$S_{am} = \frac{1.2 \times A \times S}{T_m^{2/3}} \leq 2.5 \times A$$

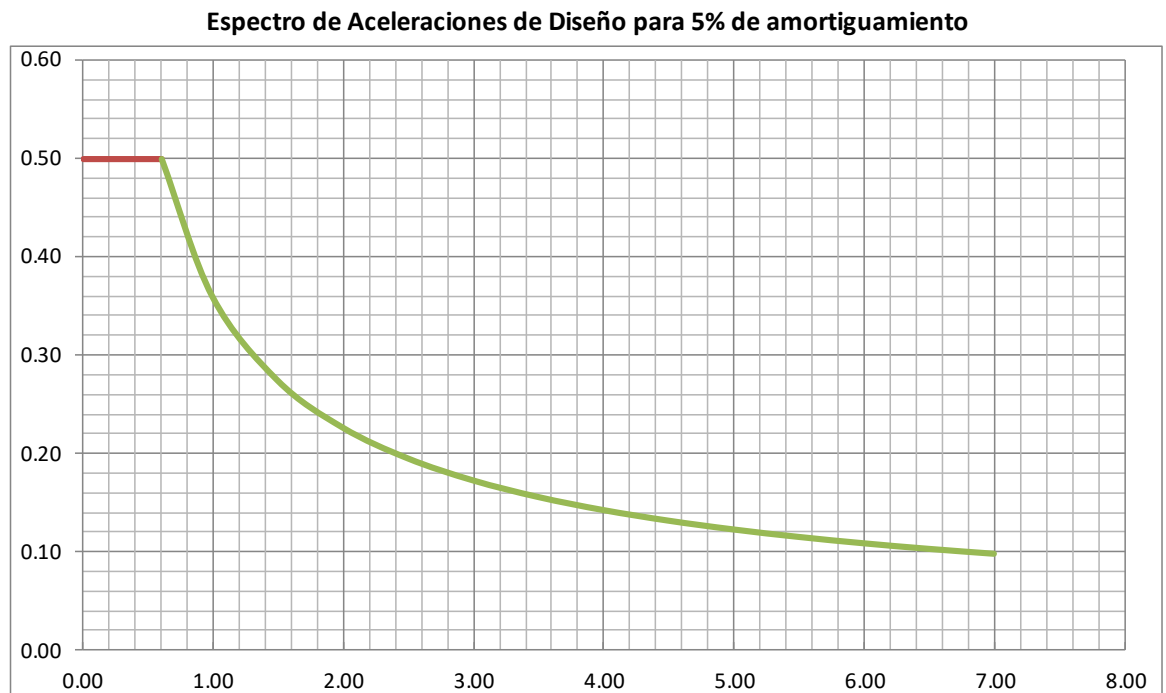


Figura 353 Espectro de diseño Puente San Pedro CCDSP-95

8.7.4 Entrada de datos al programa CSI Bridge

8.7.4.1 Esquema 3D

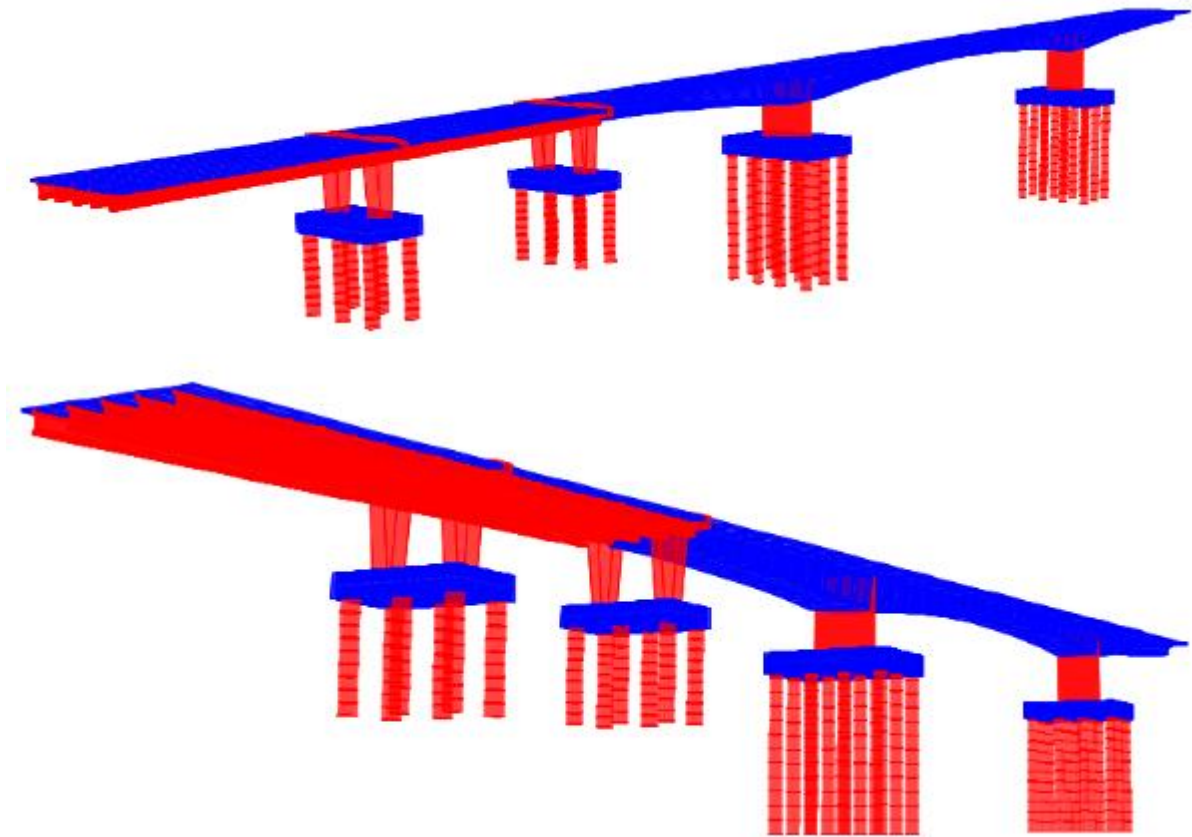


Figura 354 Esquema 3D - Puente San Pedro

8.7.4.2 Carga Viva Vehicular

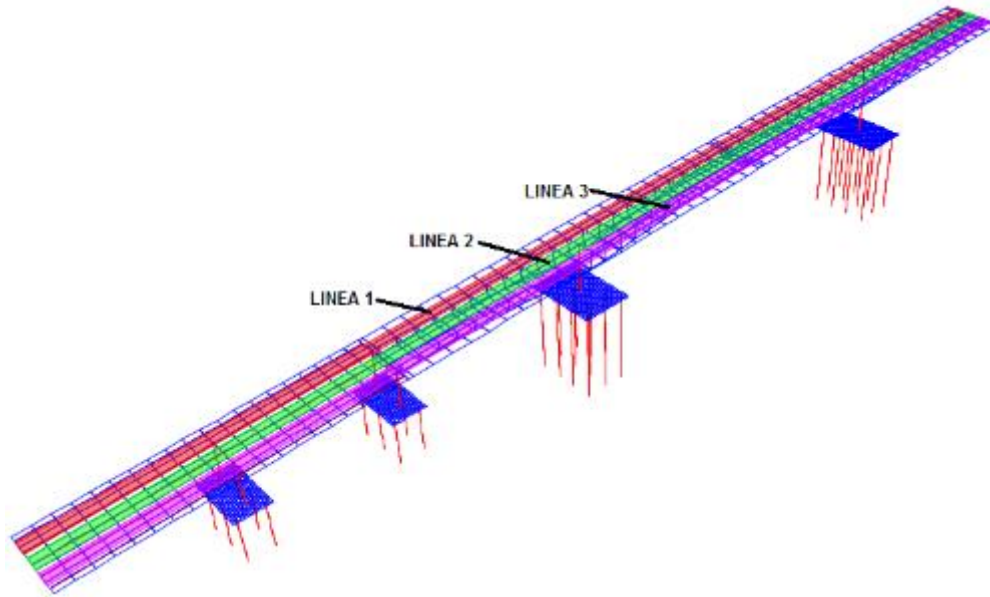


Figura 355 Líneas de carga CSI Bridge - Puente San Pedro

Vehicle Data - Vertical Loading

Uniform Load Scale Factor: 1.23 Axle Load Scale Factor: 1.23

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		14.8	Zero Width		160	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		14.8	Zero Width		160	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		14.8	Zero Width				

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Floating Axle Load Scale Factor: 1

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Ignore Vertical Loads if Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

Uniform Load Factor:

OK Cancel

Figura 356 Línea de tráfico para cortante C40-95 CSI Bridge L=30m - Puente San Pedro

Vehicle Data - Vertical Loading

Loads

Uniform Load Scale Factor: 1.19 Axle Load Scale Factor: 1.19

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		14.3	Zero Width		160.	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		14.3	Zero Width		160.	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite							

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Floating Axle Load Scale Factor: 1

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Ignore Vertical Loads If Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

Uniform Load Factor:

OK Cancel

Figura 357 Línea de tráfico para cortante C40-95 CSI Bridge L=45m - Puente San Pedro

Vehicle Data - Vertical Loading

Loads

Uniform Load Scale Factor: 1.12 Axle Load Scale Factor: 1.12

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		12.8	Zero Width		160.	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		12.8	Zero Width		160.	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		12.8	Zero Width				

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Floating Axle Load Scale Factor: 1

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Ignore Vertical Loads If Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

Uniform Load Factor:

OK Cancel

Figura 358 Línea de tráfico para cortante C40-95 CSI Bridge L=90m - Puente San Pedro

Vehicle Data - Vertical Loading

Uniform Load Scale Factor: 1.23 Axle Load Scale Factor: 1.23

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		14.9	Zero Width		120.	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		14.9	Zero Width		120.	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		14.9	Zero Width				

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Floating Axle Load Scale Factor: 1

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Ignore Vertical Loads if Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

Uniform Load Factor:

OK Cancel

Figura 359 Línea de tráfico para momento C40-95 CSI Bridge L=30m - Puente San Pedro

Vehicle Data - Vertical Loading

Uniform Load Scale Factor: 1.19 Axle Load Scale Factor: 1.19

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		14.15	Zero Width		120.	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		14.15	Zero Width		120.	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		14.15	Zero Width				

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Floating Axle Load Scale Factor: 1

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Ignore Vertical Loads if Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

Uniform Load Factor:

OK Cancel

Figura 360 Línea de tráfico para momento C40-95 CSI Bridge L=45m - Puente San Pedro

Vehicle Data - Vertical Loading

Uniform Load Scale Factor: 1.12 Axle Load Scale Factor: 1.12

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		11.9	Zero Width		120.	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		11.9	Zero Width		120.	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		11.9	Zero Width				

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0	One Point	
For Other Responses	0	One Point	

Floating Axle Load Scale Factor: 1

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Ignore Vertical Loads if Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

Uniform Load Factor:

OK Cancel

Figura 361 Línea de tráfico para momento C40-95 CSI Bridge L=90m - Puente San Pedro

8.7.5 Análisis Vigas Simplemente Apoyadas

8.7.5.1 Diagrama de momentos y cortantes (Unidades: kN-m)

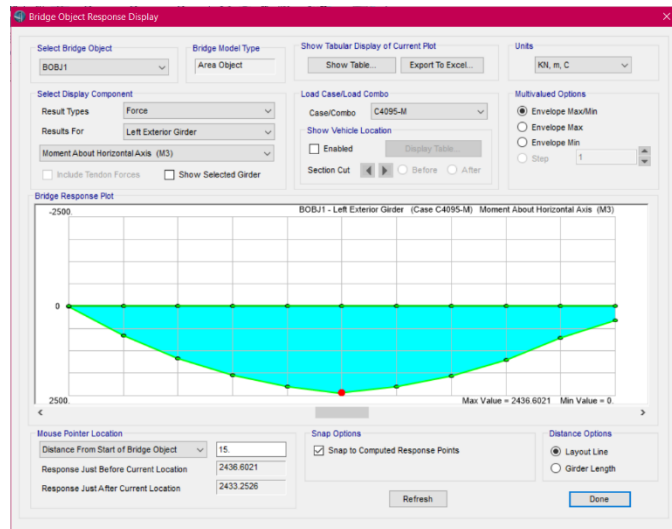


Figura 362 Momento carga viva vehicular L=30m - Puente San Pedro

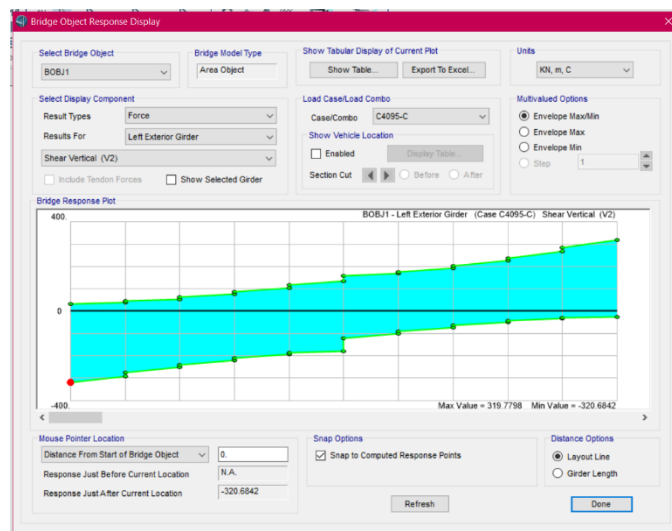


Figura 363 Cortante carga viva vehicular L=30m - Puente San Pedro

Con las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 5.1.1 se obtuvieron los diagramas de momentos y cortantes, para la envolvente de diseño.

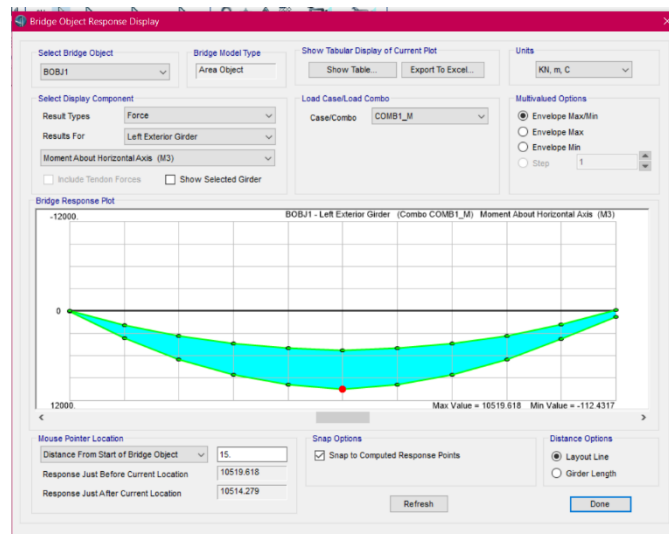


Figura 364 Momento por envolvente de diseño L=30m - Puente San Pedro

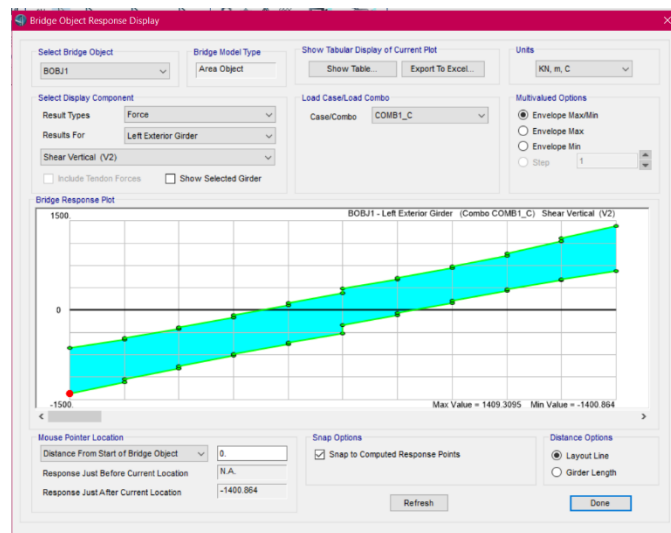


Figura 365 Cortante por envolvente de diseño L=30m - Puente San Pedro

8.7.6 Análisis Viga Continua

8.7.6.1 Diagrama de momentos y cortantes (Unidades: kN-m)

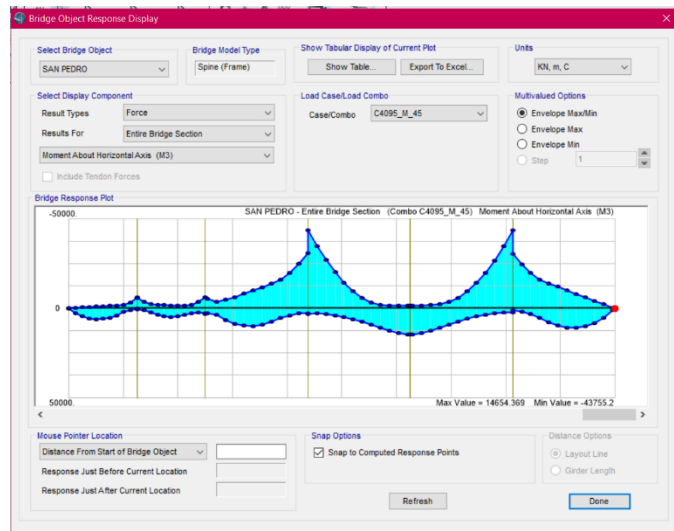


Figura 366 Momento carga viva vehicular – Viga continua - Puente San Pedro

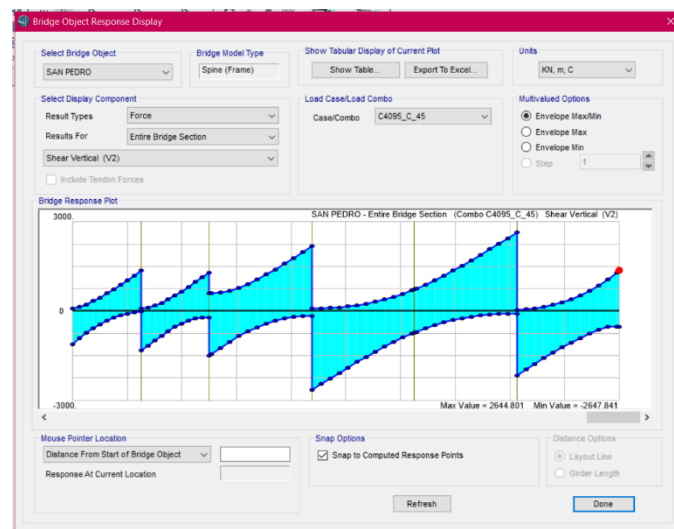


Figura 367 Cortante carga viva vehicular – Viga continua - Puente San Pedro

Con las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 5.1.1 se obtuvieron los diagramas de momentos y cortantes, para la envolvente de diseño.

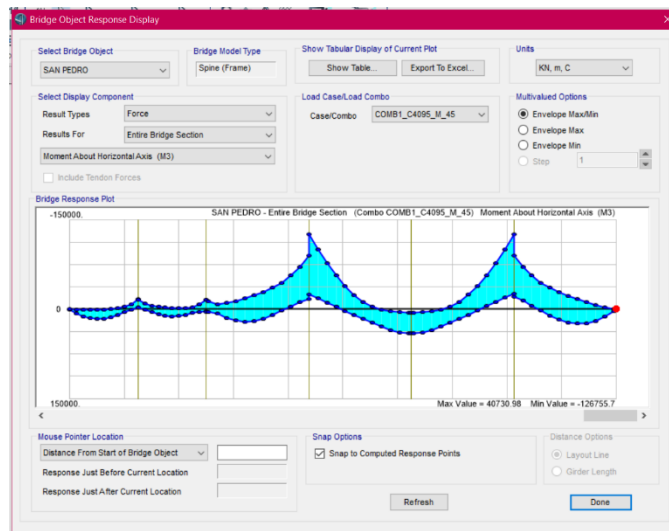


Figura 368 Momento por envolvente de diseño – Viga continua - Puente San Pedro

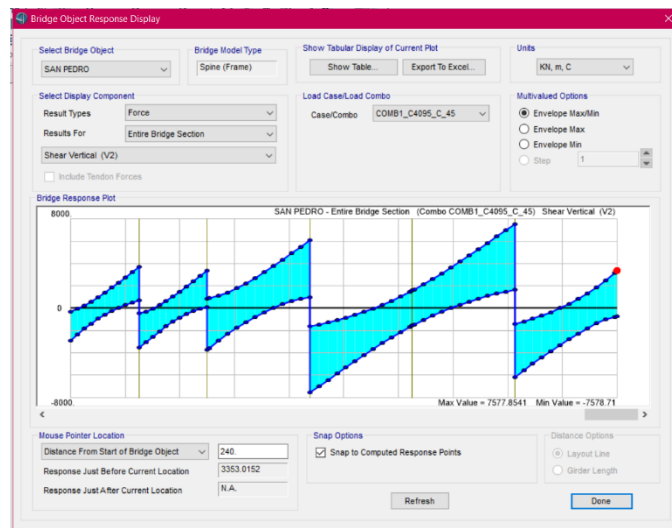


Figura 369 Cortante por envolvente de diseño – Viga continua - Puente San Pedro

8.7.7 Análisis de columnas

8.7.7.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

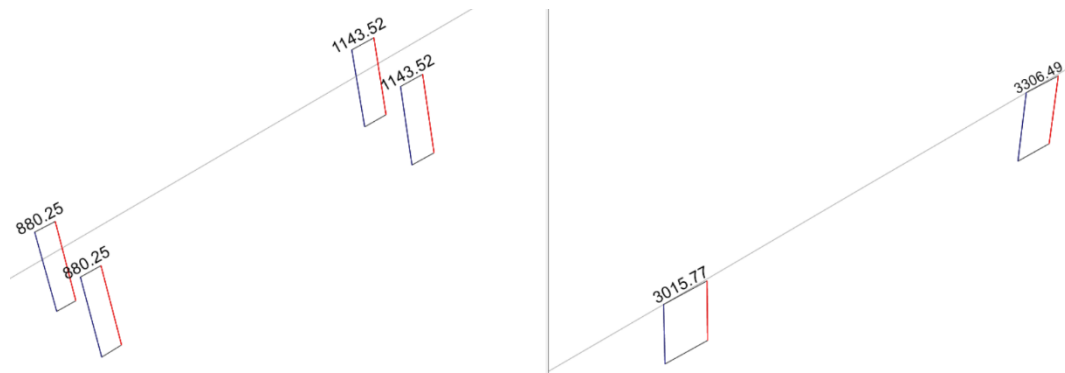


Figura 370 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente San Pedro

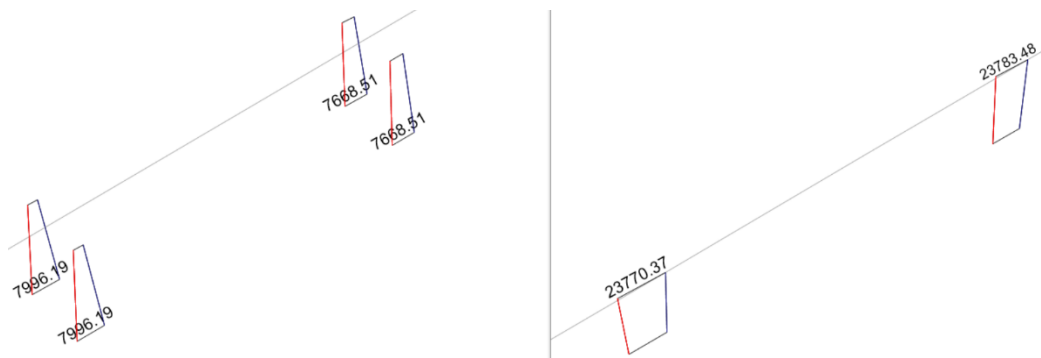


Figura 371 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro

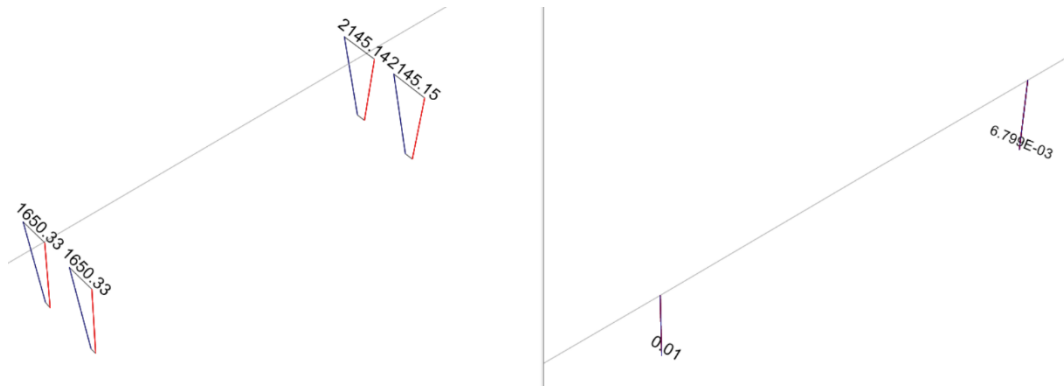


Figura 372 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro

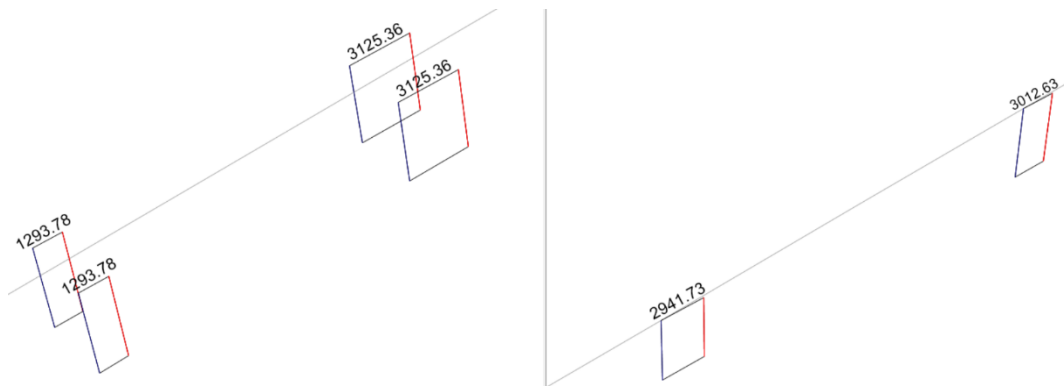


Figura 373 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal - Puente San Pedro

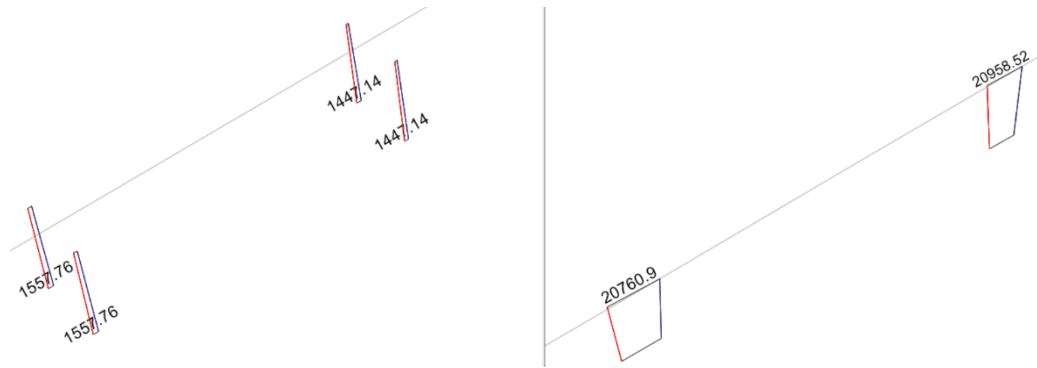


Figura 374 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente San Pedro

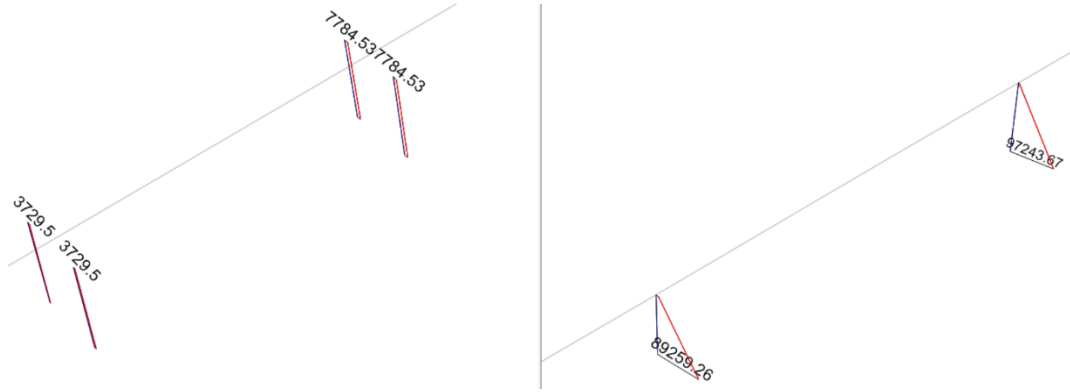


Figura 375 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente San Pedro

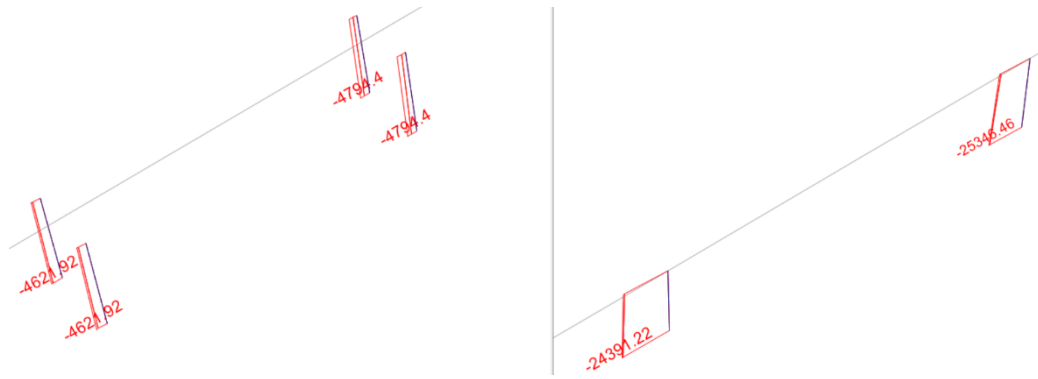


Figura 376 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente San Pedro

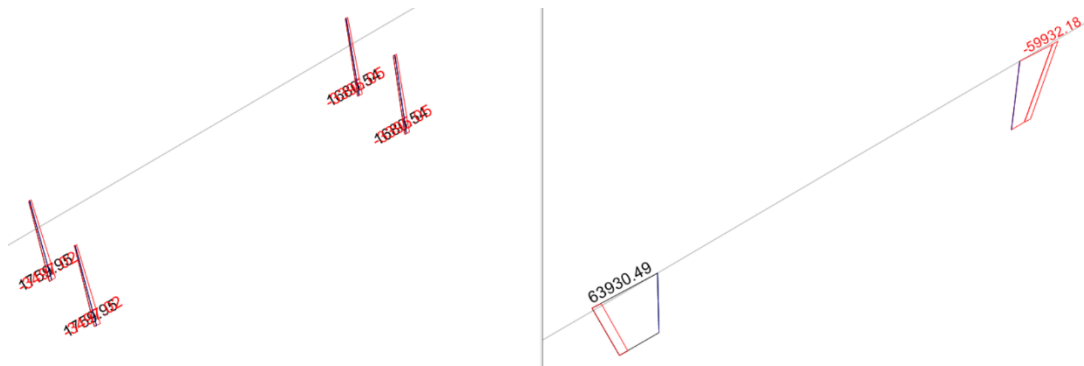


Figura 377 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro

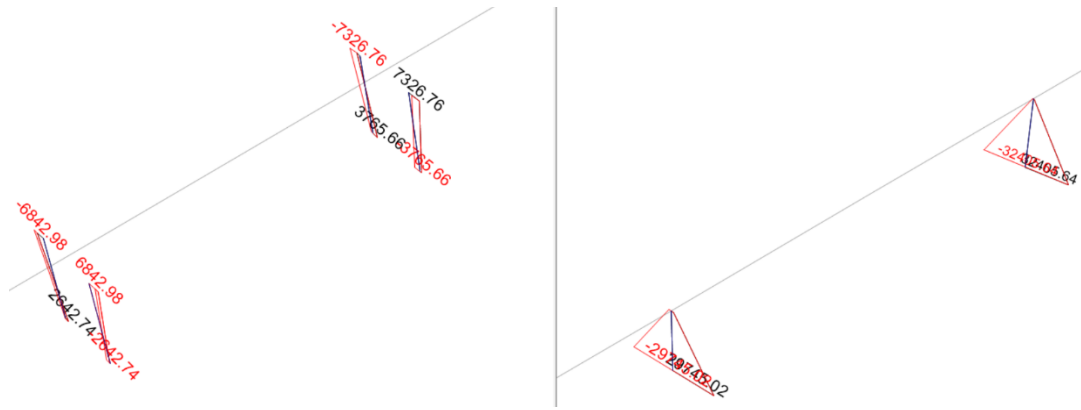


Figura 378 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro

8.7.8 Análisis de pilotes

8.7.8.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

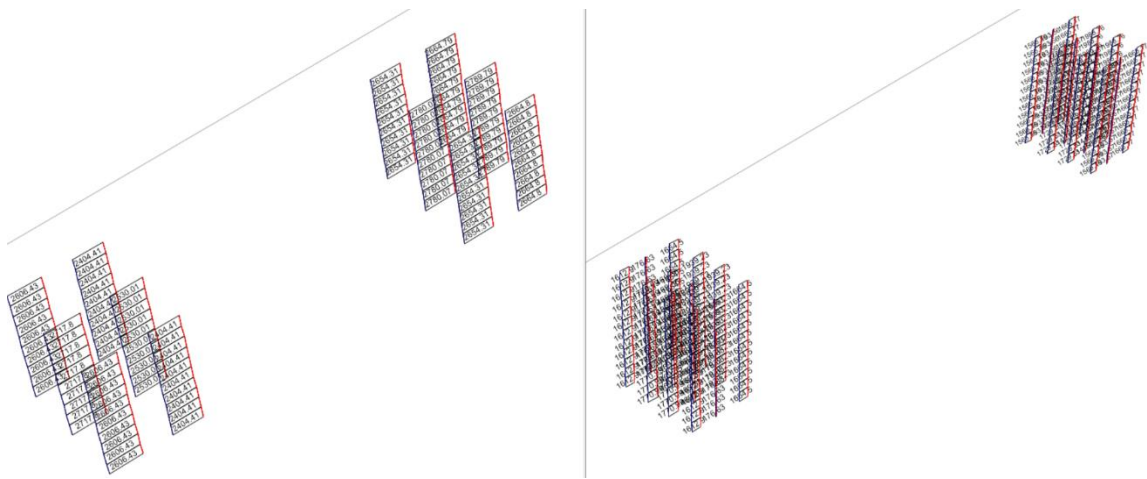


Figura 379 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente San Pedro

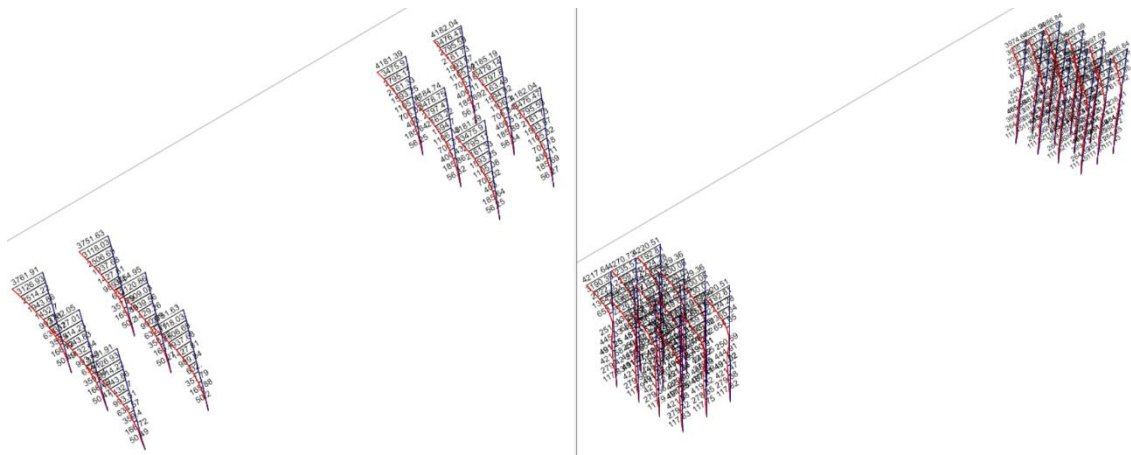


Figura 380 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro

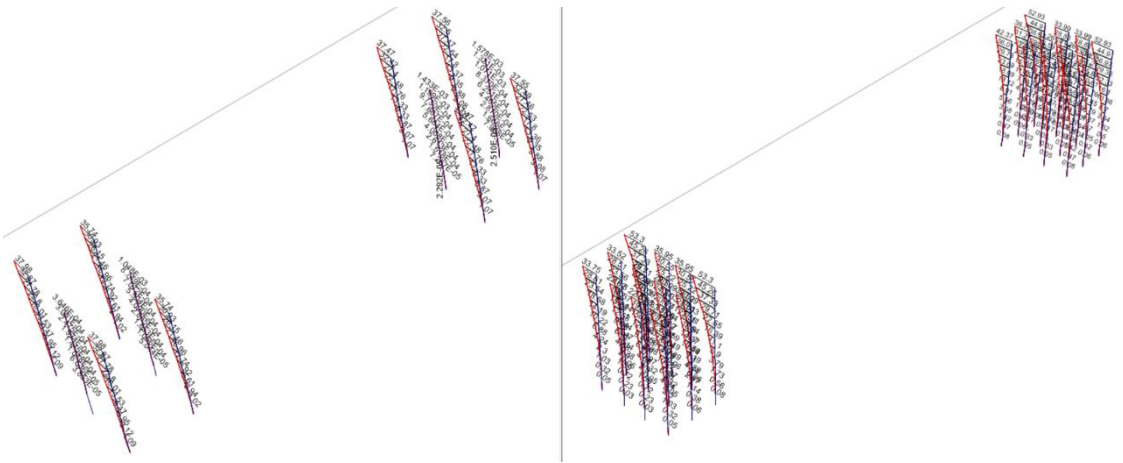


Figura 381 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro

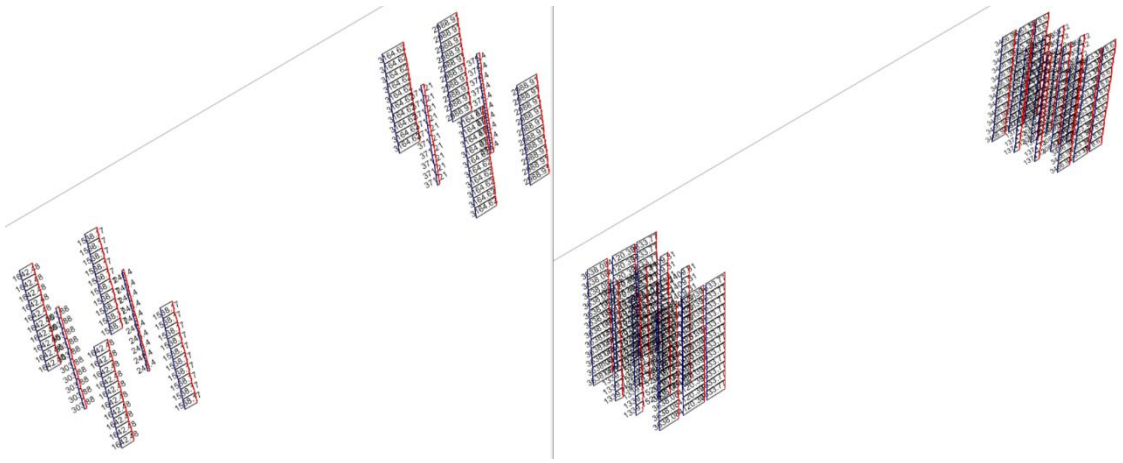


Figura 382 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal – Puente San Pedro

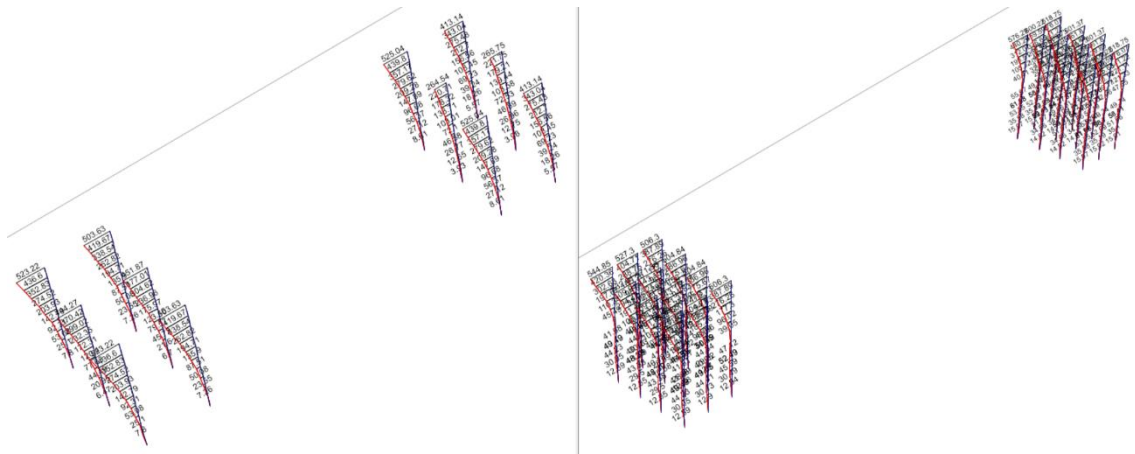


Figura 383 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente San Pedro

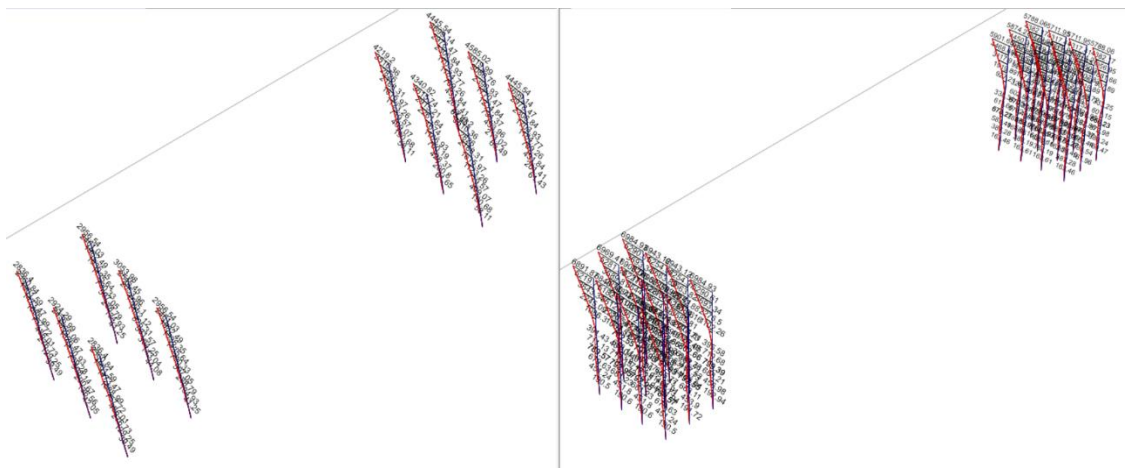


Figura 384 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente San Pedro

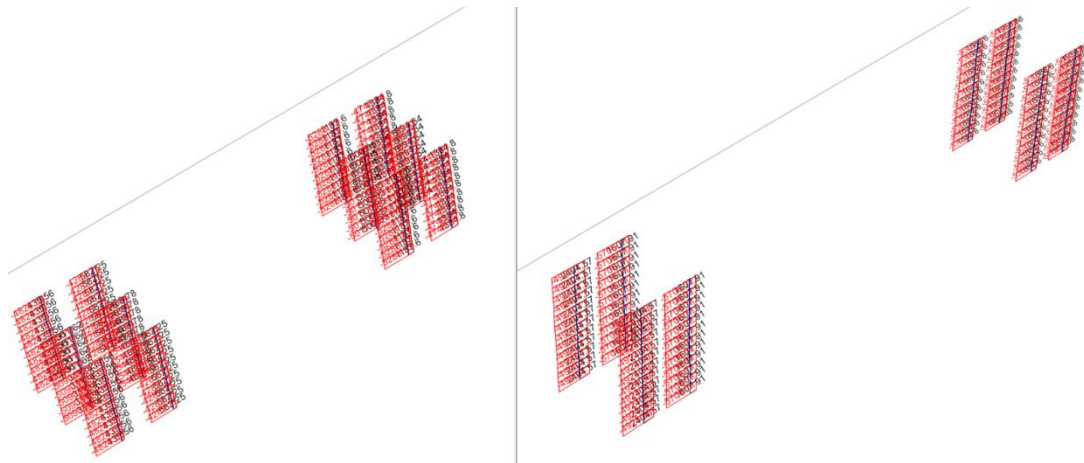


Figura 385 Diagrama de Carga Axial por Envolverte de Diseño – Puente San Pedro

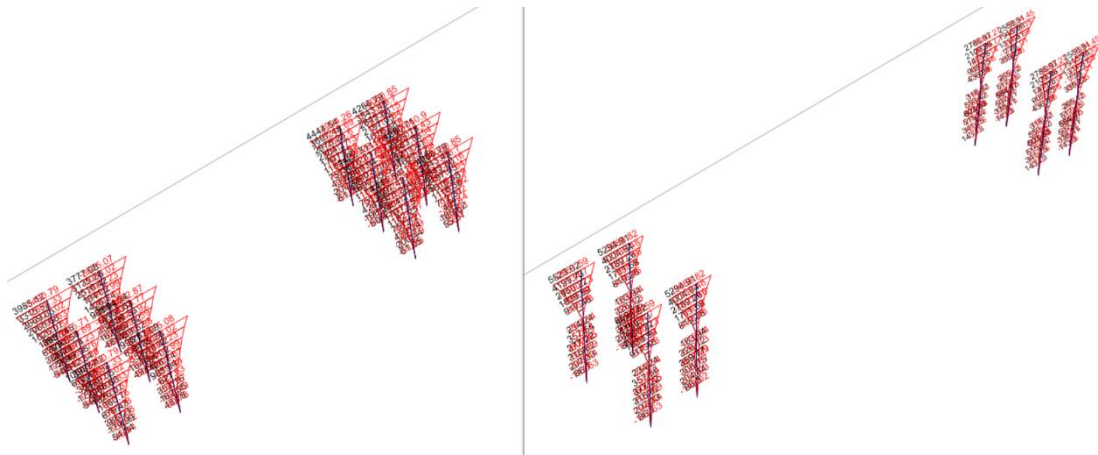
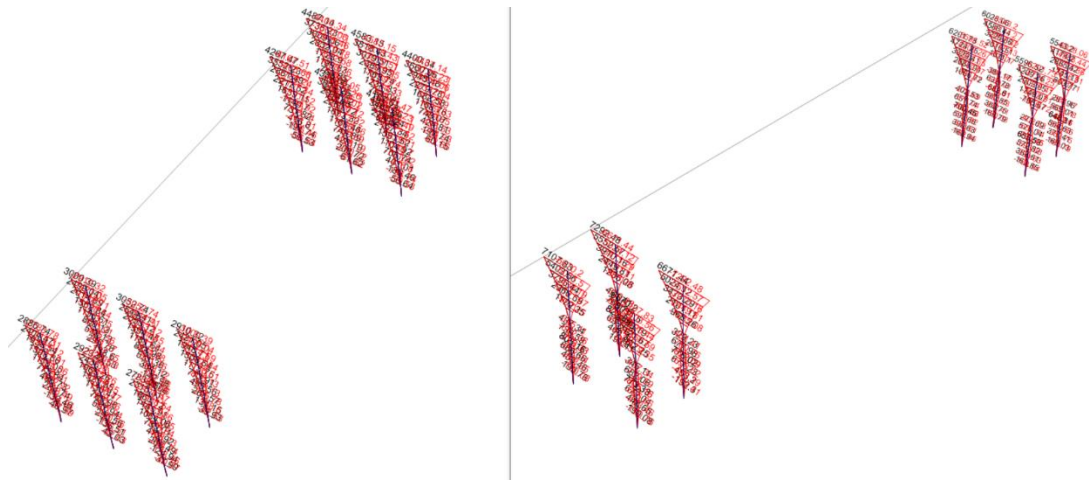


Figura 386 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolverte de Diseño - Puente San Pedro



**Figura 387 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño -
Puente San Pedro**

8.8 Puente San Pedro – CCP-14

8.8.1 Evaluación de cargas

8.8.1.1 Carga Viva (LL)

De acuerdo con el CCP-14 sección 3, se emplea el camión de diseño CC-14, el cual consiste en un camión propiamente dicho o tándem y una carga distribuida, como se explicó en el Numeral 6.1.4.1.

8.8.1.2 Factor de amplificación dinámica (IM)

Se consideró un factor de amplificación dinámica de 33%. Las juntas se diseñaron con un factor de 75%. Solo se aplicó a la porción correspondiente al camión o tándem y no a la carga de carril.

8.8.1.3 Factor de multi presencia

El análisis por carga viva se realizó teniendo en cuenta tres condiciones:

1. El paso de un solo camión, permitiéndole desplazarse transversalmente a través del ancho libre del puente, con un factor de 1.2.
2. El paso de dos camiones, permitiéndoles desplazarse transversalmente por la mitad del ancho libre del puente, con un factor de 1.0.
3. El paso de tres camiones, permitiéndoles desplazarse transversalmente por un tercio del ancho libre del puente, con un factor de 0.85.

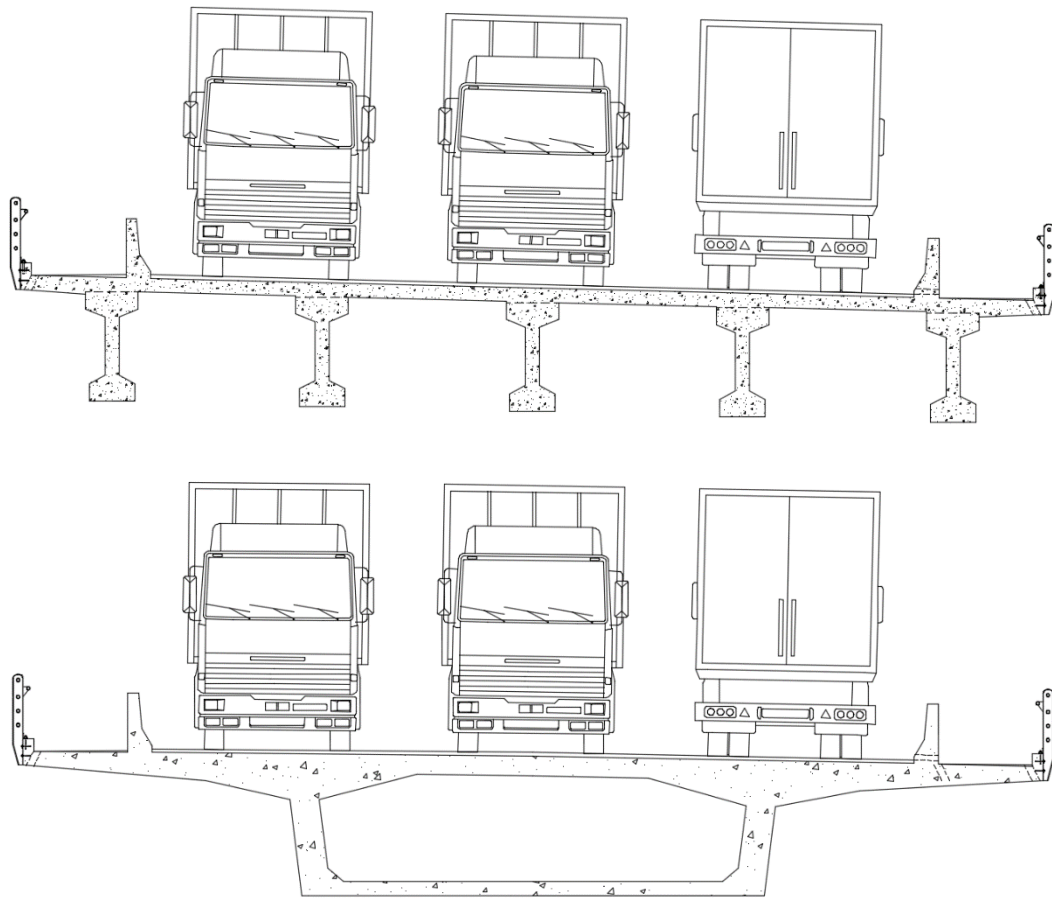


Figura 388 Número de carriles Puente San Pedro

8.8.2 Combinaciones de diseño

Para el análisis de la superestructura se obtuvieron los esfuerzos por la combinación de diseño Resistencia I.

La subestructura se analizó con la combinación de diseño Evento Extremo I.

8.8.3 Análisis sísmico

Los siguientes aspectos son importantes en el análisis sísmico.

- El puente vehicular se encuentra ubicado en cercanías del Municipio de San José del Fragua (Departamento del Caquetá), por lo que se emplea un coeficiente de aceleración pico del terreno $PGA= 0.25$, coeficiente de período corto $S_s=0.50$ y coeficiente de período largo $S_1=0.25$. Tipo de perfil del terreno C.
- El espectro empleado en el análisis estructural se presenta en la siguiente figura.

PGA	0.25
Ss	0.50
S1	0.25
FPGA	1.15
Fa	1.20
Fv	1.55

As	0.29
SDS	0.60
SD1	0.39
TS	0.65
To	0.13

Espectro de Aceleraciones de Diseño para 5% de amortiguamiento

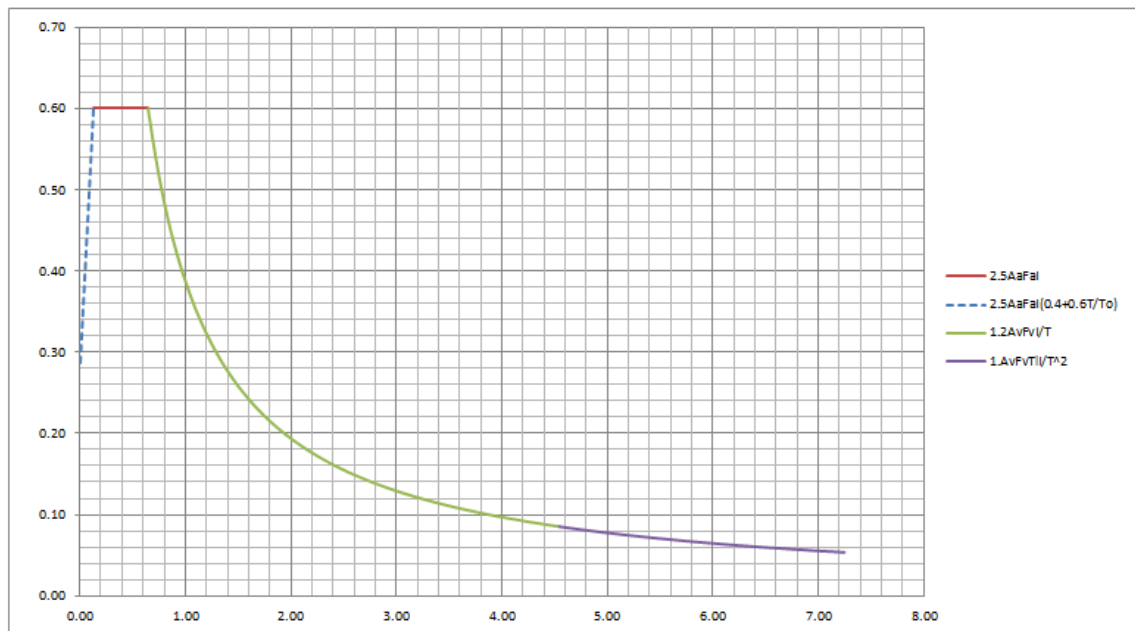


Figura 389 Espectro de diseño Puente San Pedro CCP-14

8.8.4 Entrada de datos al programa CSI Bridge

8.8.4.1 Esquema 3D

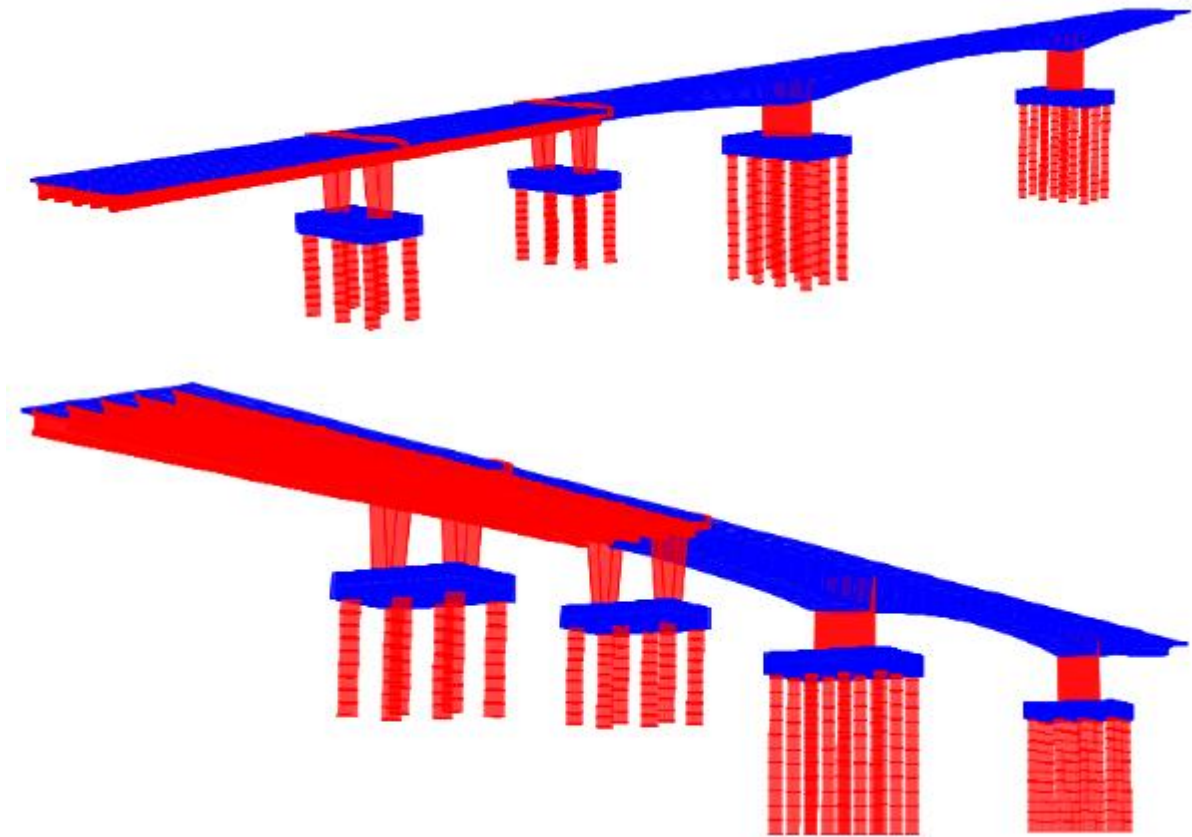


Figura 390 Esquema 3D - Puente San Pedro

8.8.4.2 Carga Viva Vehicular

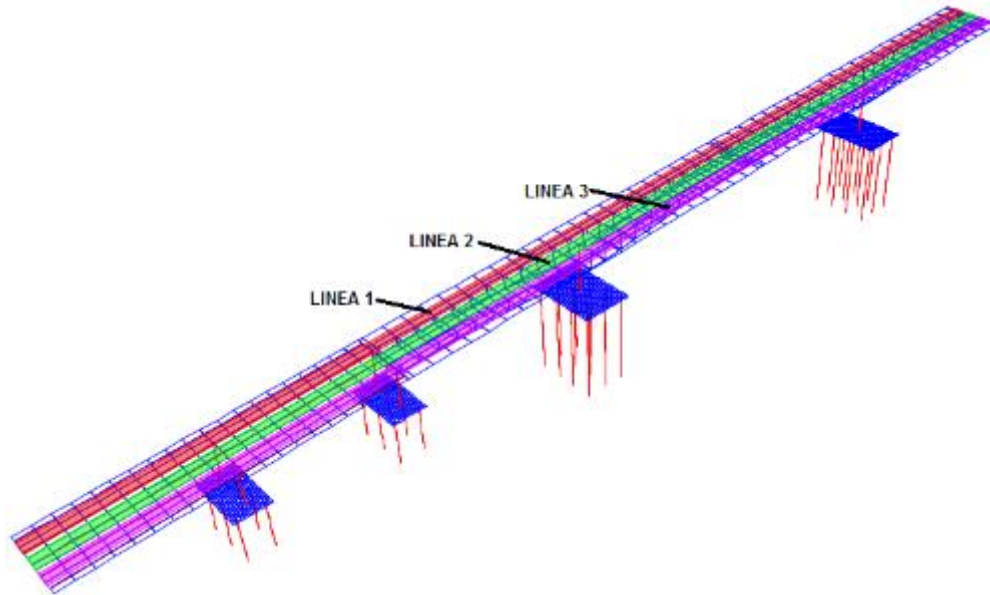


Figura 391 Líneas de carga CSI Bridge - Puente San Pedro

General Vehicle Data

Vehicle name: CCP-14CAMPOS Units: KN, m, C

Floating Axle Loads

For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: 1

For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: 1

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span

Usage

Lane Negative Moments at Supports

Interior Vertical Support Forces

All other

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048

Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects

Axle: None

Uniform: None

Load Plan

Load Elevation

Load	Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		10.3	10.3	Fixed Width	3.048	53.2	Two Points	1.8288
Leading Load	Infinite		10.3	10.3	Fixed Width	3.048	53.2	Two Points	1.8288
Fixed Length	4.2672		10.3	10.3	Fixed Width	3.048	212.8	Two Points	1.8288
Variable Length	4.2672	9.144	10.3	10.3	Fixed Width	3.048	212.8	Two Points	1.8288
Trailing Load	Infinite		10.3	10.3	Fixed Width	3.048	212.8	Two Points	1.8288

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 392 Carga de camión CC-14 + Carril CSI Bridge - Puente San Pedro

General Vehicle Data

Vehicle name: CCP-14TANDEN Units: KN, m, C

Floating Axle Loads

For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: 1.
 For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: 1.

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects

Axle: None
 Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		10.3	Fixed Width	3.048	166.25	Two Points	1.8288
Leading Load	Infinite		10.3	Fixed Width	3.048	166.25	Two Points	1.8288
Fixed Length	1.2192		10.3	Fixed Width	3.048	166.25	Two Points	1.8288
Trailing Load	Infinite		10.3	Fixed Width	3.048	166.25	Two Points	1.8288

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 393 Carga de tándem CC-14 + Carril CSI Bridge - Puente San Pedro

Vehicle Data - Vertical Loading

Loads

Uniform Load Scale Factor: 1 Axle Load Scale Factor: 1

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		10.2999	Fixed Width	3.	53.2001	Two Points	1.8
Leading Load	Infinite		10.2999	Fixed Width	3.	53.2001	Two Points	1.8
Fixed Length	4.2672		10.2999	Fixed Width	3.	212.8004	Two Points	1.8
Fixed Length	4.2672		10.2999	Fixed Width	3.	212.8004	Two Points	1.8
Variable Length	15.24	0. (Infinite)	10.2999	Fixed Width	3.	53.2001	Two Points	1.8
Fixed Length	4.2672		10.2999	Fixed Width	3.	212.8004	Two Points	1.8
Fixed Length	4.2672		10.2999	Fixed Width	3.	212.8004	Two Points	1.8
Trailing Load	Infinite		10.2999	Fixed Width	3.048	212.8004	Two Points	1.8

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments
 Ignore Vertical Loads If Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Floating Axle Loads

For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width:
 For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width:
 Floating Axle Load Scale Factor: 1

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:
 Uniform Load Factor:

OK Cancel

Figura 394 Carga de dos camiones CC-14 + Carril CSI Bridge - Puente San Pedro

8.8.5 Análisis Vigas Simplemente Apoyadas

8.8.5.1 Diagrama de momentos y cortantes (Unidades: kN-m)

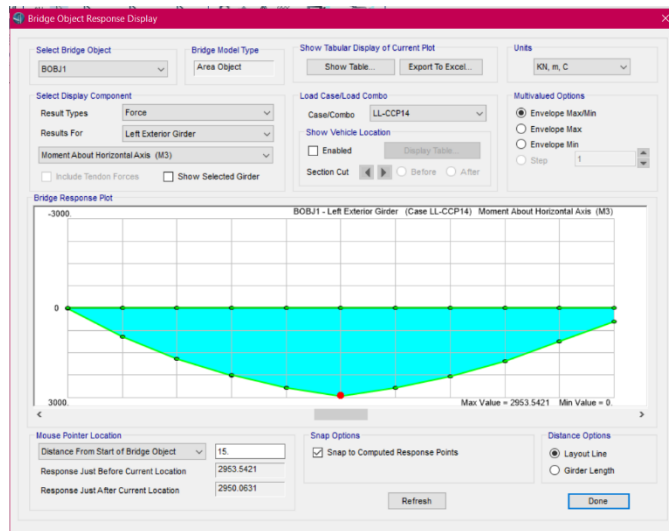


Figura 395 Momento carga viva vehicular L=30m - Puente San Pedro

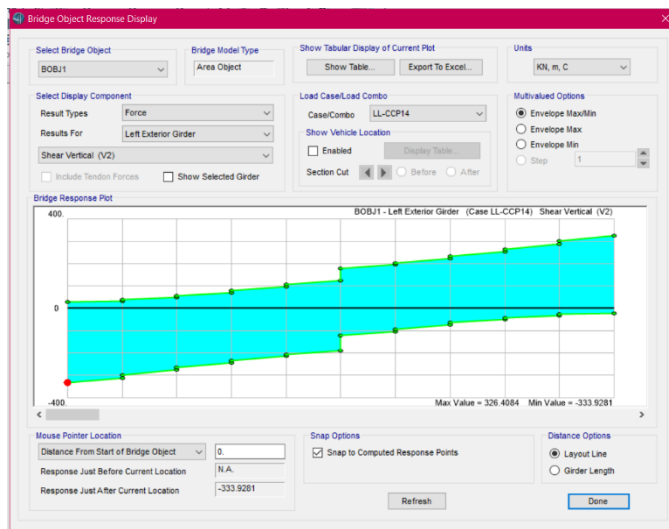


Figura 396 Cortante carga viva vehicular L=30m - Puente San Pedro

Con las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 6.1.3 se obtuvieron los diagramas de momentos y cortantes, para la envolvente de diseño.

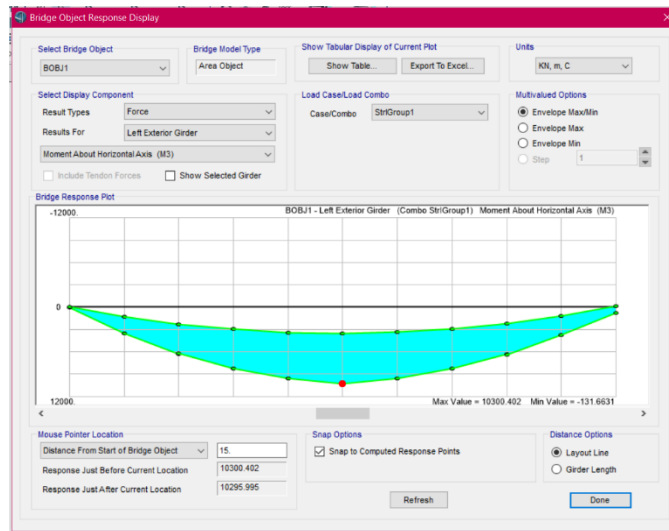


Figura 397 Momento por envolvente de diseño L=30m - Puente San Pedro

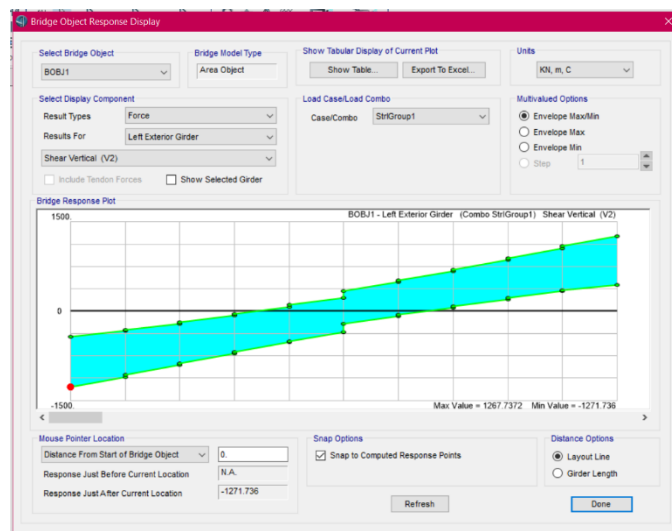


Figura 398 Cortante por envolvente de diseño L=30m - Puente San Pedro

8.8.6 Análisis Viga Continua

8.8.6.1 Diagrama de momentos y cortantes (Unidades: kN-m)

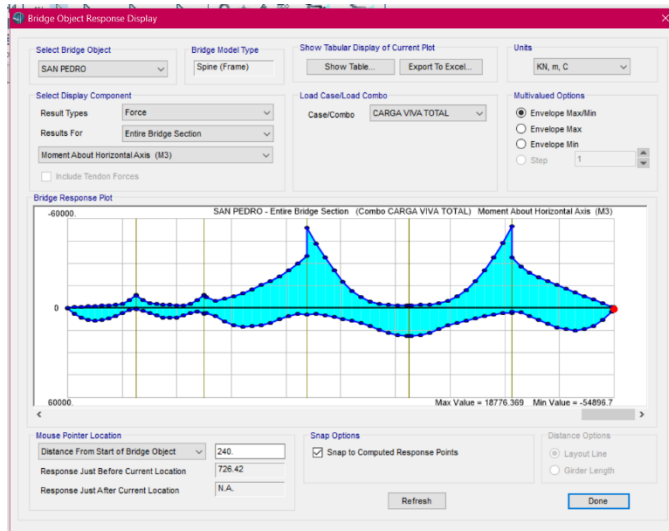


Figura 399 Momento carga viva vehicular Viga continua - Puente San Pedro

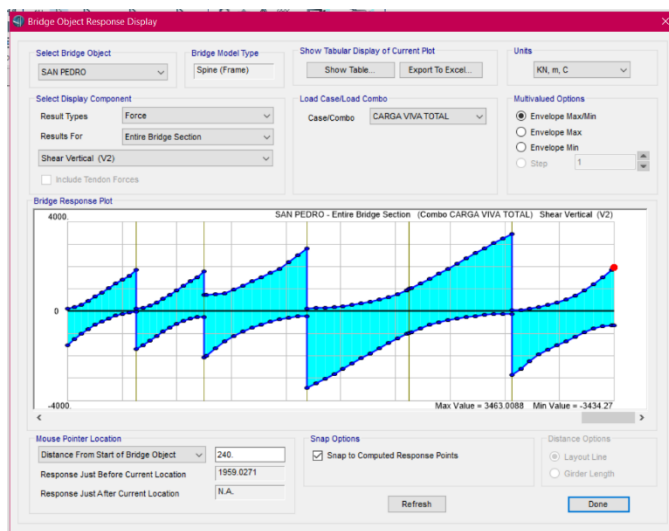


Figura 400 Cortante carga viva vehicular Viga continua - Puente San Pedro

Con las combinaciones de carga establecidas en el capítulo 6.1.3 se obtuvieron los diagramas de momentos y cortantes, para la envolvente de diseño.

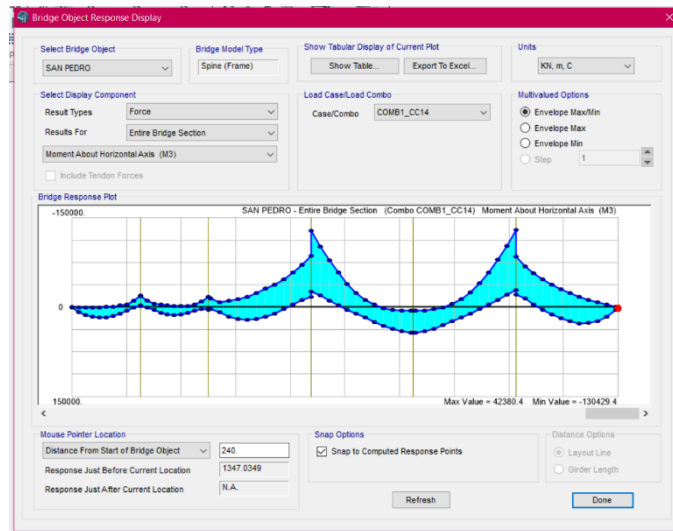


Figura 401 Momento por envolvente de diseño Viga continua - Puente San Pedro

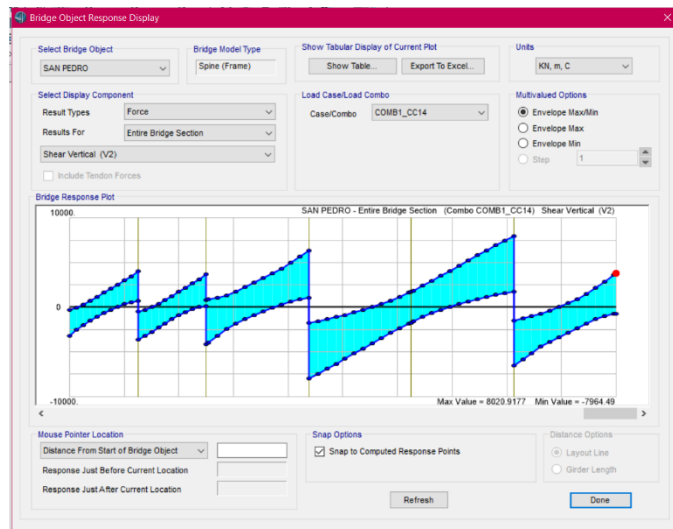


Figura 402 Cortante por envolvente de diseño Viga continua - Puente San Pedro

8.8.7 Análisis de columnas

8.8.7.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

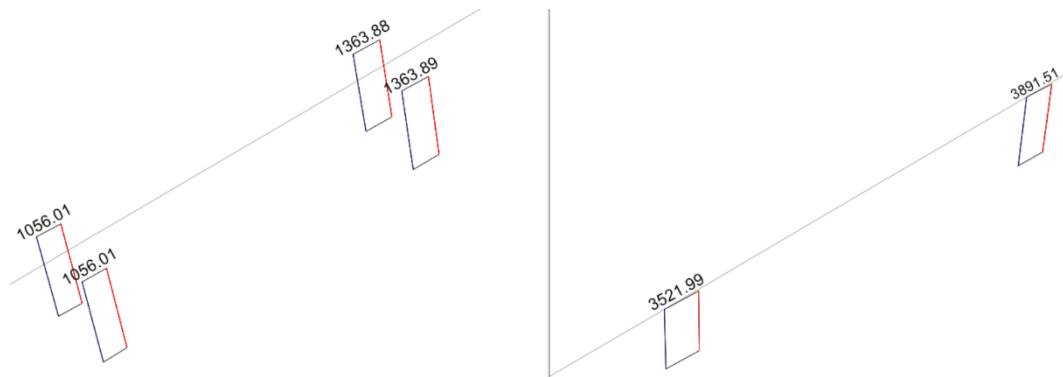


Figura 403 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente San Pedro

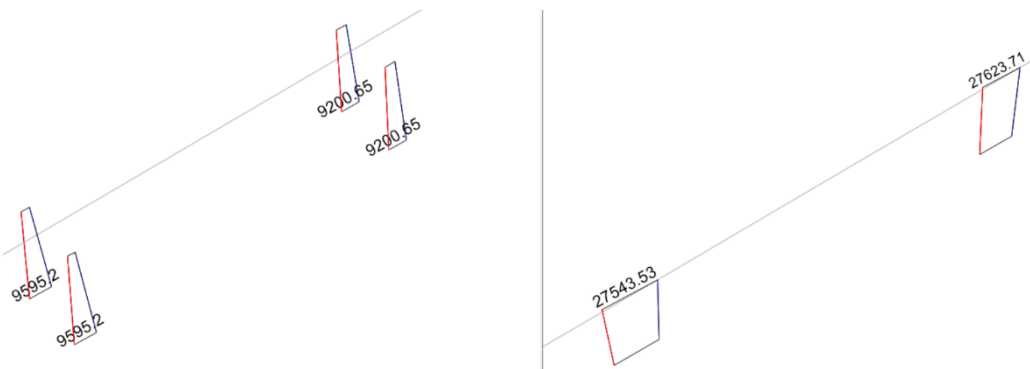


Figura 404 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro

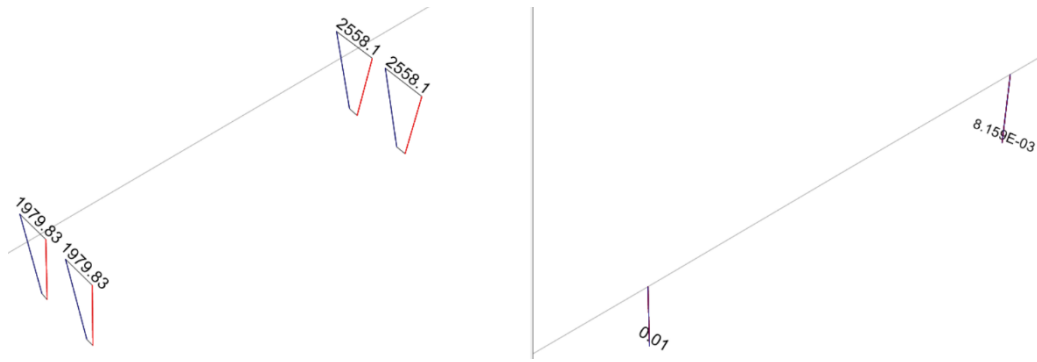


Figura 405 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro

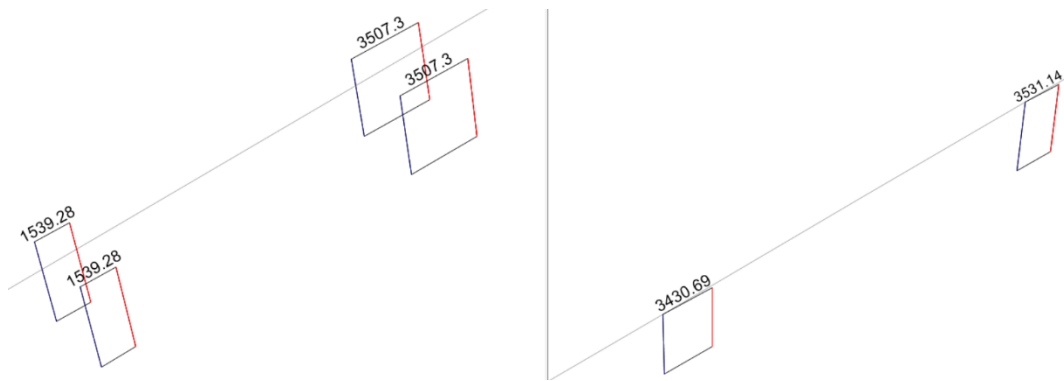


Figura 406 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal - Puente San Pedro

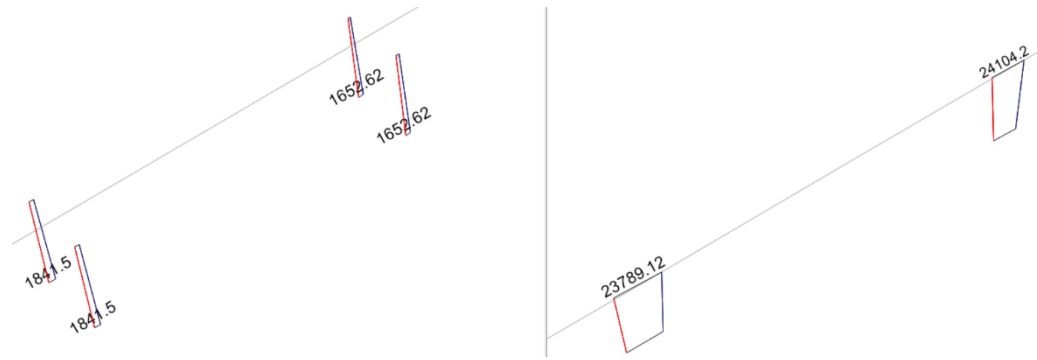


Figura 407 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente San Pedro

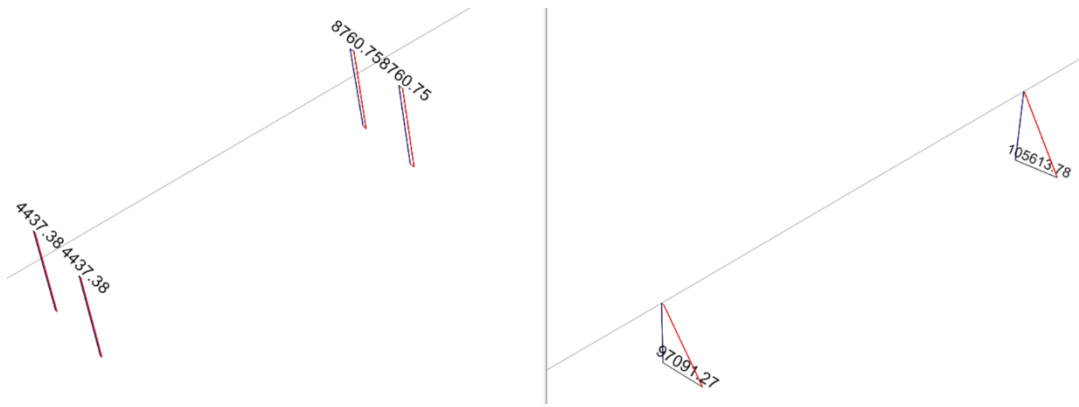


Figura 408 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente San Pedro

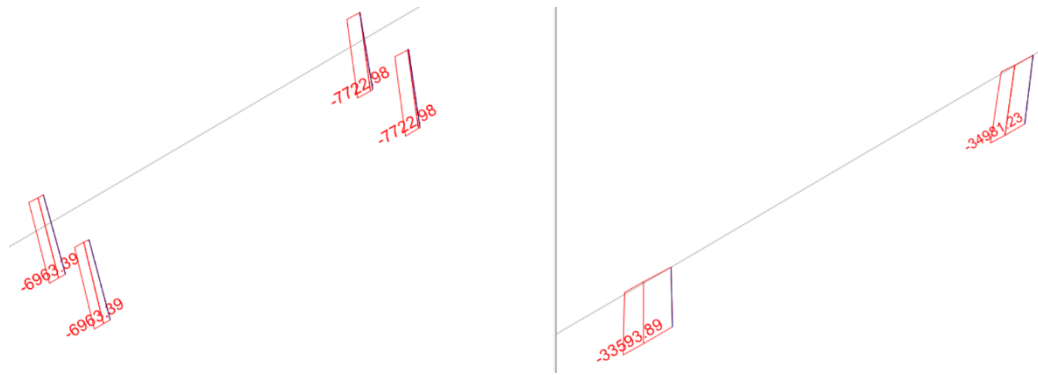


Figura 409 Diagrama de Carga Axial por Envolvente de Diseño – Puente San Pedro

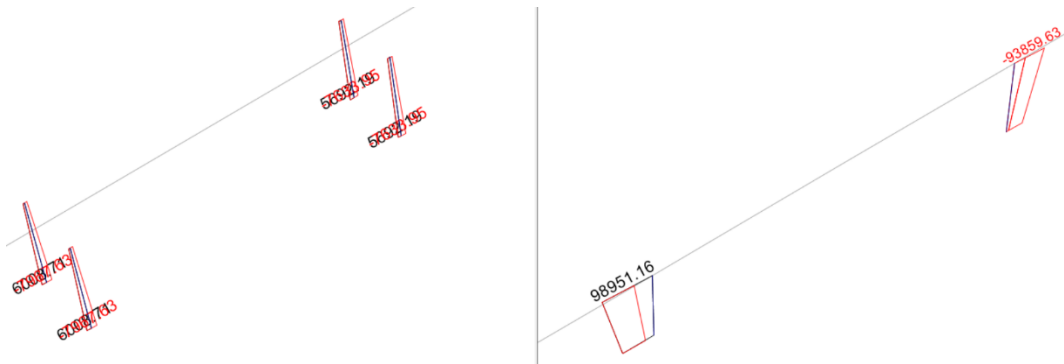


Figura 410 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro

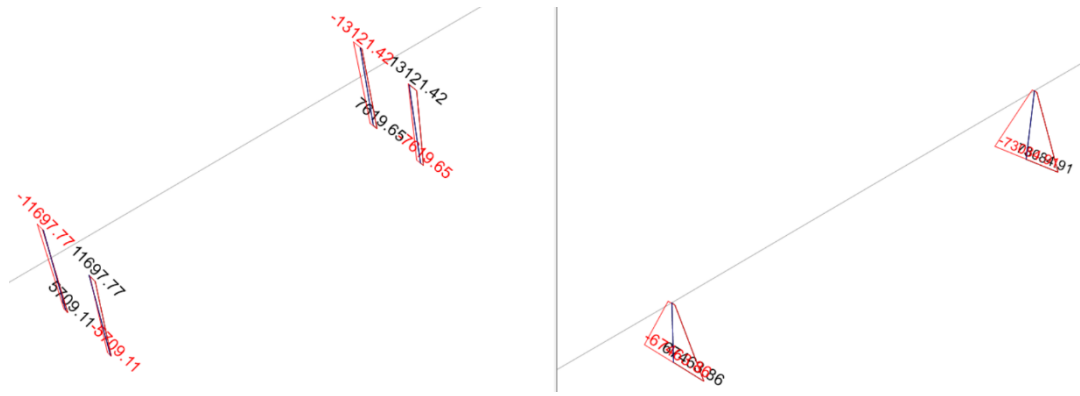


Figura 411 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño - Puente San Pedro

8.8.8 Análisis de pilotes

8.8.8.1 Diagrama de Momentos y Axiales (Unidades: kN-m)

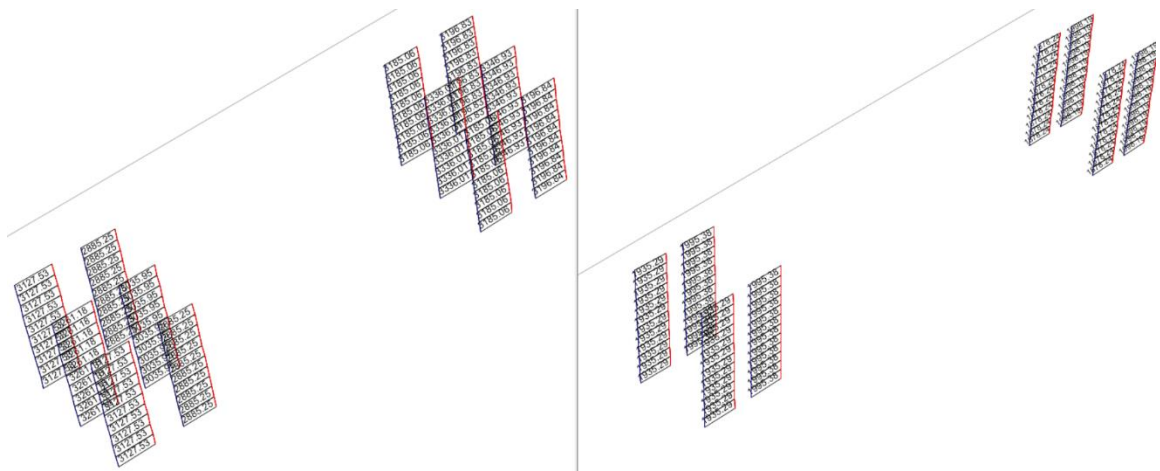


Figura 412 Diagrama de Carga Axial por Sismo Longitudinal – Puente San Pedro

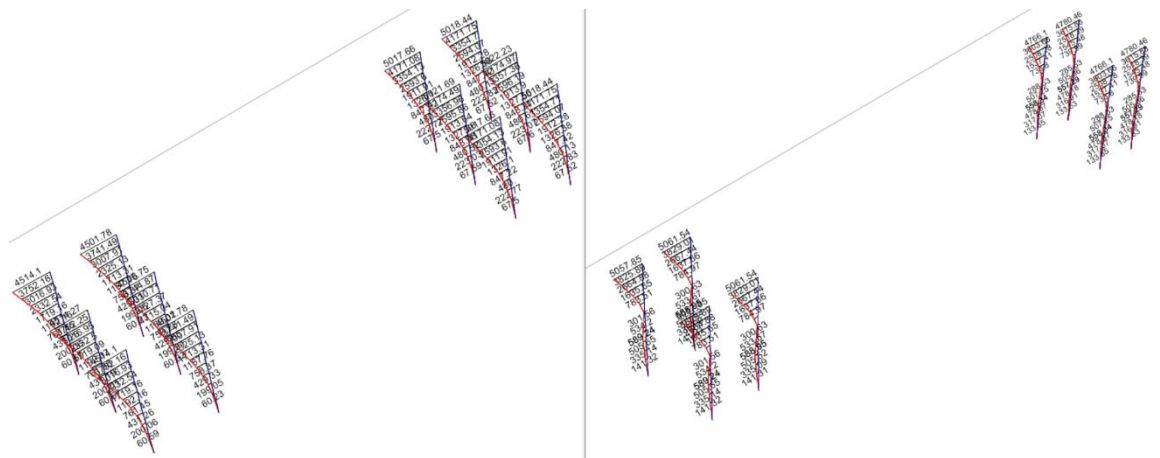


Figura 413 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro

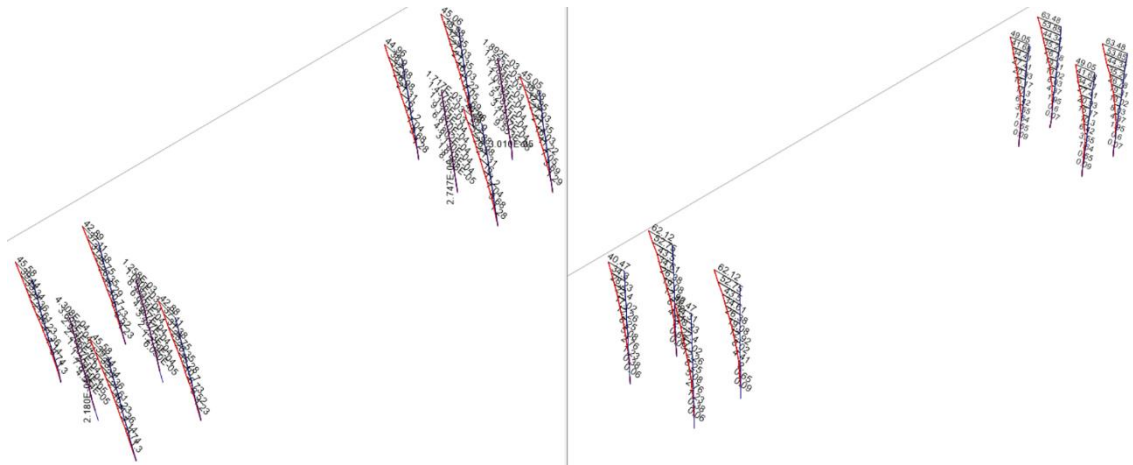


Figura 414 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Longitudinal - Puente San Pedro

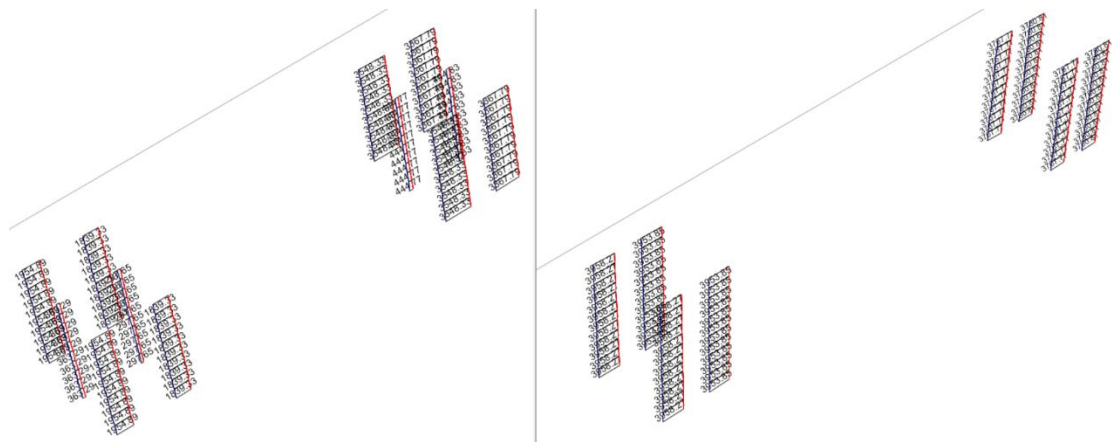


Figura 415 Diagrama de Carga Axial por Sismo Transversal - Puente San Pedro

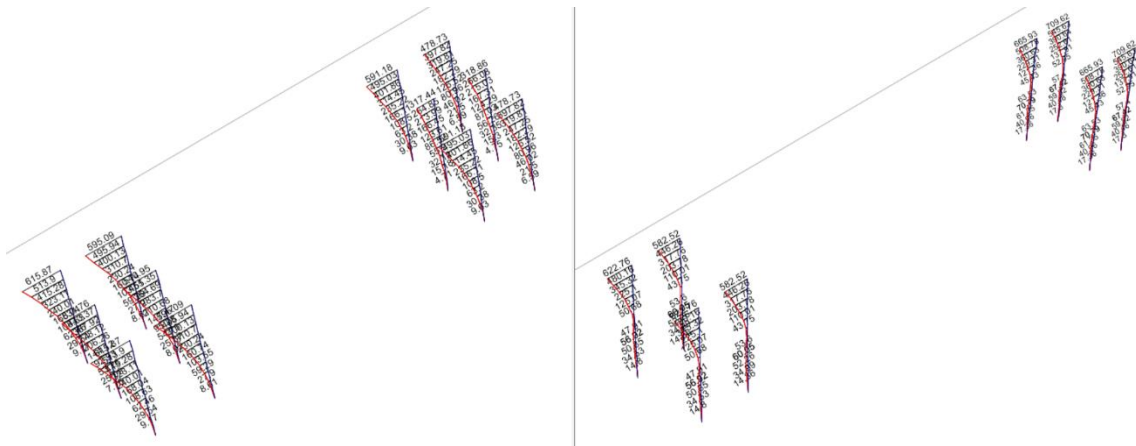


Figura 416 Diagrama de Momentos Longitudinales por Sismo Transversal - Puente San Pedro

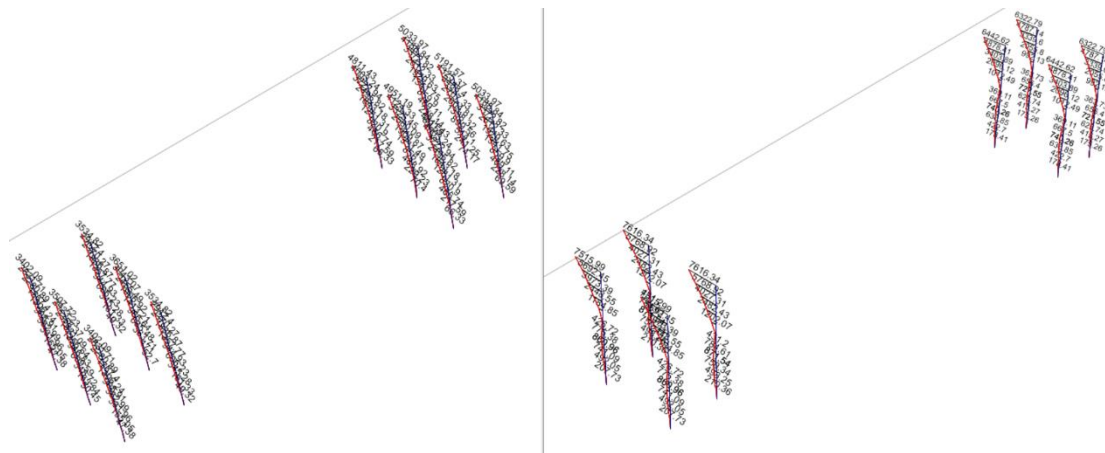


Figura 417 Diagrama de Momentos Transversales por Sismo Transversal - Puente San Pedro

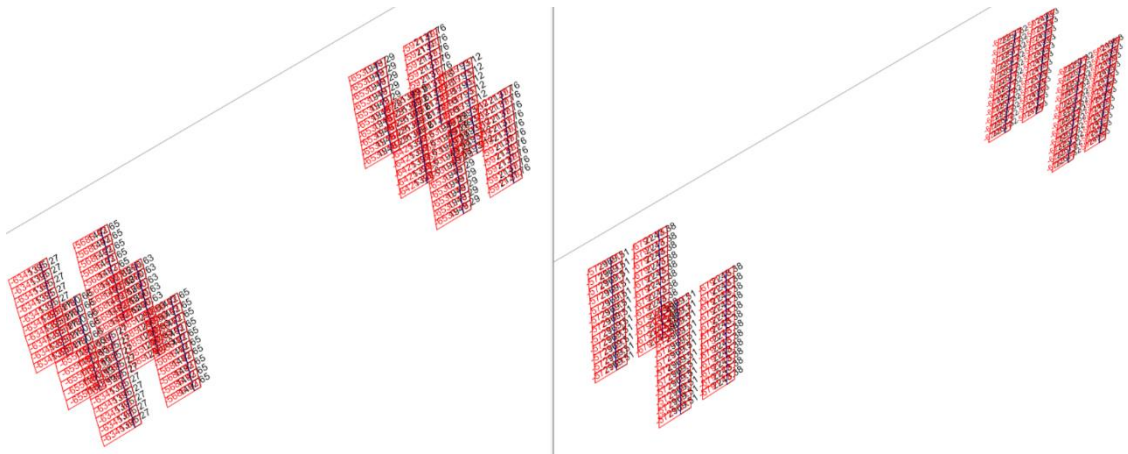


Figura 418 Diagrama de Carga Axial por Envolverte de Diseño – Puente San Pedro

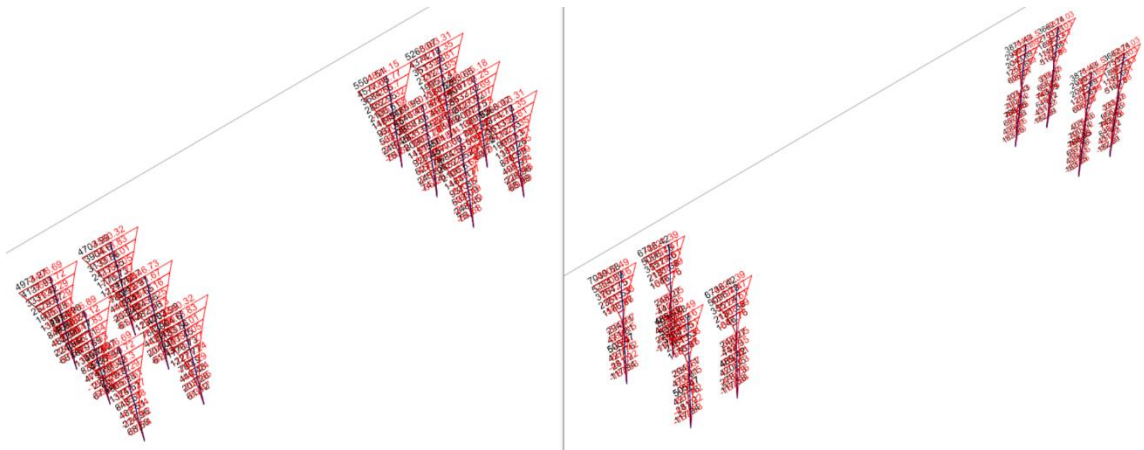
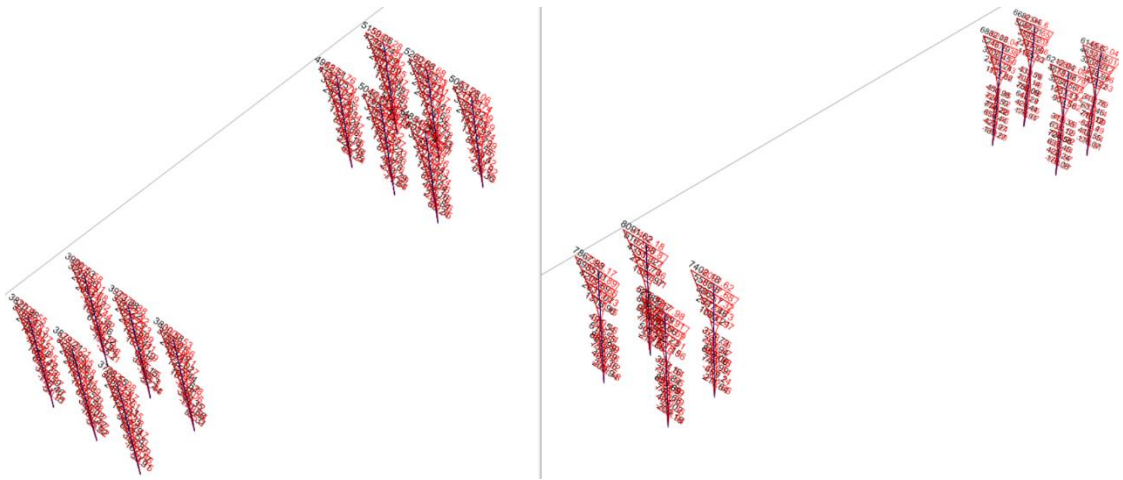


Figura 419 Diagrama de Momentos Longitudinales por Envolverte de Diseño - Puente San Pedro



**Figura 420 Diagrama de Momentos Transversales por Envolvente de Diseño -
Puente San Pedro**

8.9 Puente San Pedro - Comparación

Carga Viva Uno de los cambios considerables del CCP-14 con respecto al CCDSP-95 es la carga viva.

A continuación, se presenta una gráfica comparativa de los momentos y cortantes obtenidos para el Puente San Pedro, con las dos normativas.

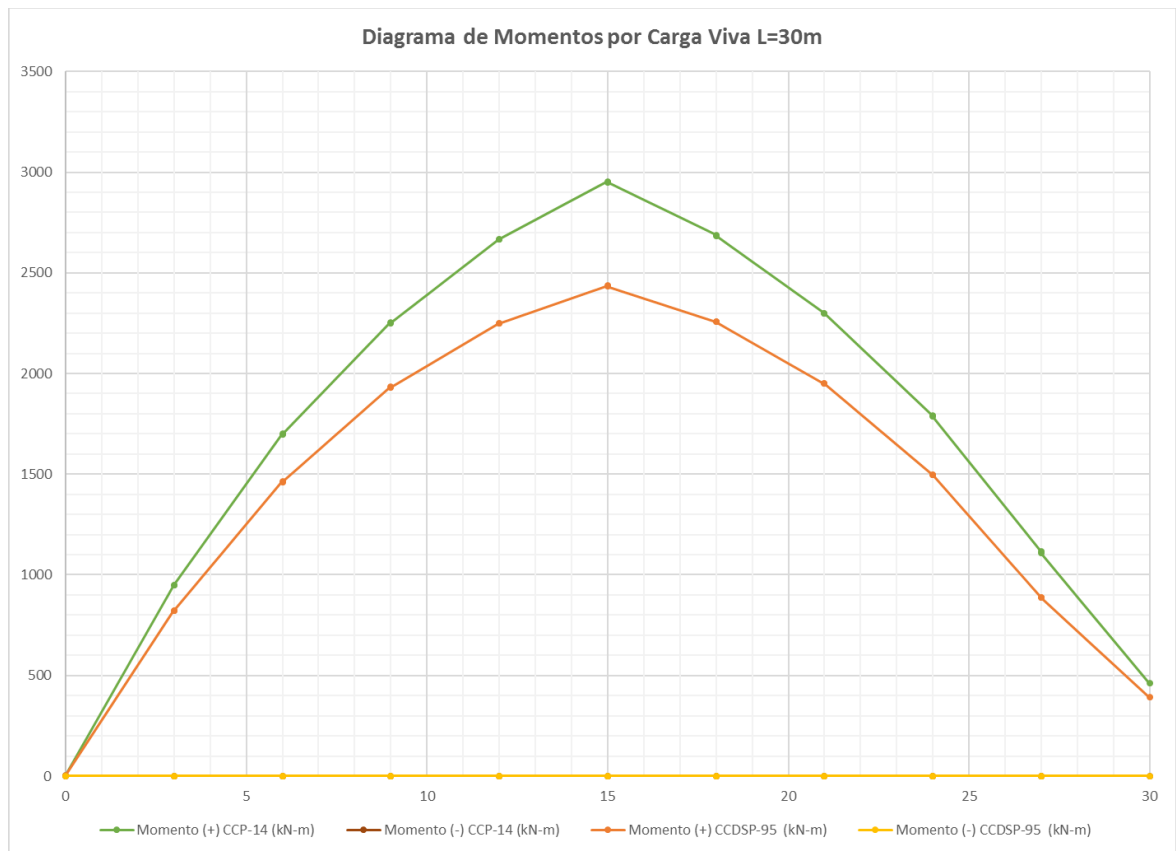


Figura 421 Comparación de diagramas de momentos por carga viva L=30m Puente San Pedro

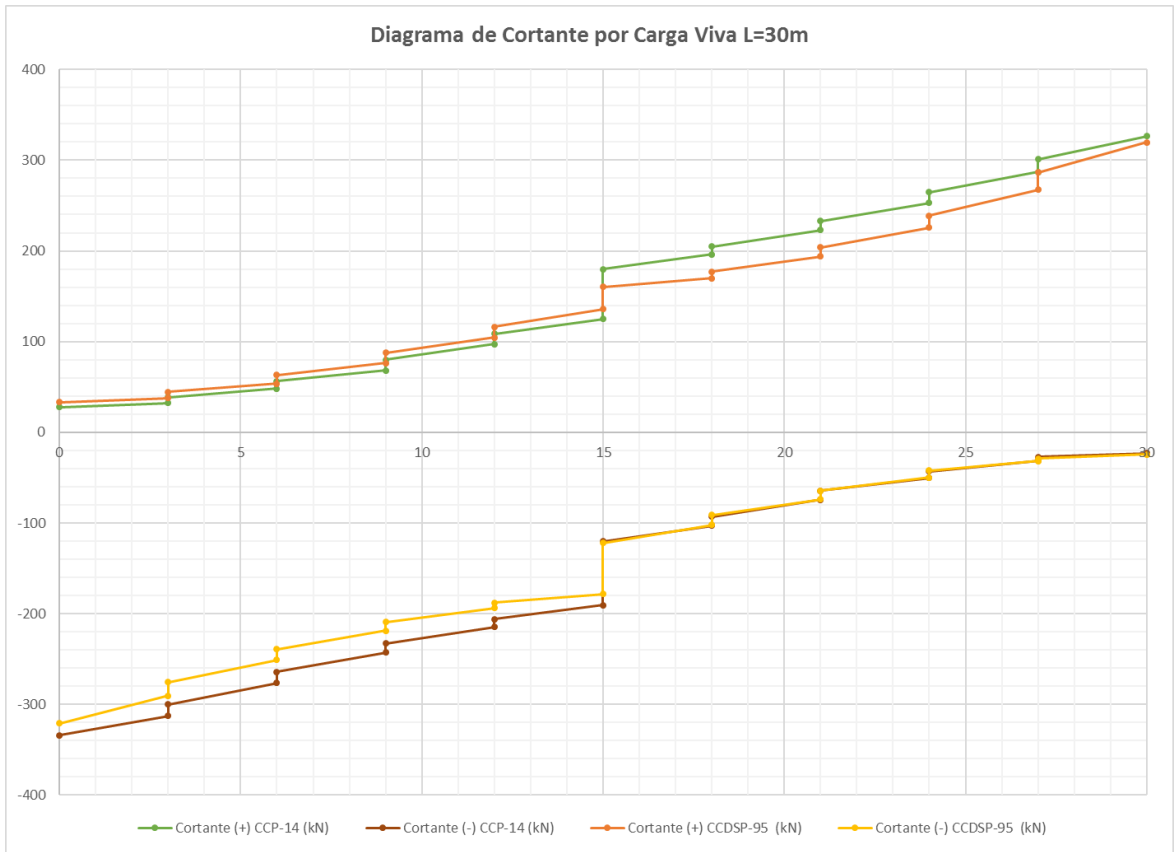


Figura 422 Comparación de diagramas de cortante por carga viva L=30m Puente San Pedro

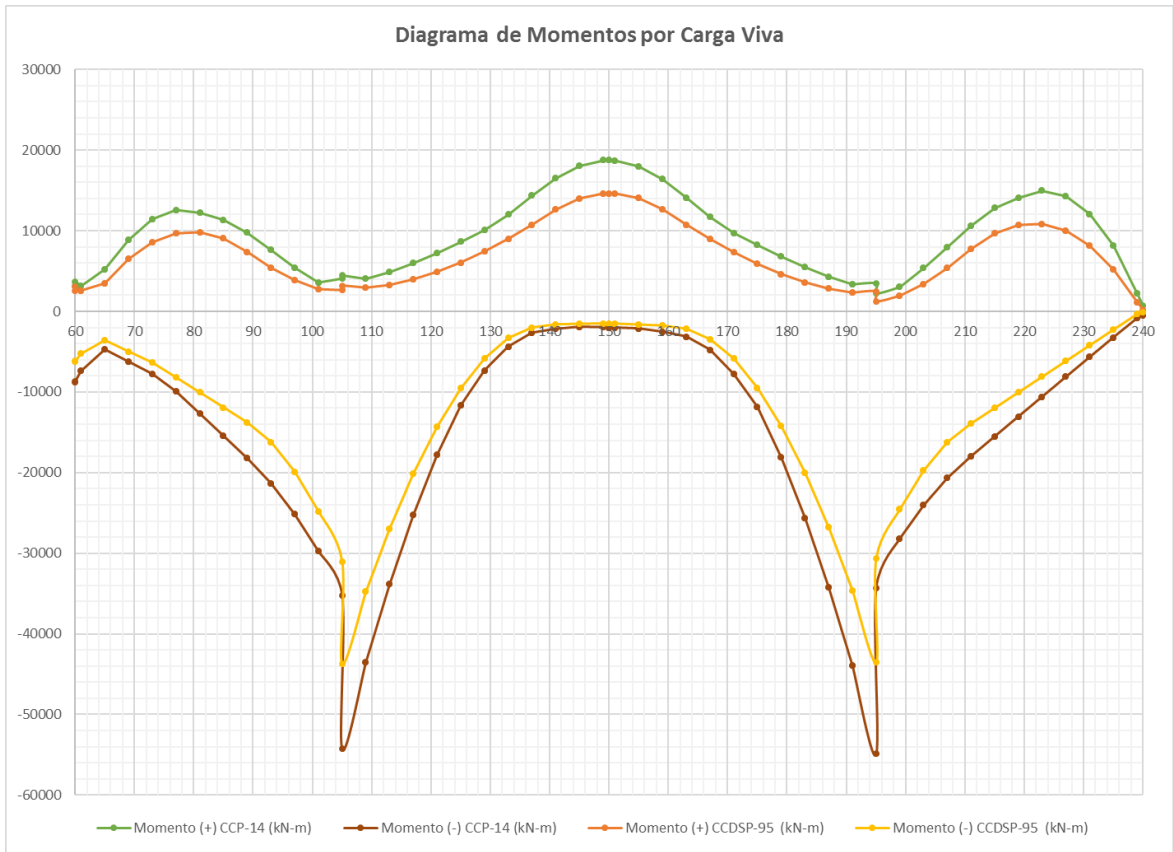


Figura 423 Comparación de diagramas de momentos por carga viva Viga continua Puente San Pedro

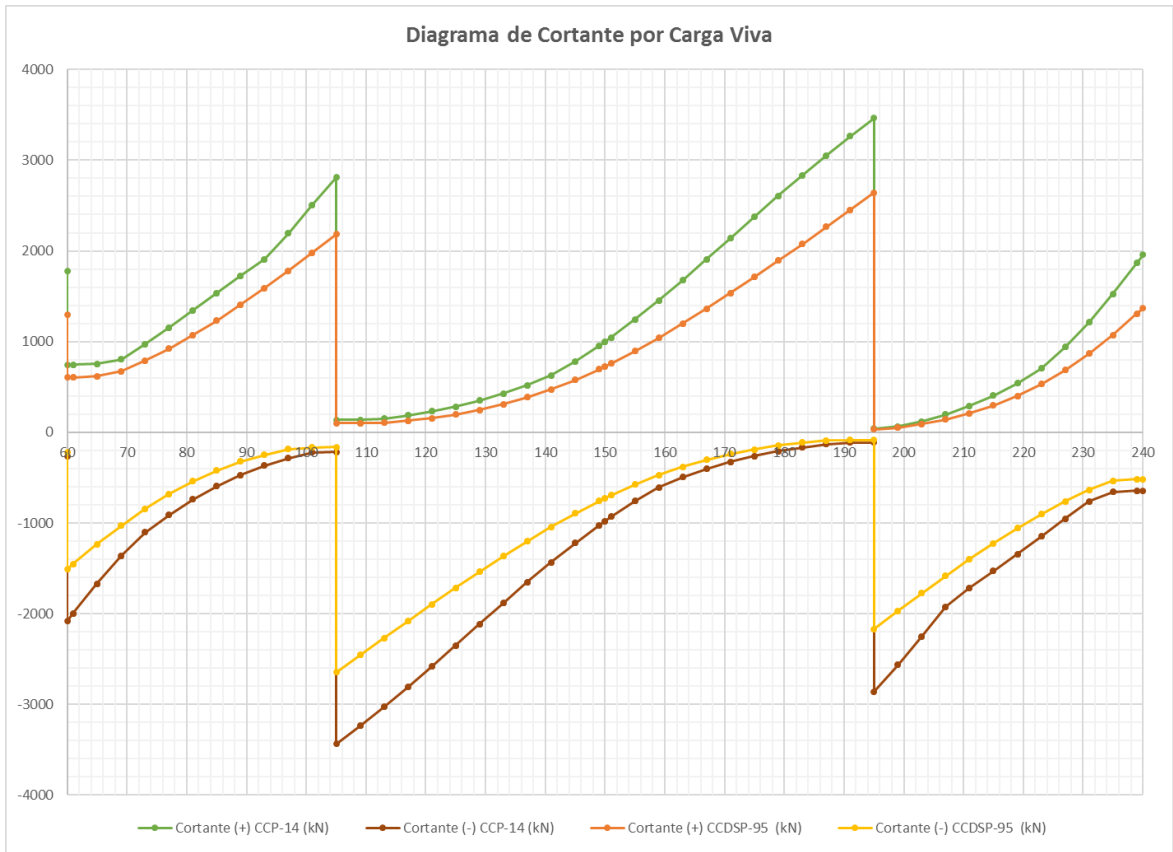


Figura 424 Comparación de diagramas de cortante por carga viva Viga continua Puente San Pedro

8.9.1 Combinaciones de diseño vigas

En el capítulo anterior se mostró la diferencia de la carga viva de una normativa a otra, pero esta no es la única carga que influye en el diseño de la superestructura. Es por ello que en este capítulo se muestra la comparación de carga última para el diseño de la viga, teniendo en cuenta las combinaciones de diseño de cada normativa, ya que los factores cambian considerablemente del código CCDSP-95 al nuevo código CCP-14.

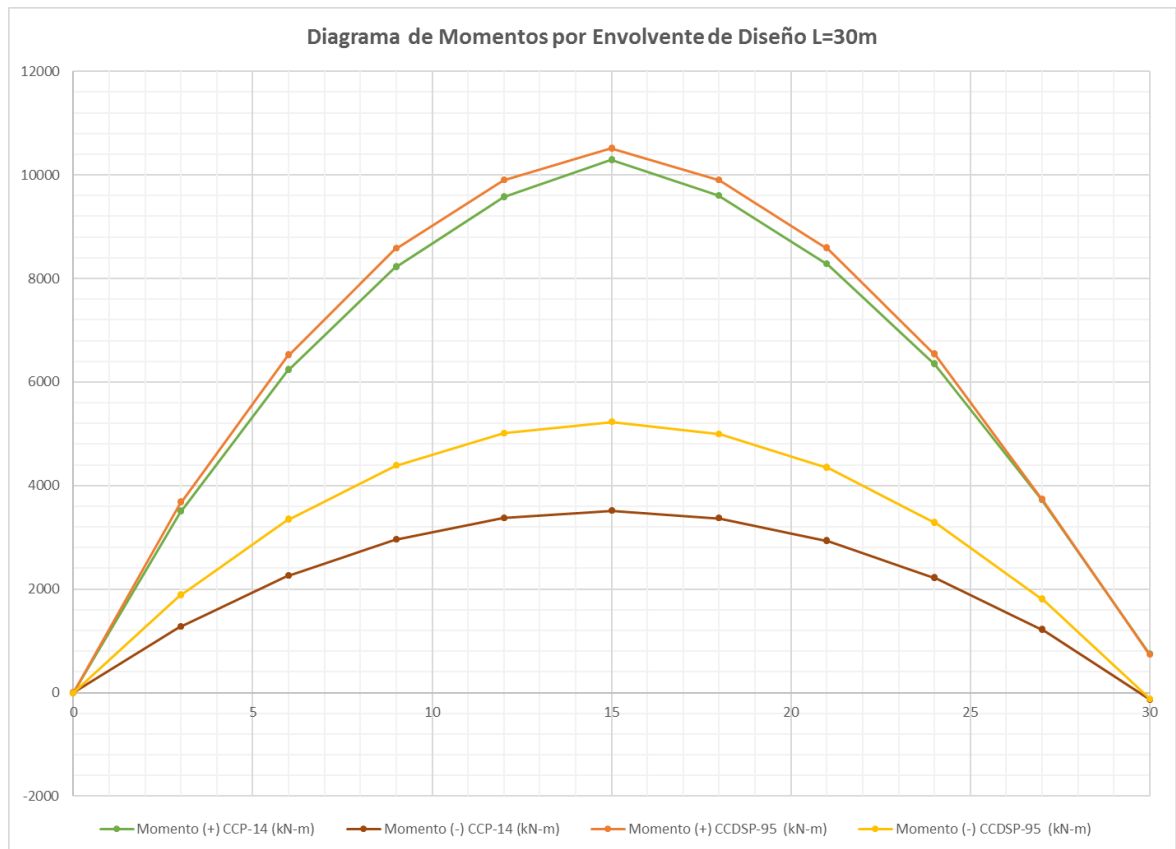


Figura 425 Comparación de diagramas de momentos por envoltorio de diseño L=30m
Puente San Pedro

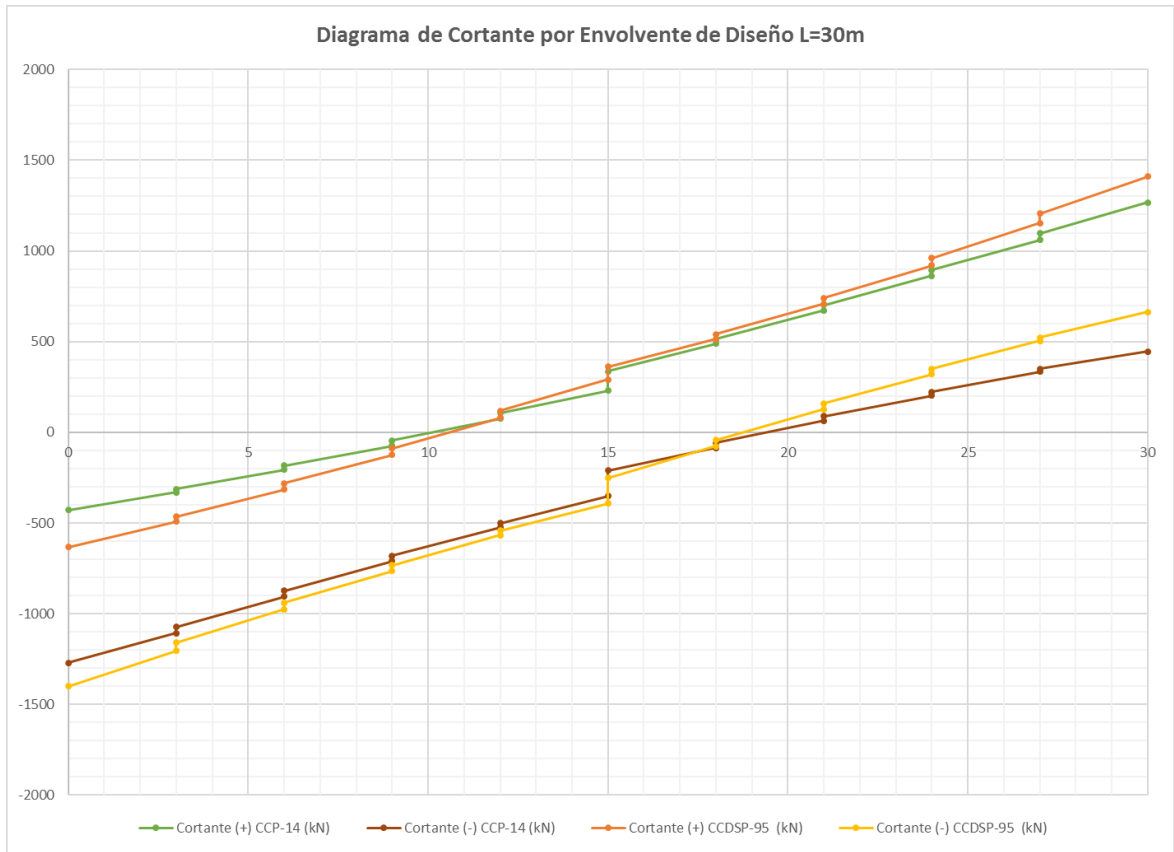


Figura 426 Comparación de diagramas de cortante por envolverte de diseño L=30m Puente San Pedro

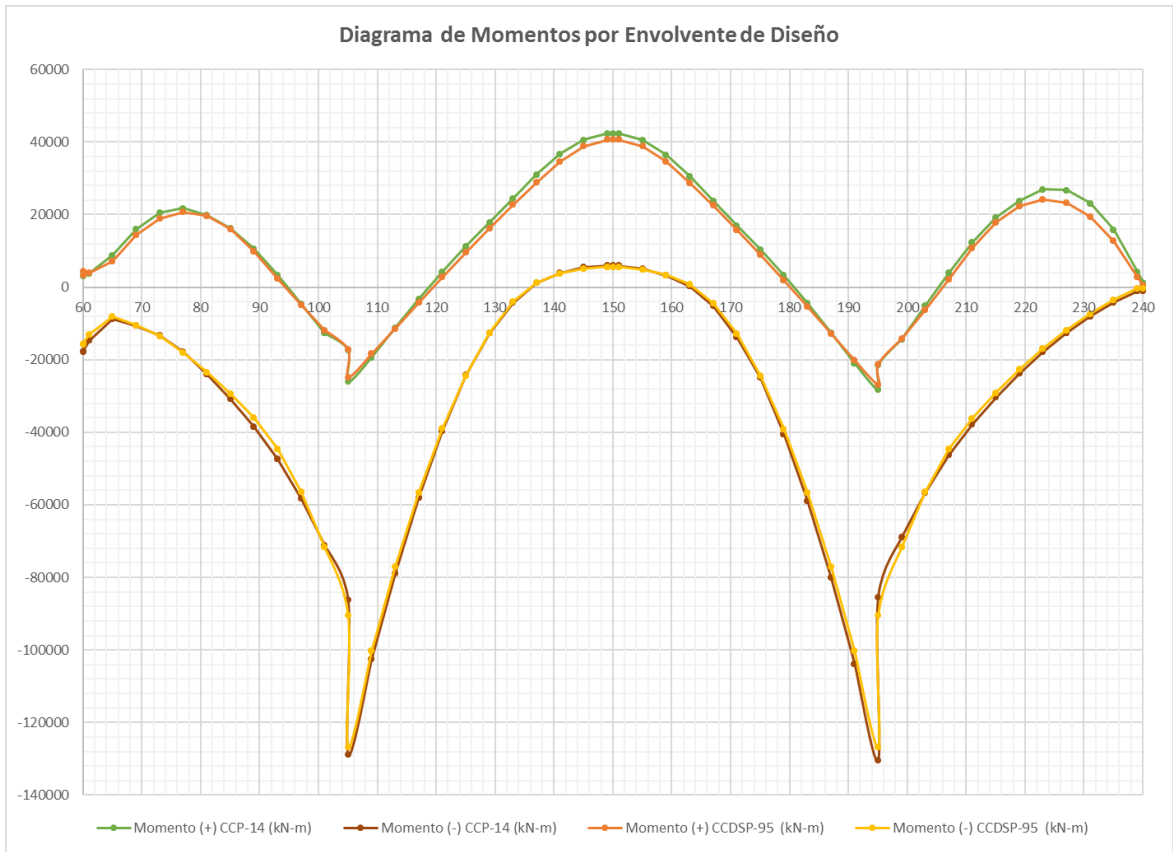
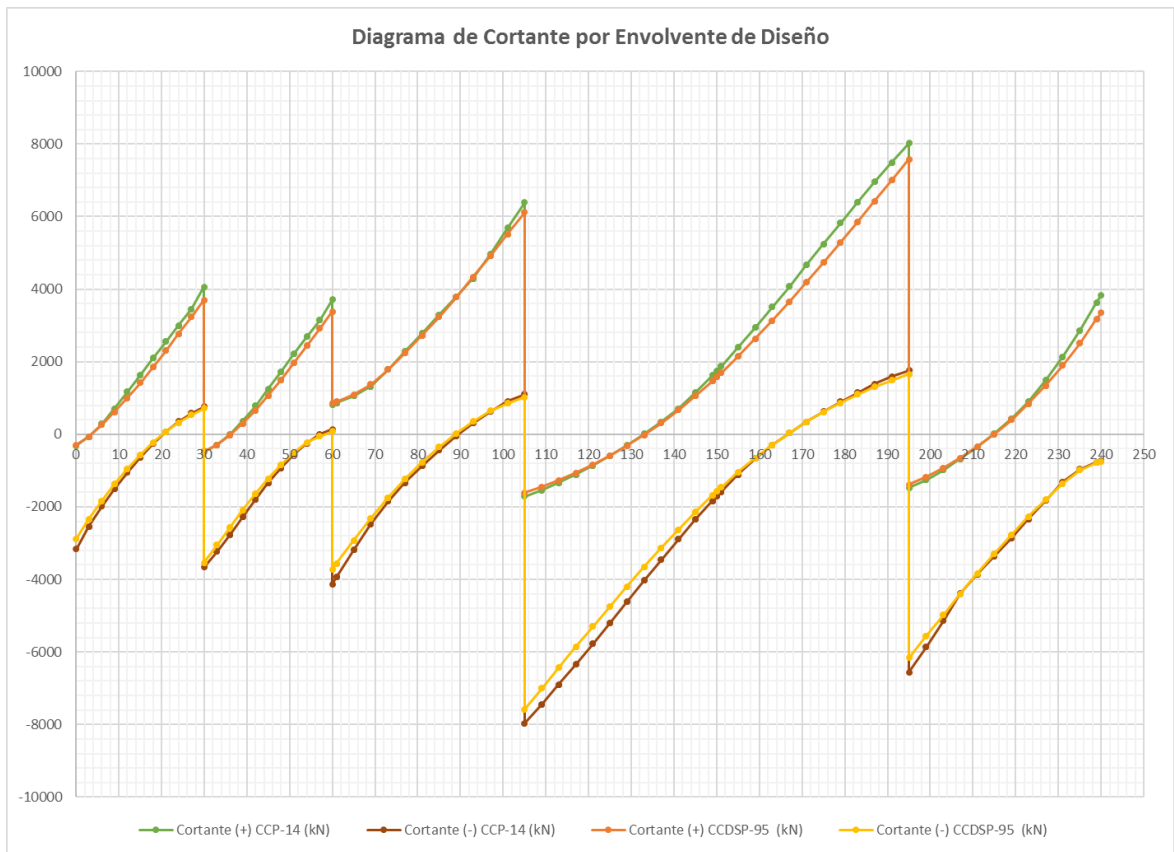


Figura 427 Comparación de diagramas de momentos por envolvente de diseño Viga continua Puente San Pedro



**Figura 428 Comparación de diagramas de cortante por envolverte de diseño Viga continúa
Puente San Pedro**

8.9.2 Análisis sísmico

Otro de los cambios relevantes del Código CCP-14 con respecto al Código CCDSP-95 es el análisis sísmico, específicamente, el espectro de diseño a utilizar.

A continuación, se presenta una comparación entre los espectros de diseño con los diferentes códigos para el análisis del Puente San Pedro:

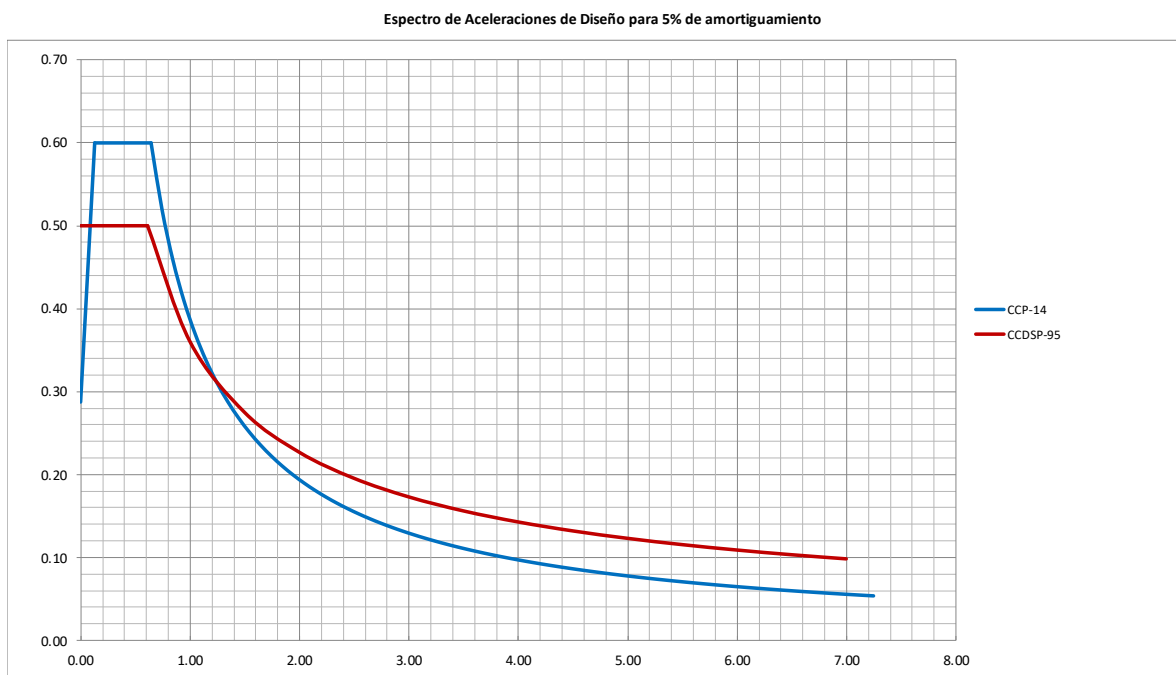


Figura 429 Comparación de espectros de diseño Puente San Pedro

El cambio en el espectro de diseño de una norma a otra se ve reflejado en el diseño de la subestructura.

A continuación, se presenta el comparativo de los diagramas de axiales y momentos para las columnas y pilotes del Puente San Pedro, con las dos normas en estudio:

8.9.2.1 Columna eje 2

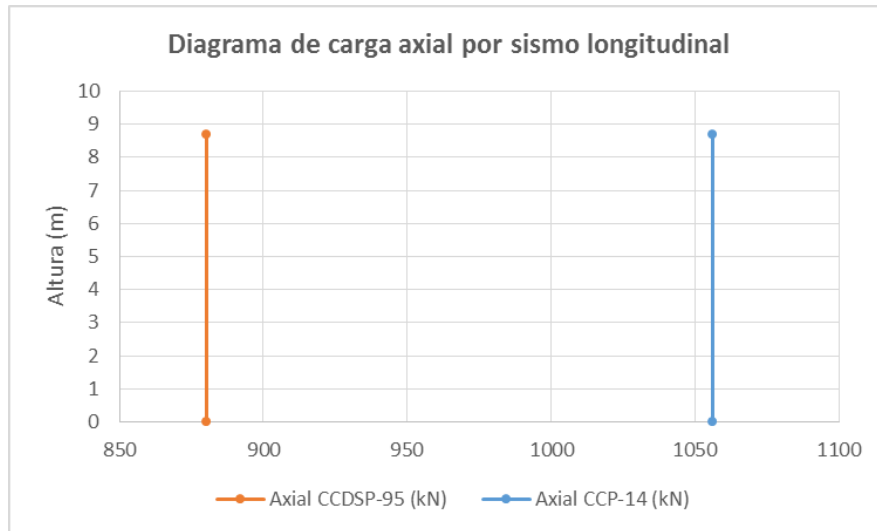


Figura 430 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro

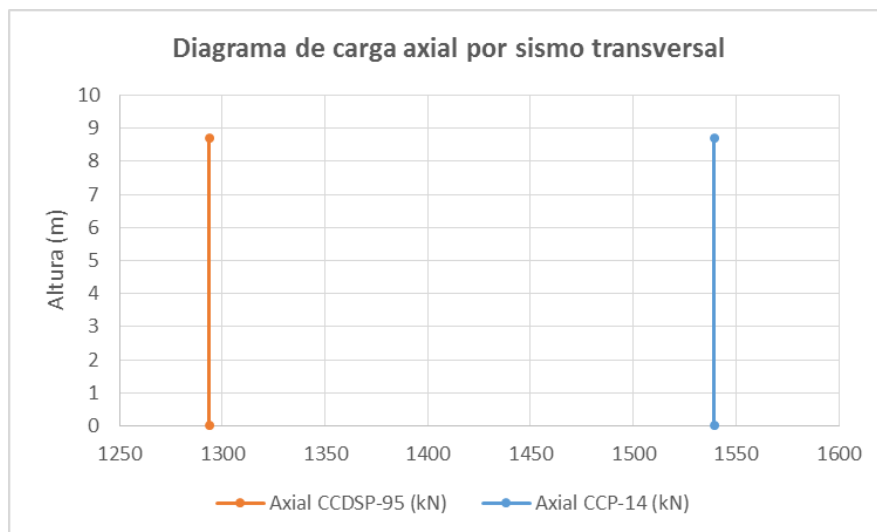


Figura 431 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro

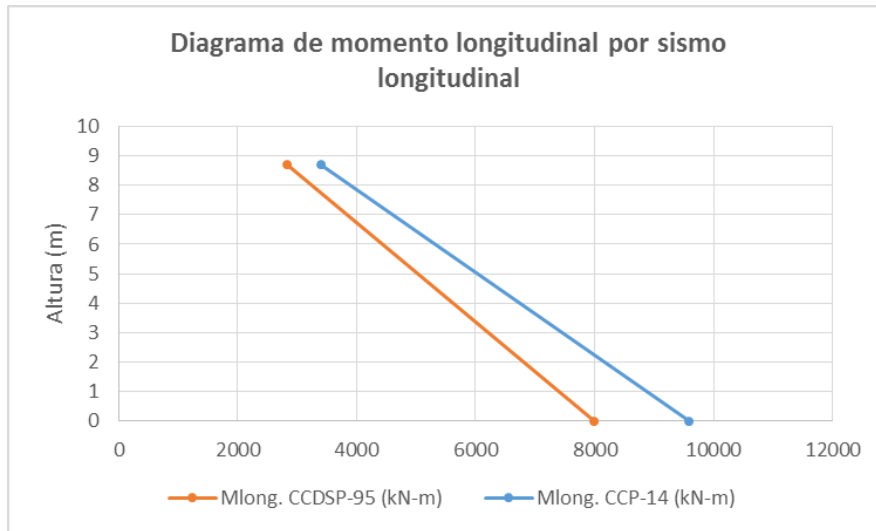


Figura 432 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro

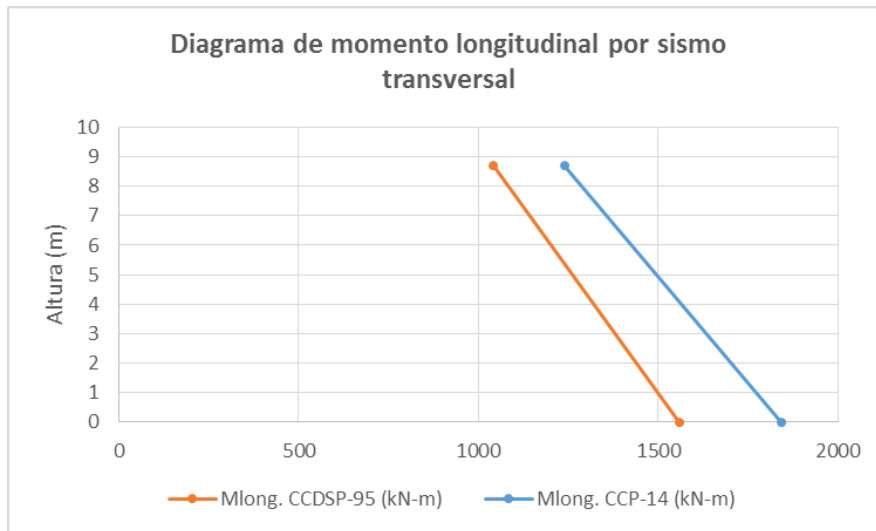


Figura 433 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro

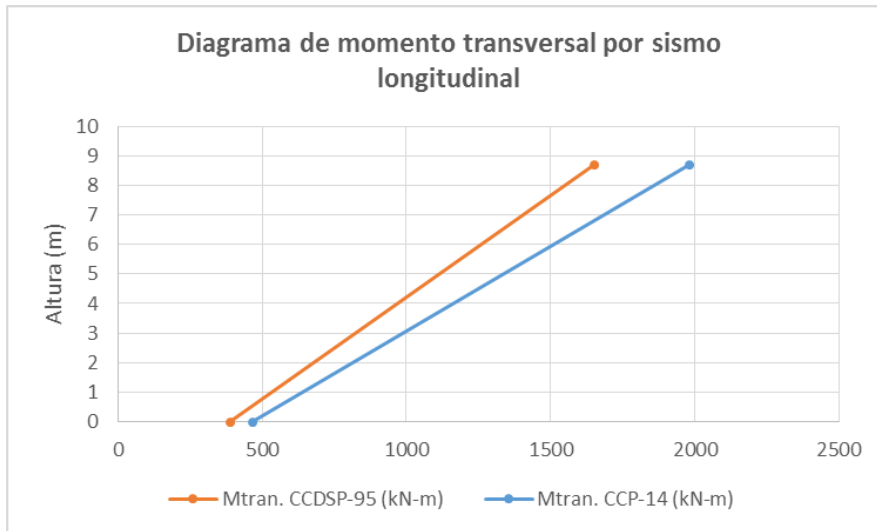


Figura 434 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro

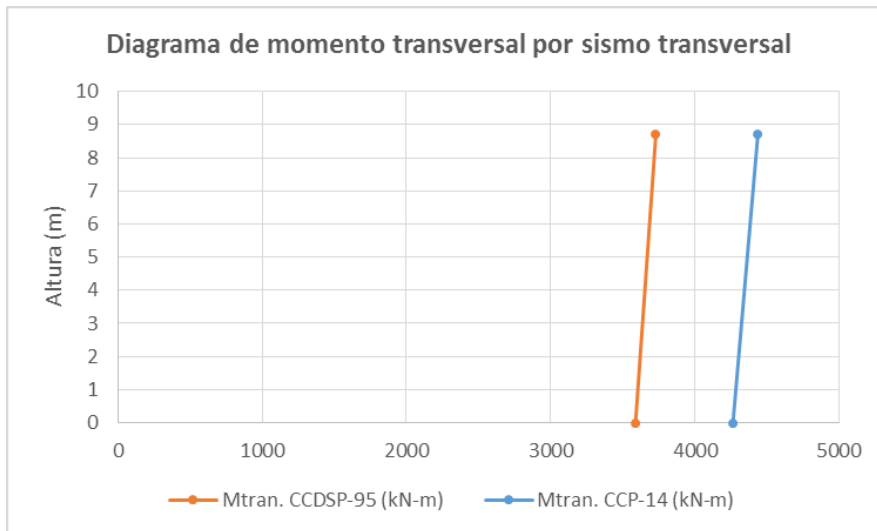


Figura 435 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro

8.9.2.2 Columna eje 3

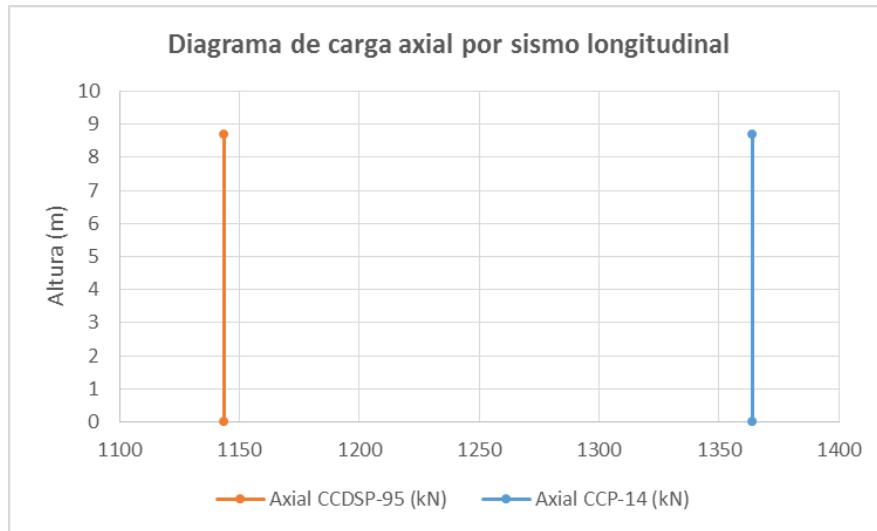


Figura 436 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro

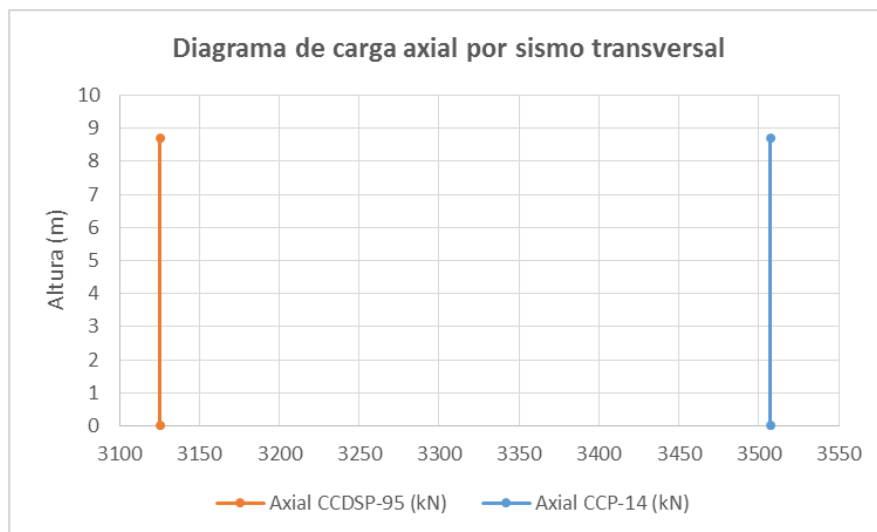


Figura 437 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro

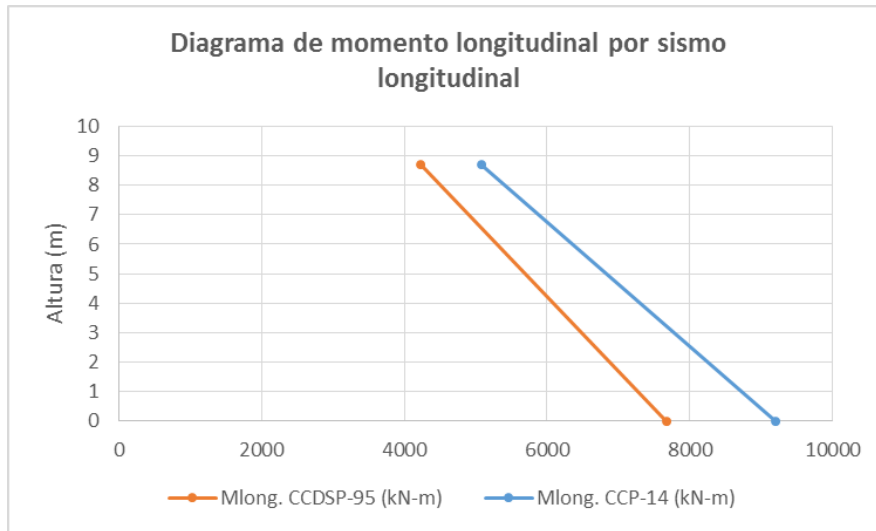


Figura 438 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro

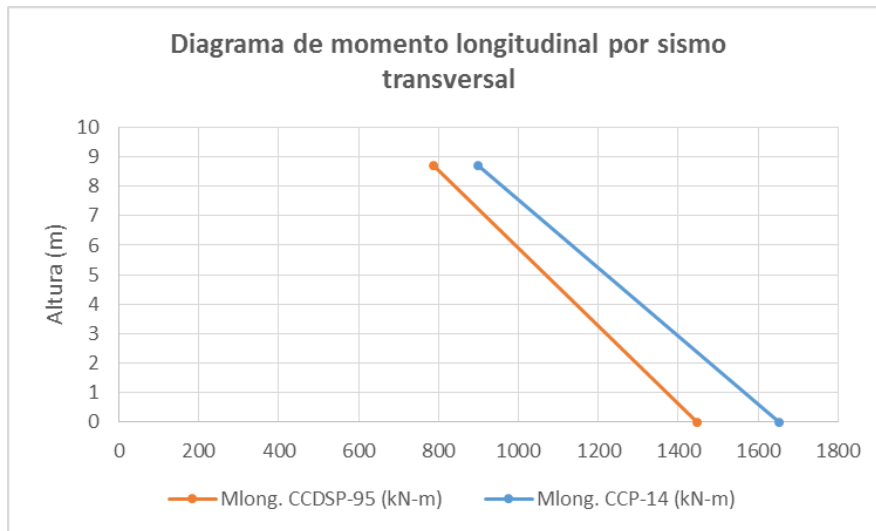


Figura 439 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro

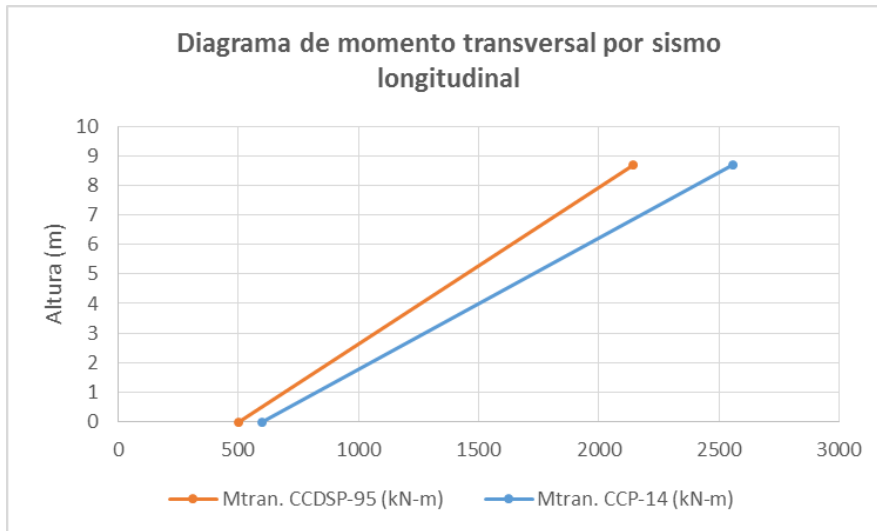


Figura 440 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro

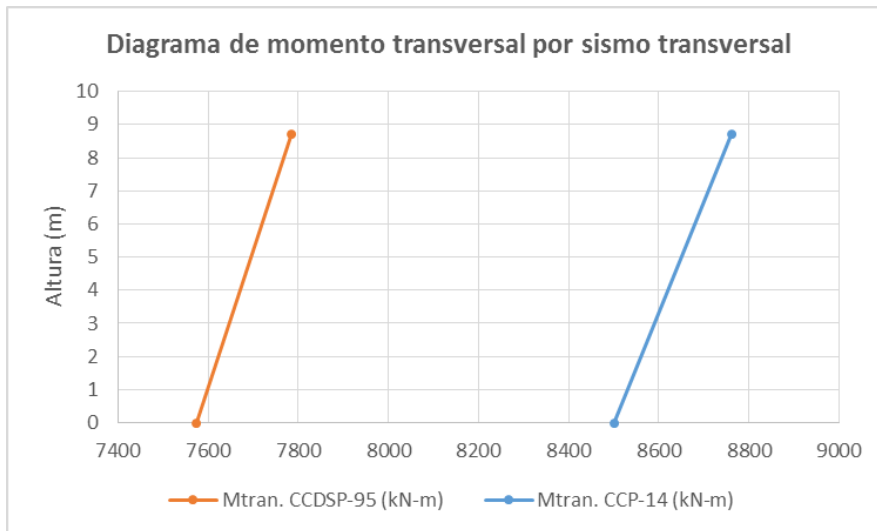


Figura 441 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro

8.9.2.3 Columna eje 4

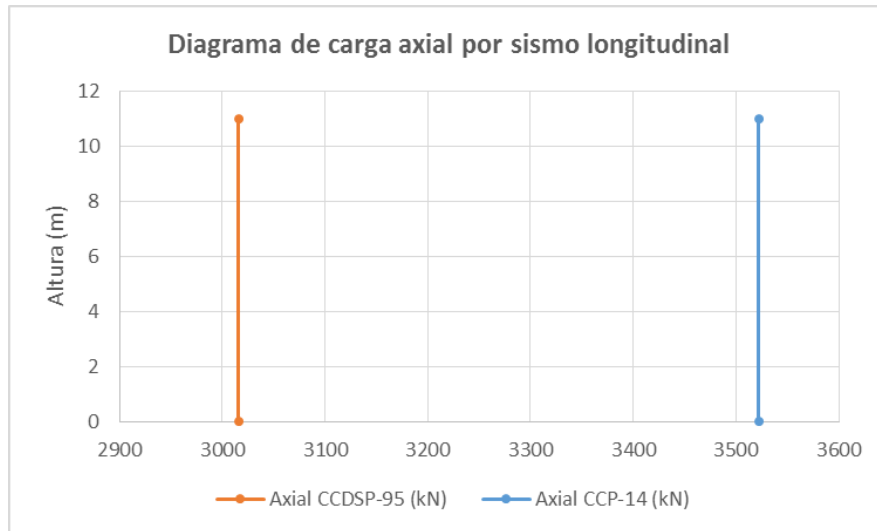


Figura 442 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro

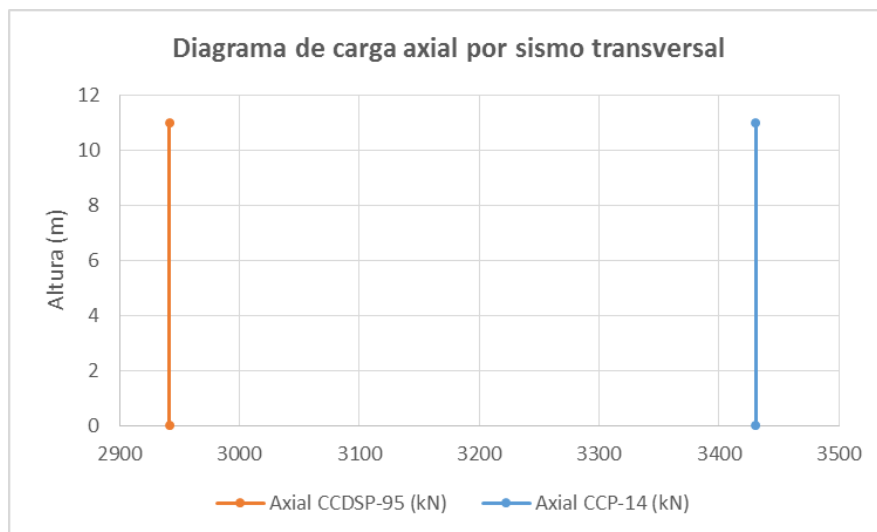


Figura 443 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro

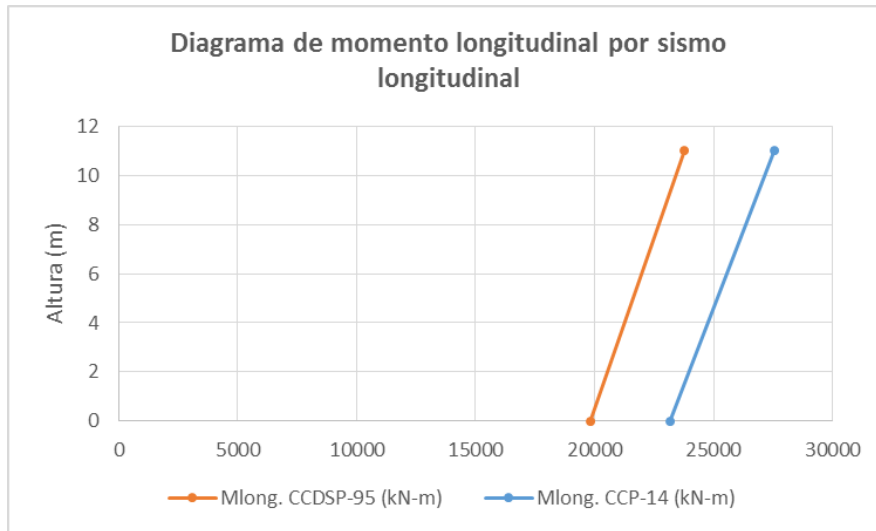


Figura 444 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro

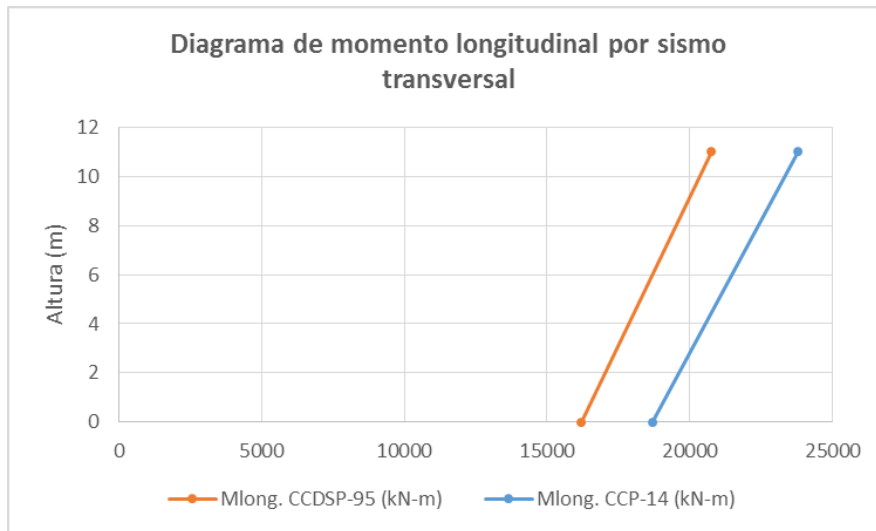


Figura 445 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro

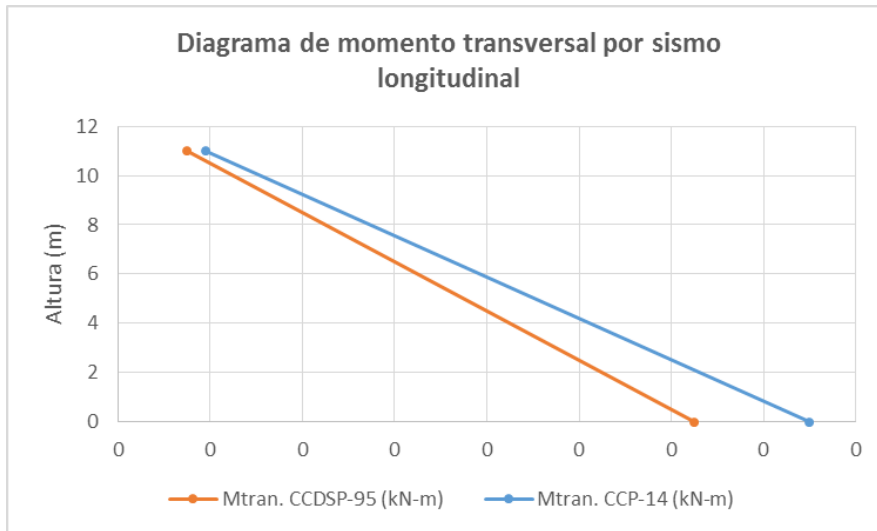


Figura 446 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro

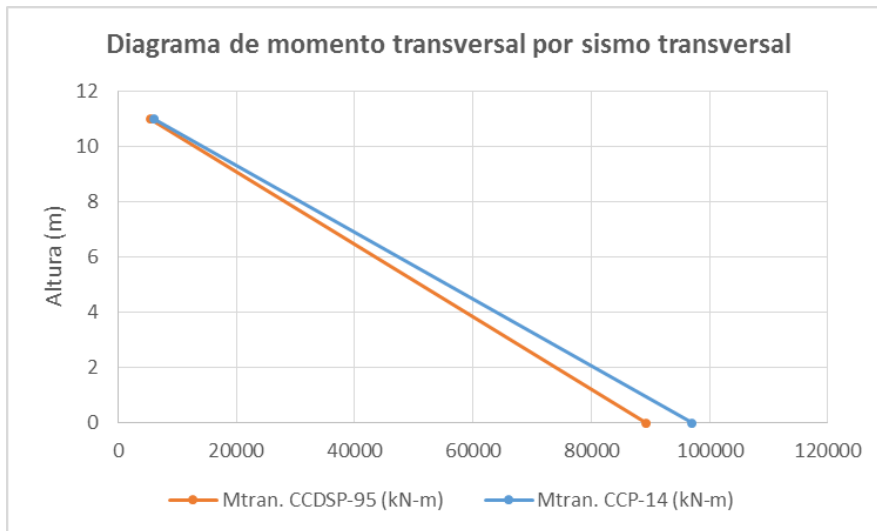


Figura 447 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro

8.9.2.4 Columna eje 5

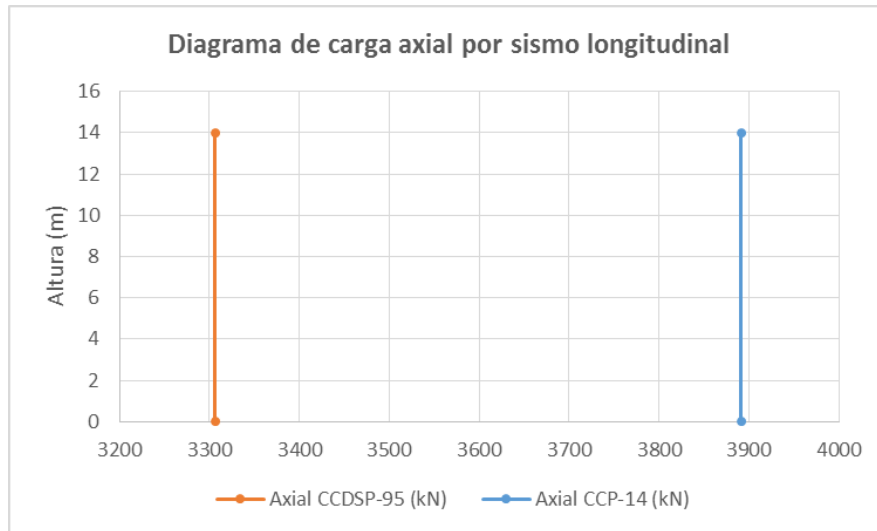


Figura 448 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro

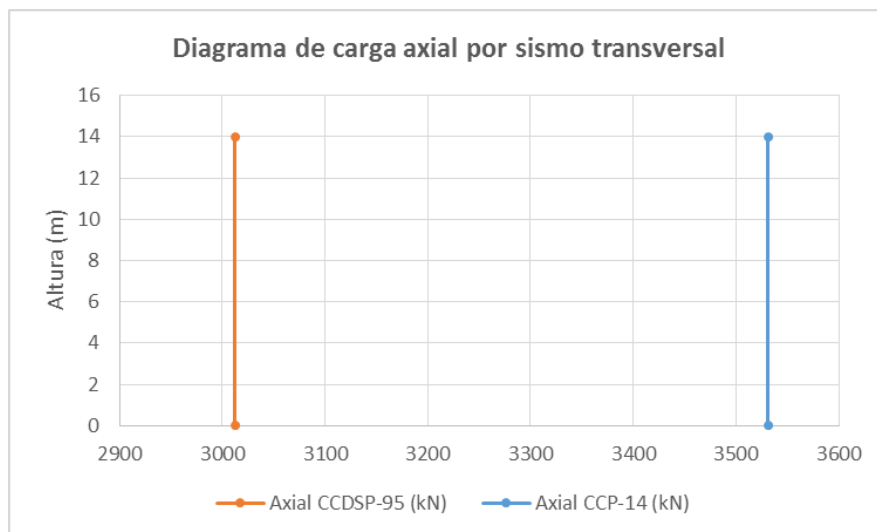


Figura 449 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro

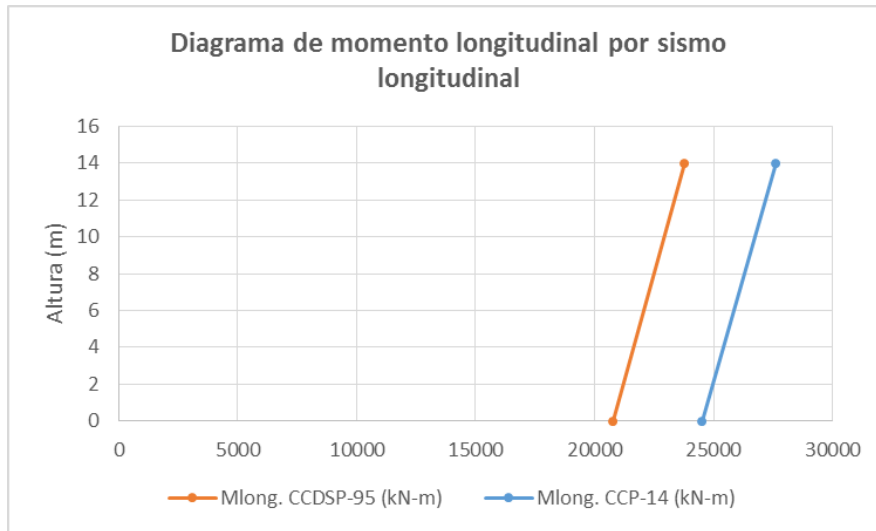


Figura 450 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro

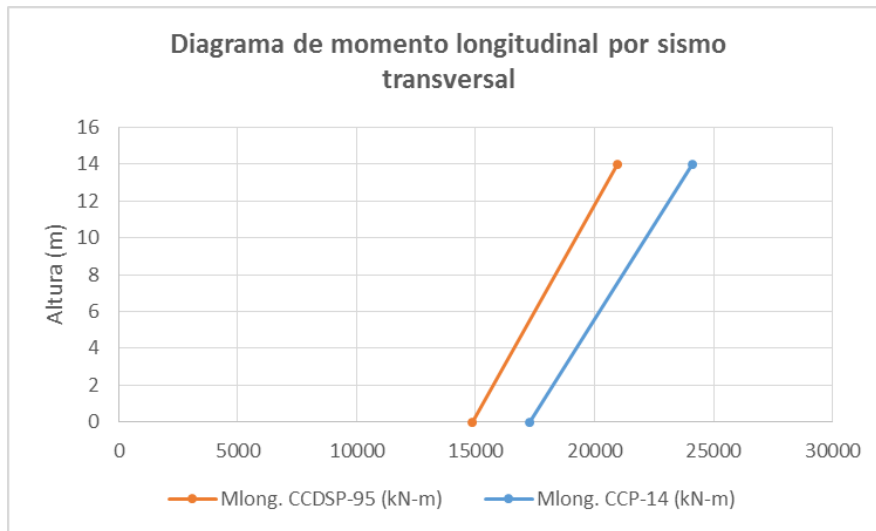


Figura 451 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro

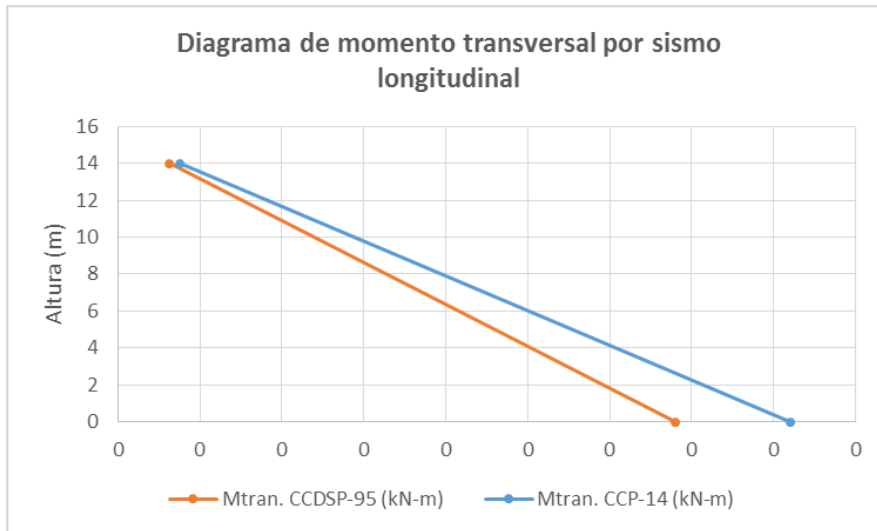


Figura 452 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro

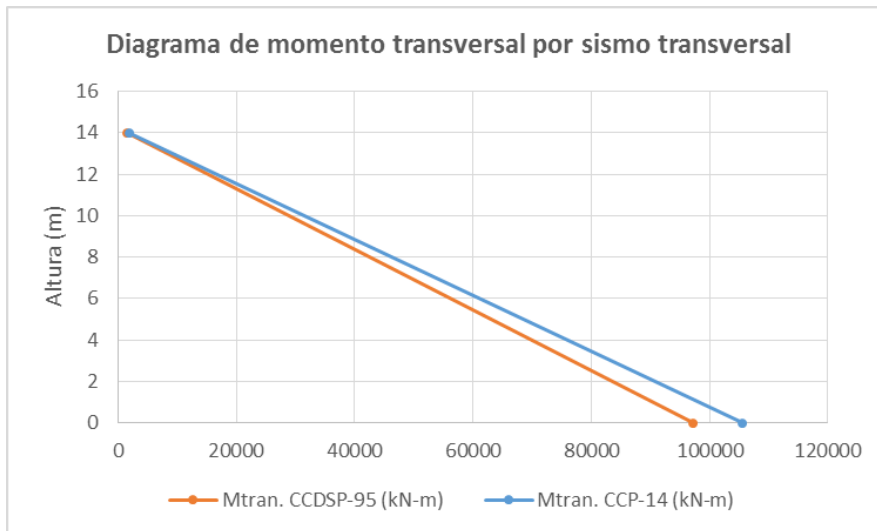


Figura 453 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro

8.9.2.5 Pilote 1 eje 2

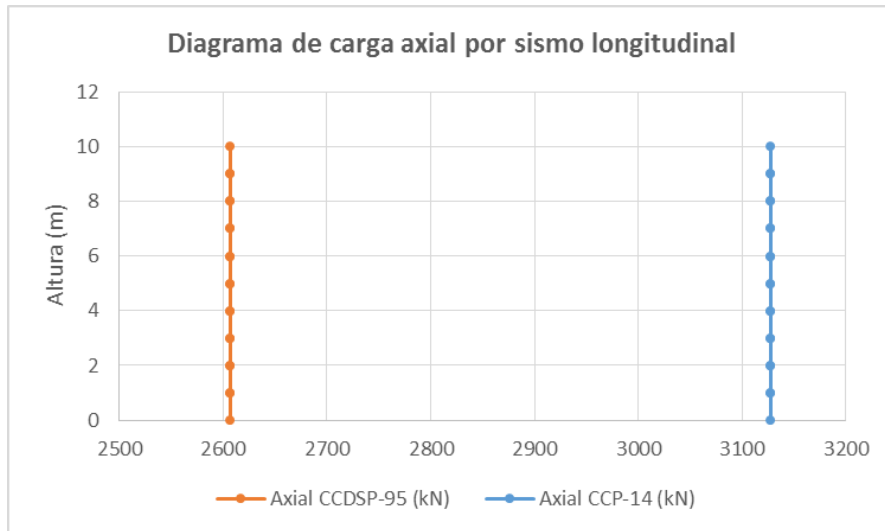


Figura 454 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro

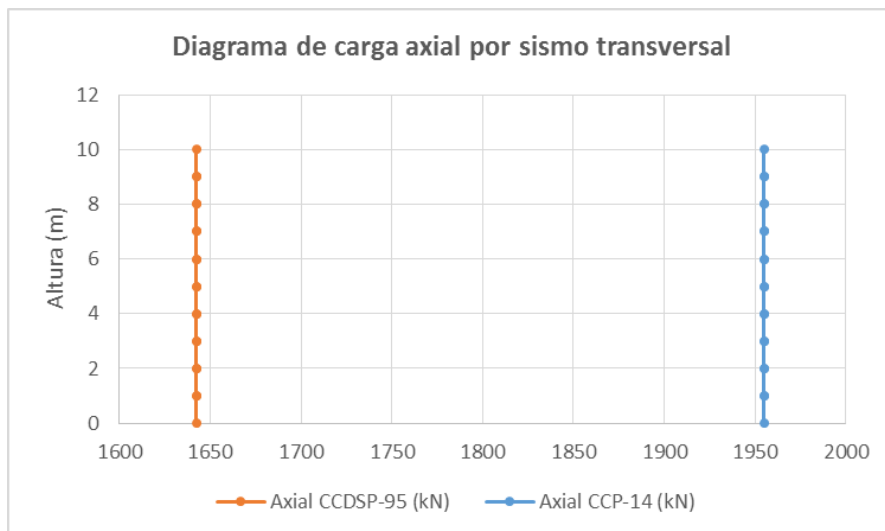


Figura 455 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro

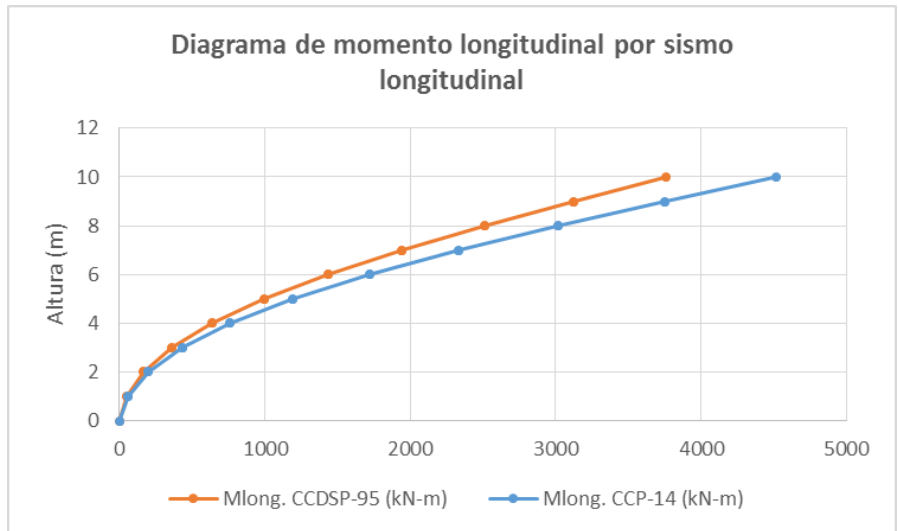


Figura 456 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro

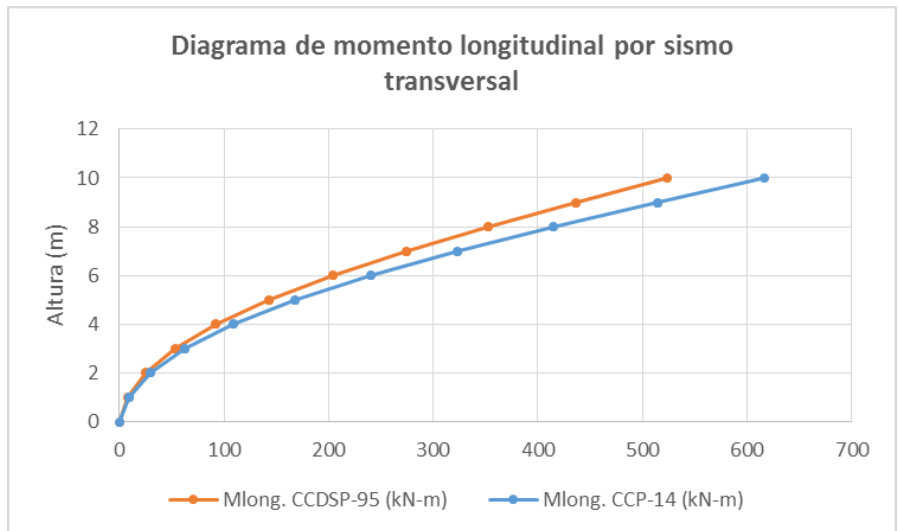


Figura 457 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro

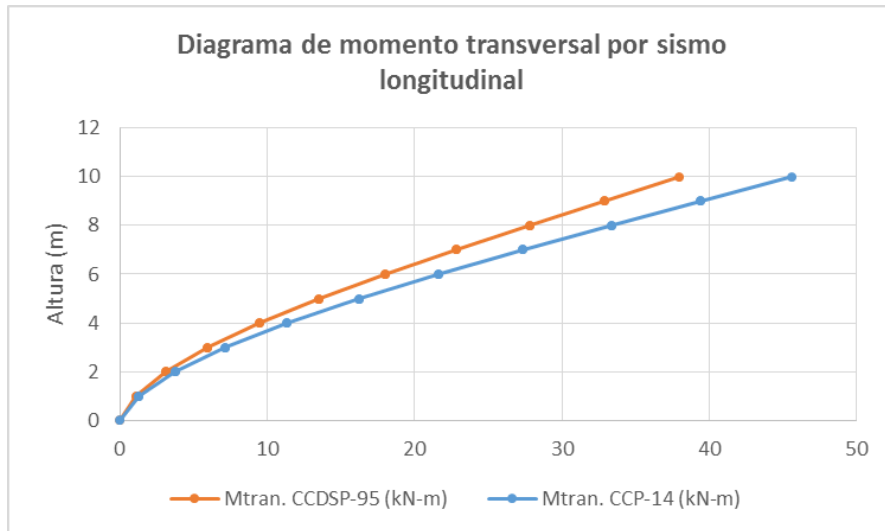


Figura 458 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro

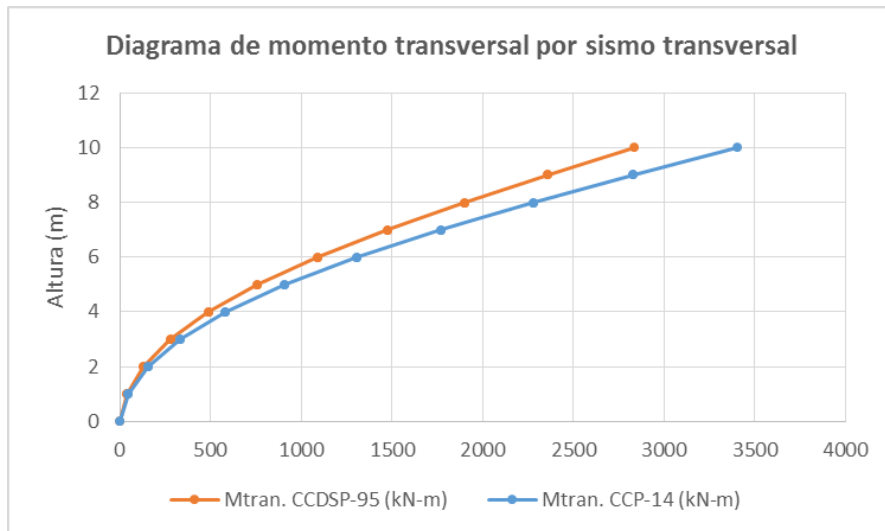


Figura 459 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro

8.9.2.6 Pilote 1 eje 3

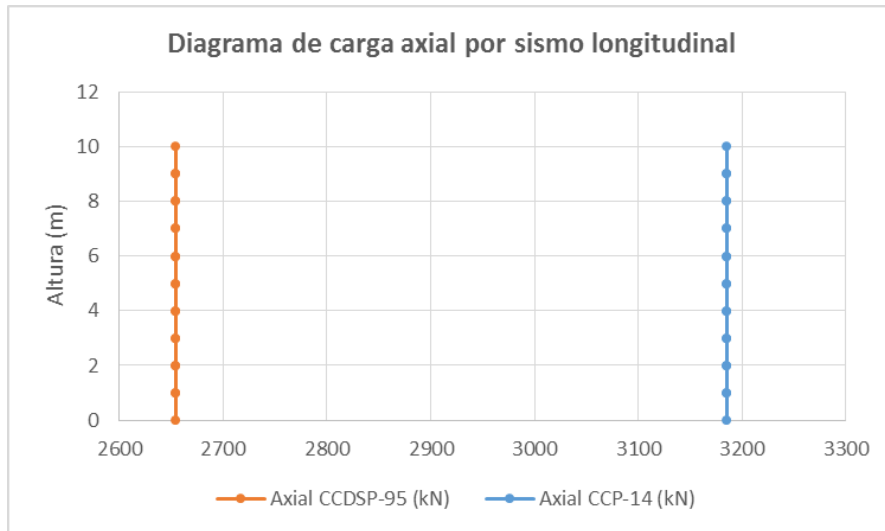


Figura 460 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro

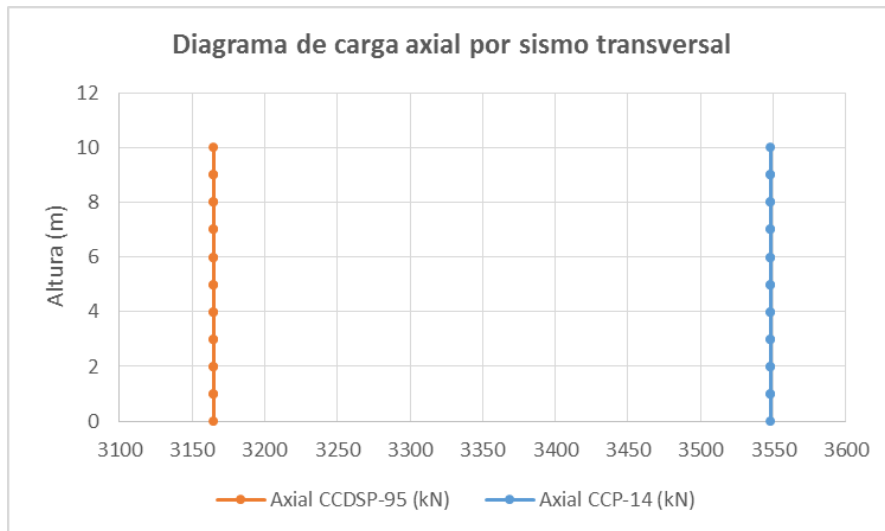


Figura 461 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro

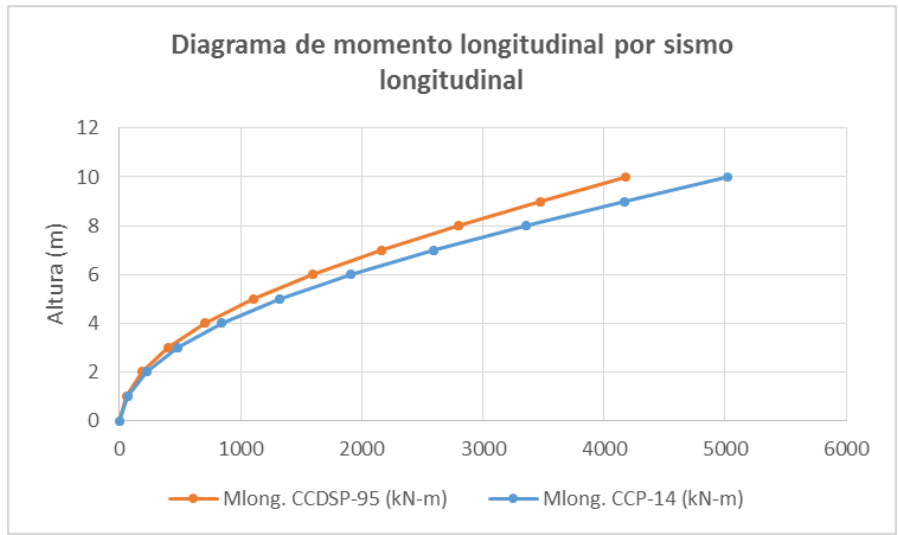


Figura 462 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro

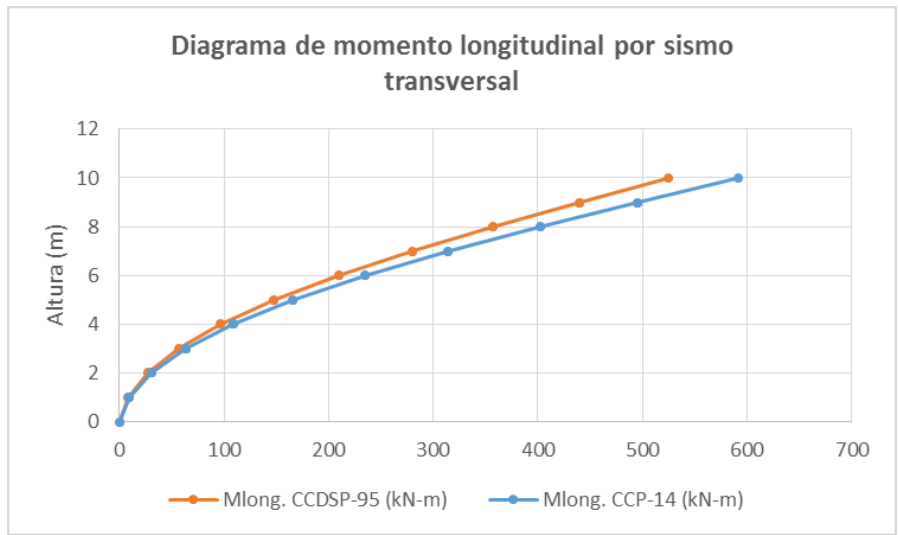


Figura 463 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro

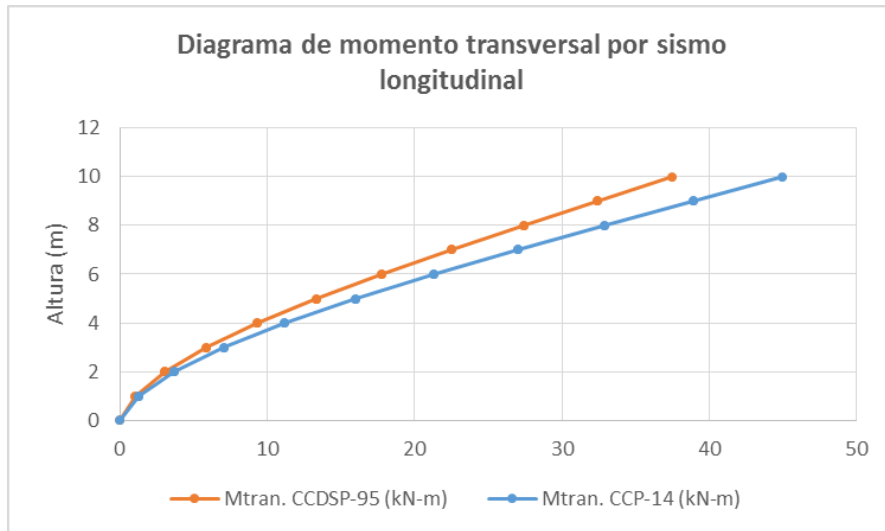


Figura 464 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro

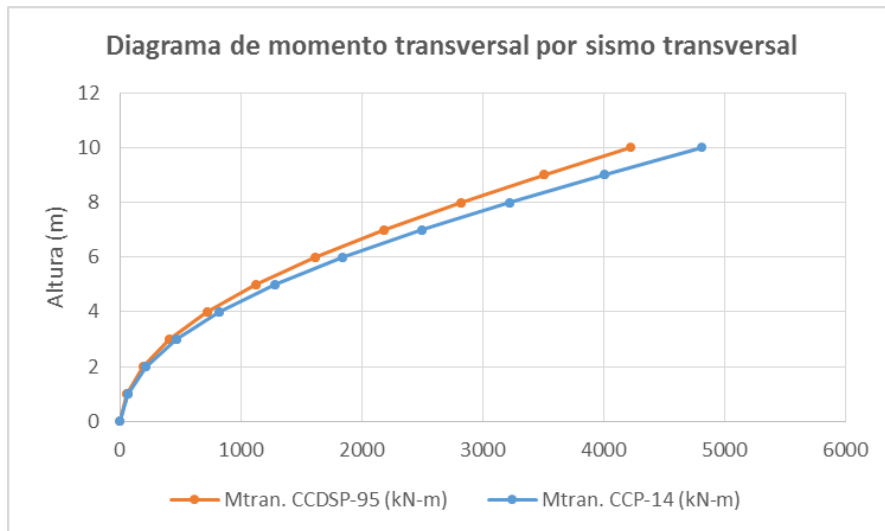


Figura 465 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro

8.9.2.7 Pilote 1 eje 4

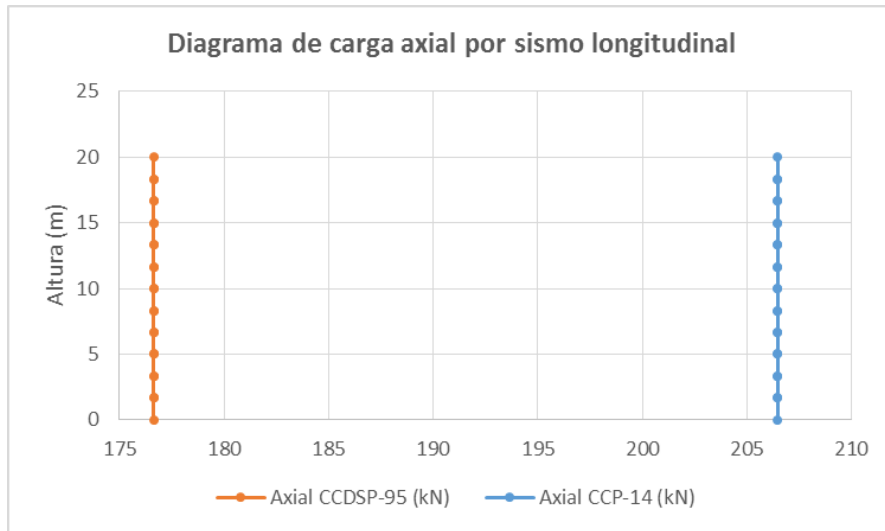


Figura 466 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro

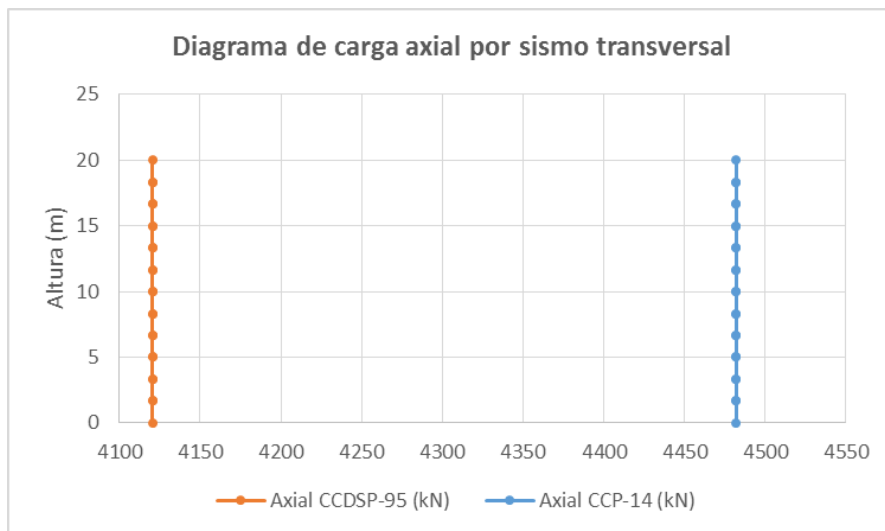


Figura 467 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro

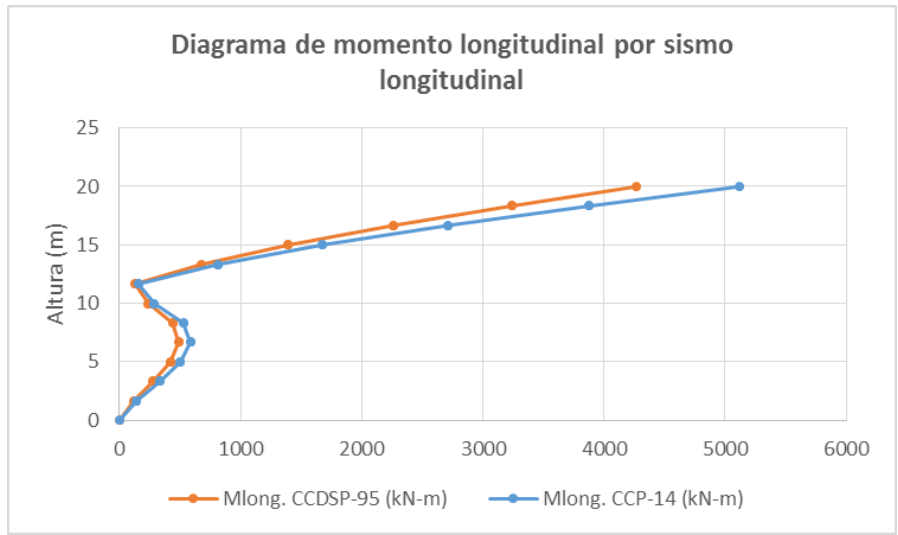


Figura 468 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro

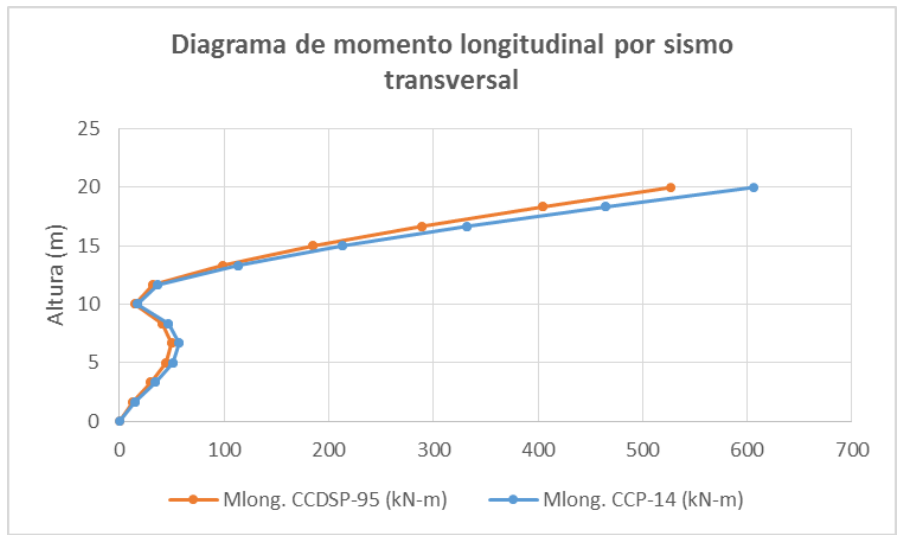


Figura 469 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro

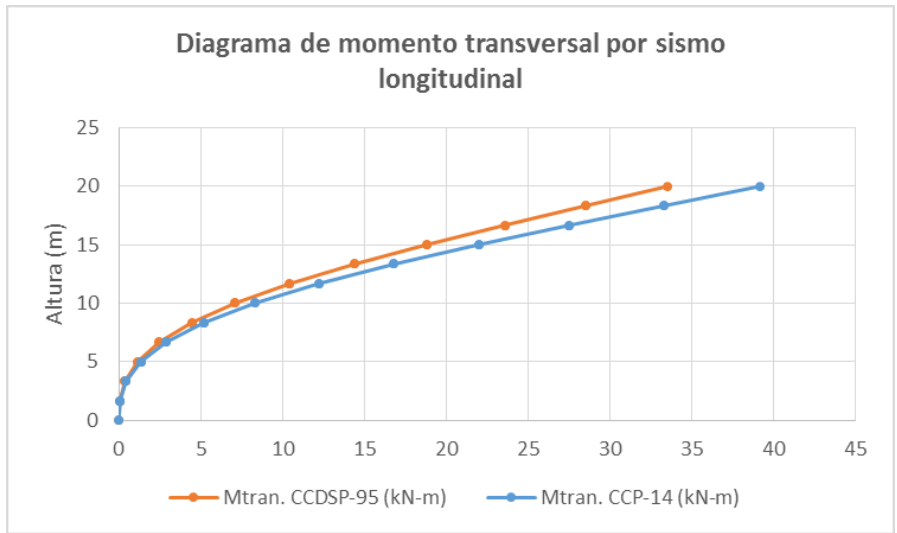


Figura 470 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro

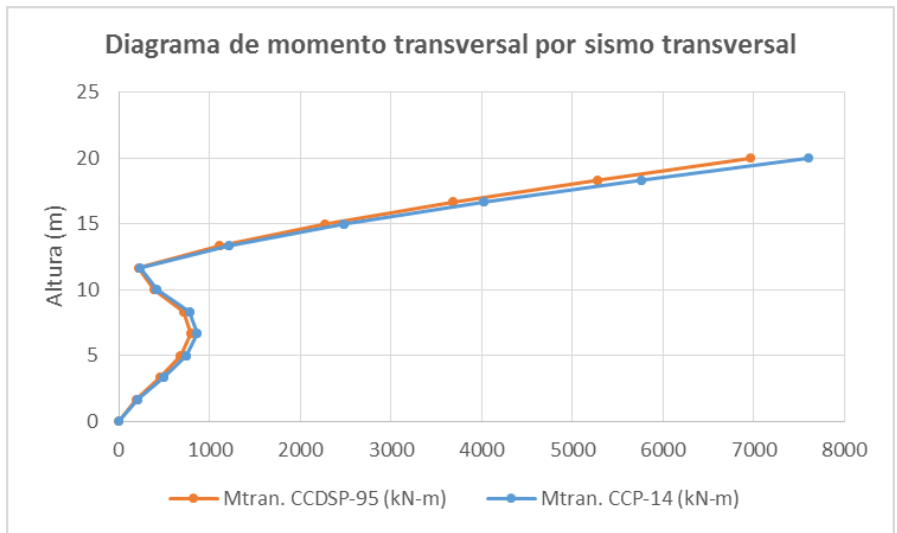


Figura 471 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro

8.9.2.8 Pilote 1 eje 5

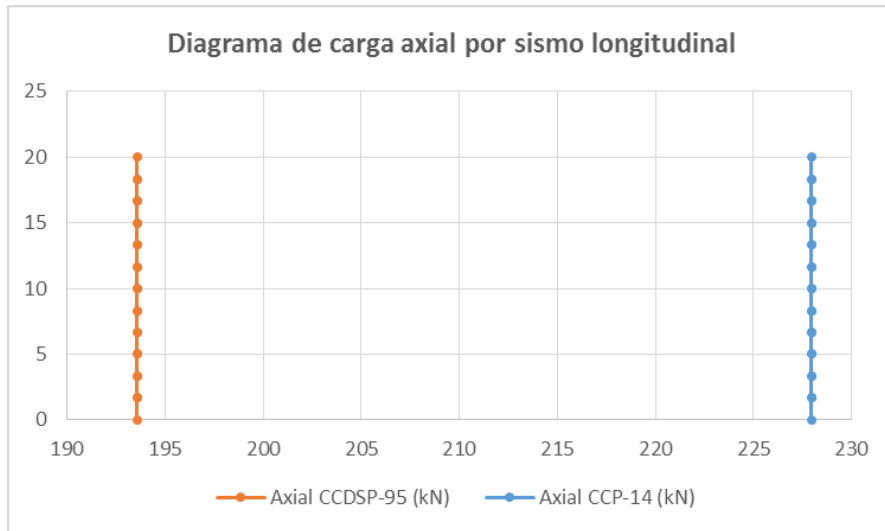


Figura 472 Comparación de diagramas de carga axial por sismo longitudinal Puente San Pedro

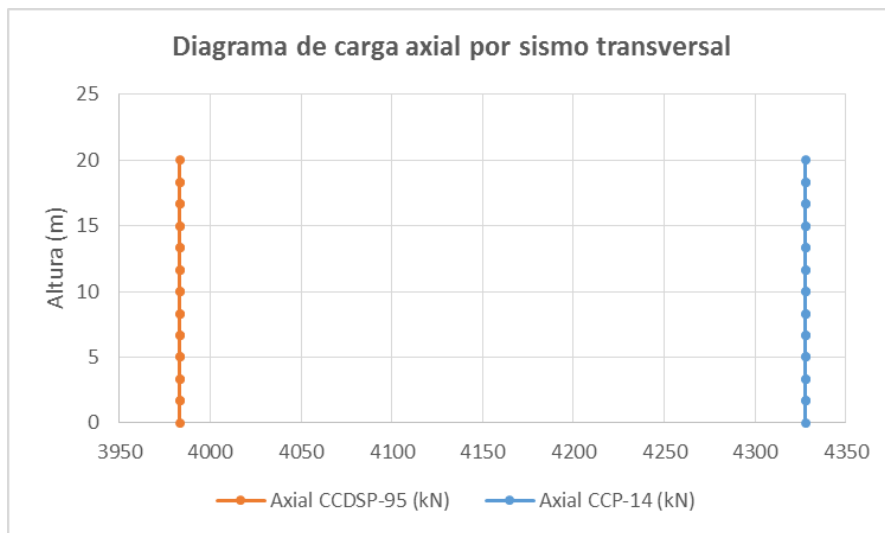


Figura 473 Comparación de diagramas de carga axial por sismo transversal Puente San Pedro

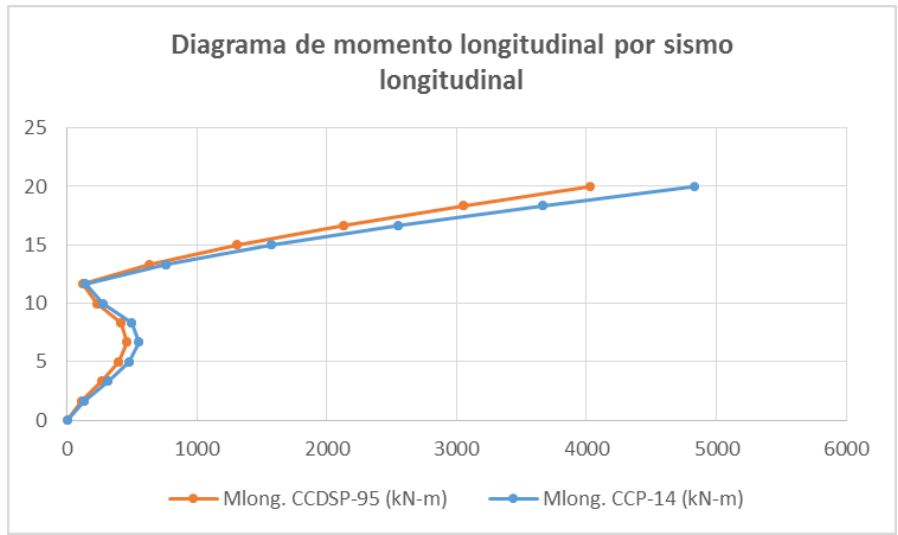


Figura 474 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo longitudinal Puente San Pedro

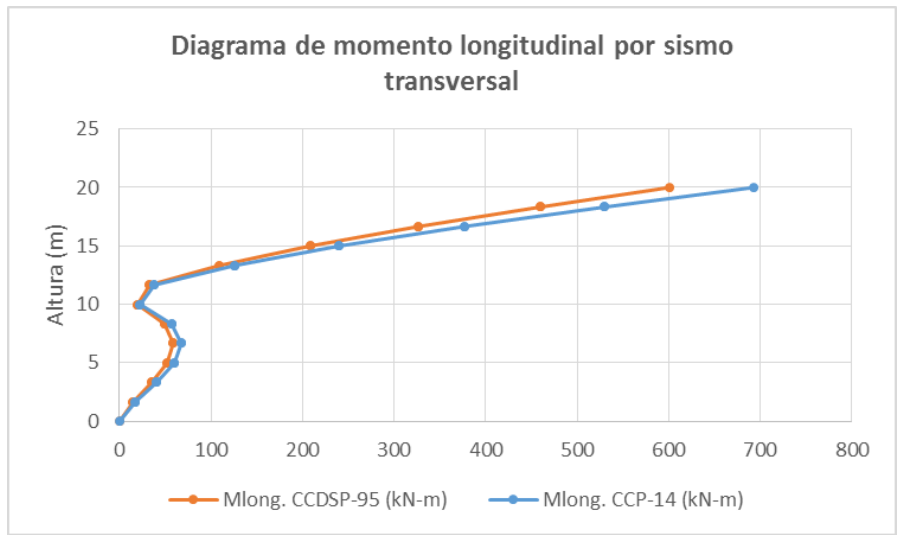


Figura 475 Comparación de diagramas de momentos longitudinal por sismo transversal Puente San Pedro

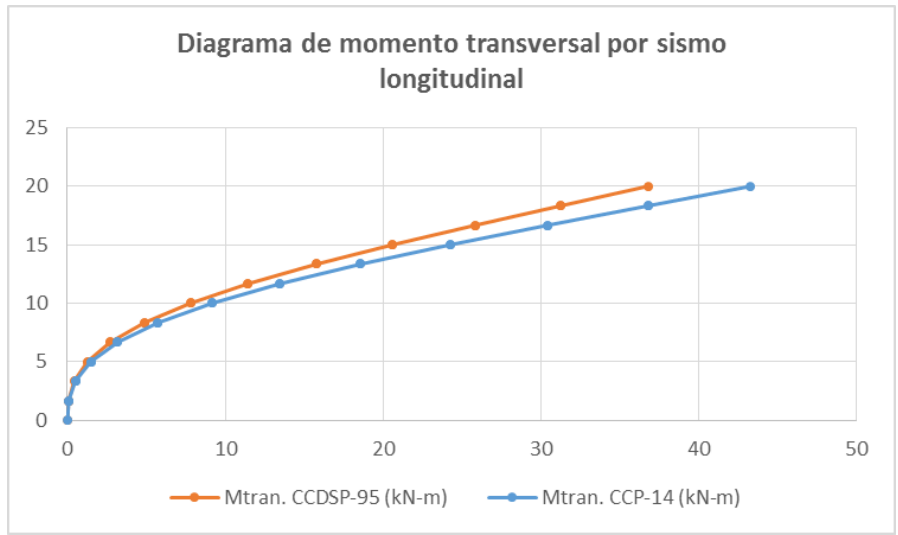


Figura 476 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo longitudinal Puente San Pedro

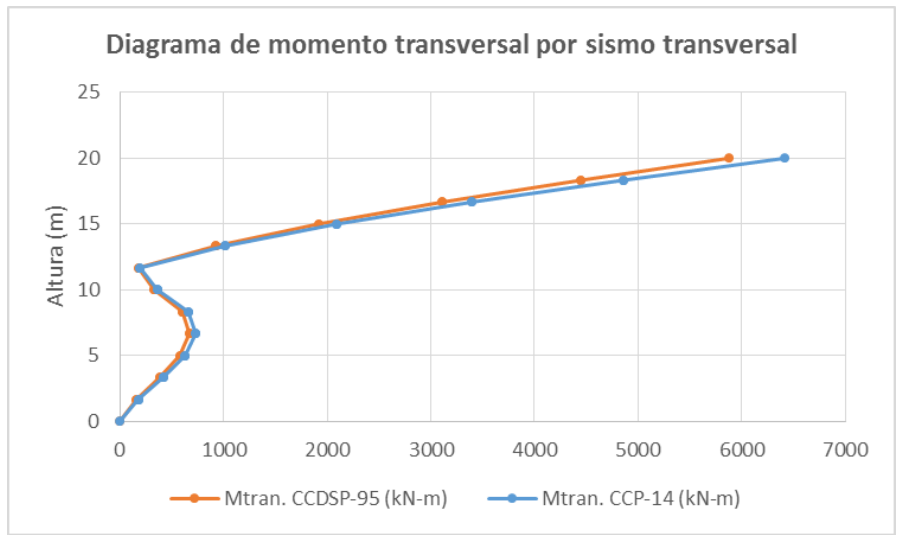


Figura 477 Comparación de diagramas de momentos transversales por sismo transversal Puente San Pedro

8.9.3 Combinaciones de diseño columnas

8.9.3.1 Columna eje 2

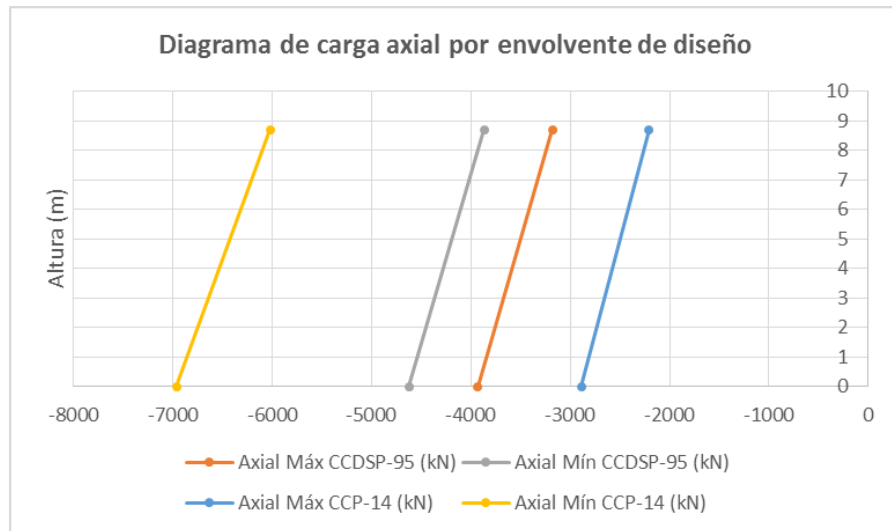


Figura 478 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

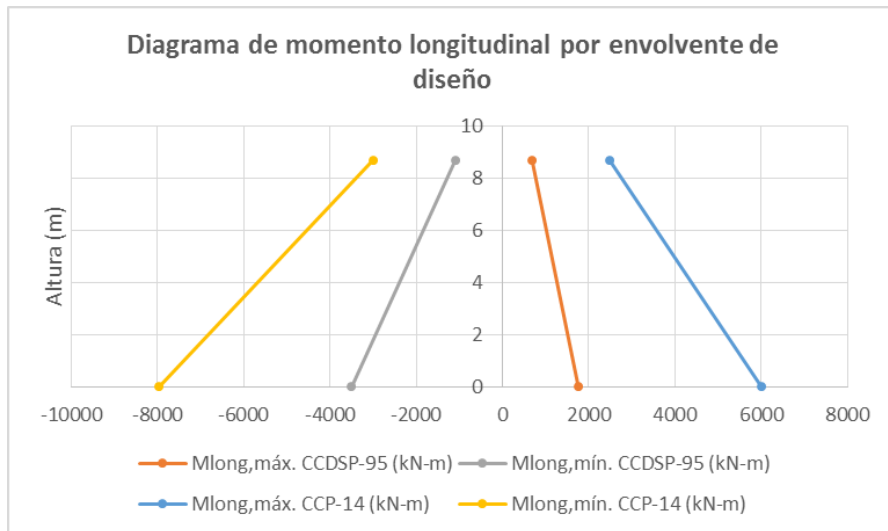


Figura 479 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

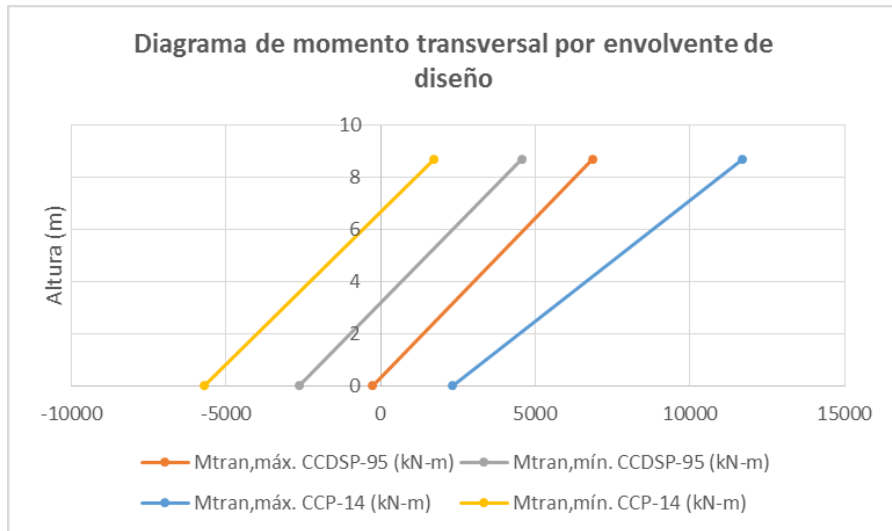


Figura 480 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puesto San Pedro

8.9.3.2 Columna eje 3

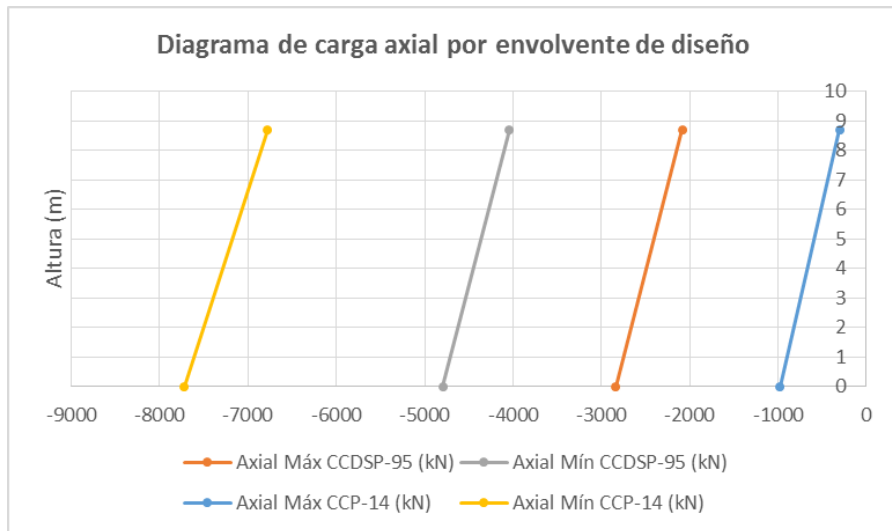


Figura 481 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puesto San Pedro

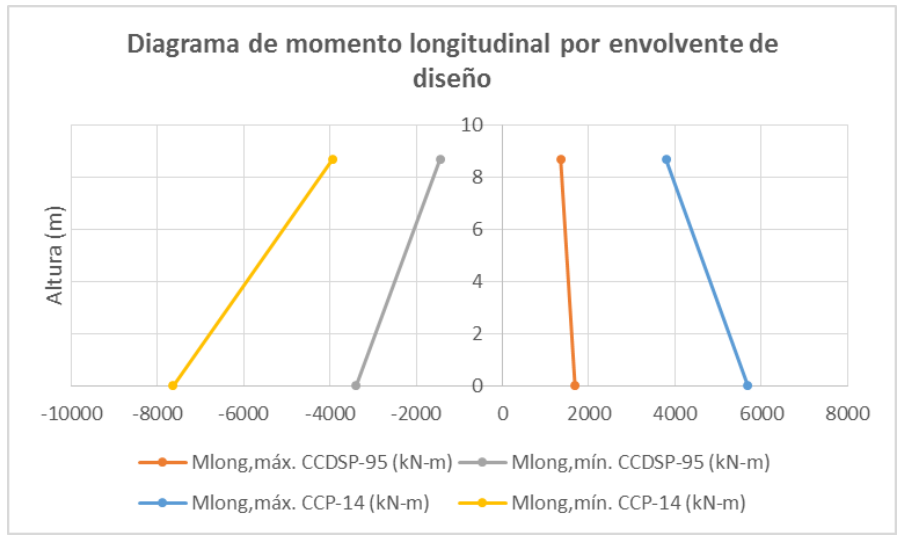


Figura 482 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

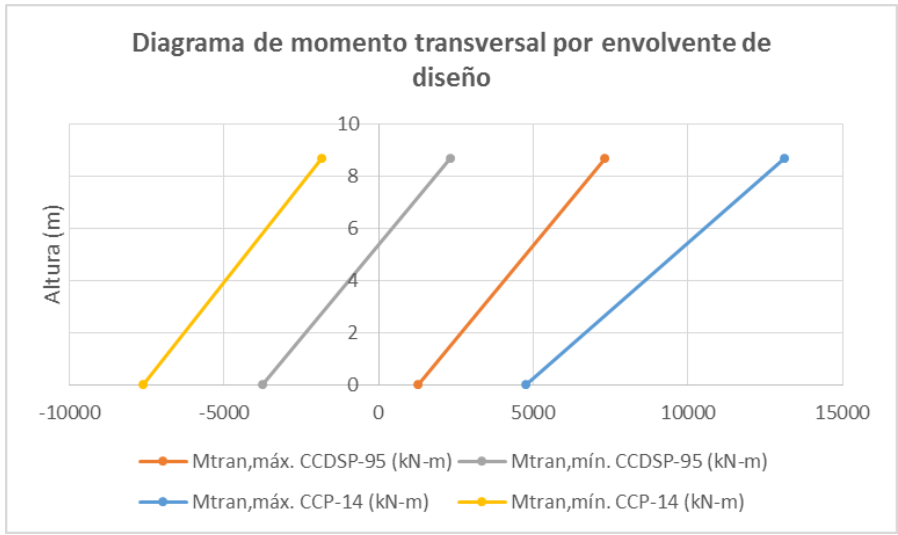


Figura 483 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

8.9.3.3 Columna eje 4

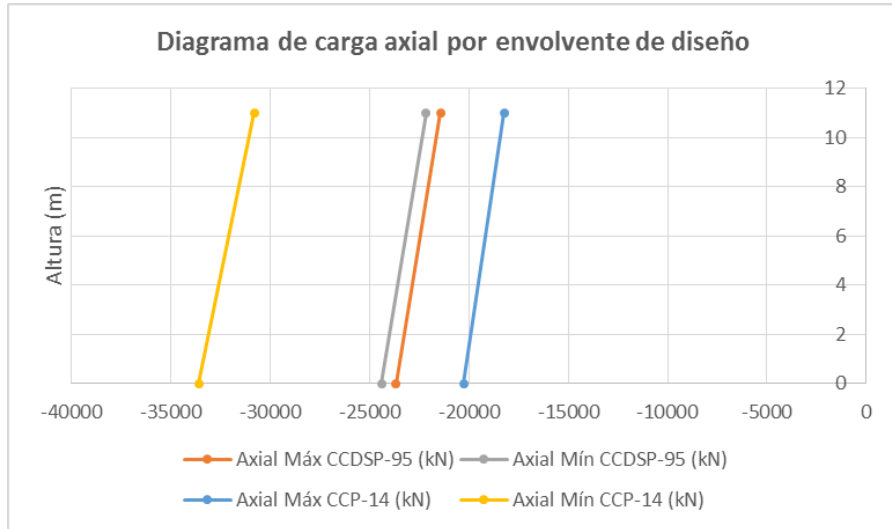


Figura 484 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

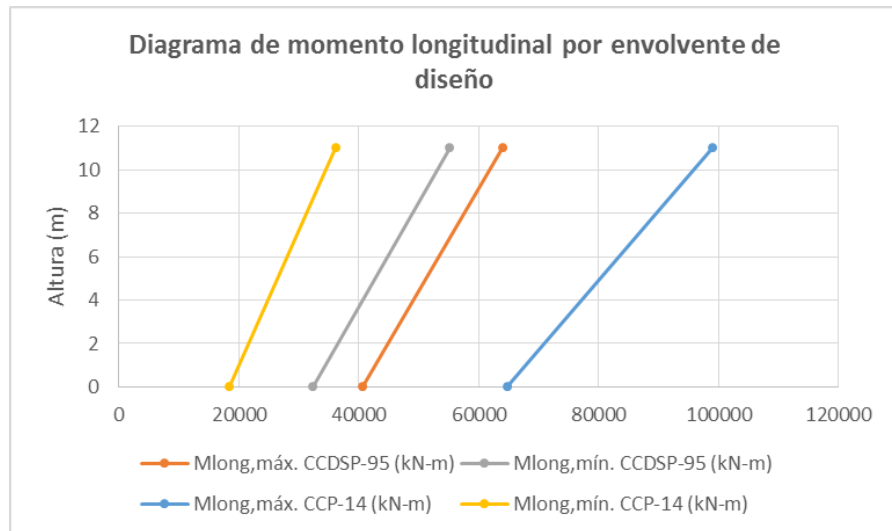


Figura 485 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

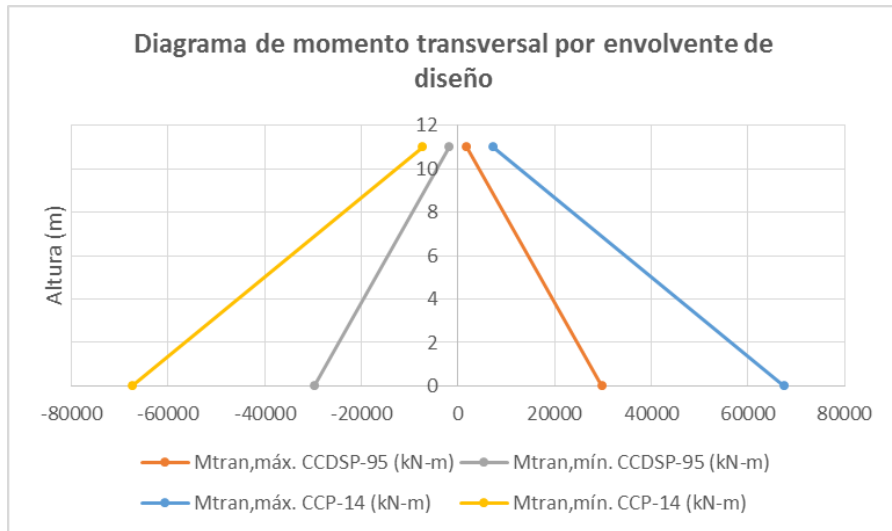


Figura 486 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

8.9.3.4 Columna eje 5

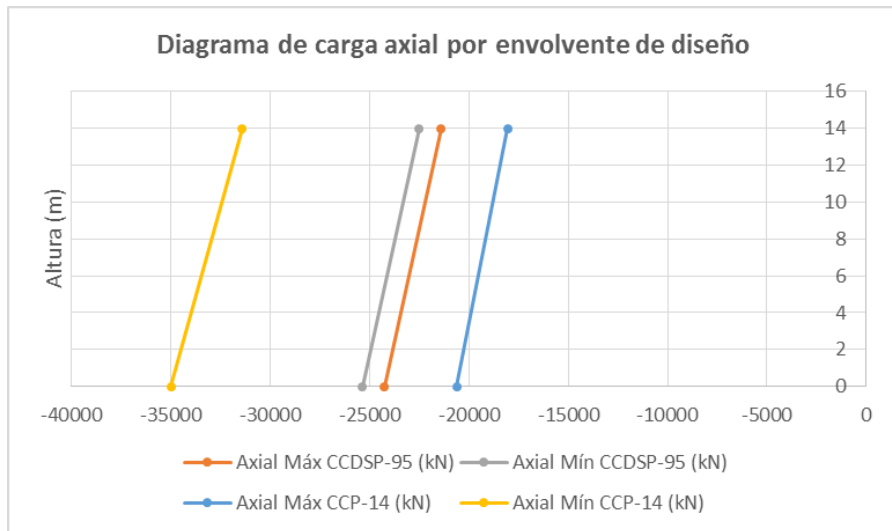


Figura 487 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

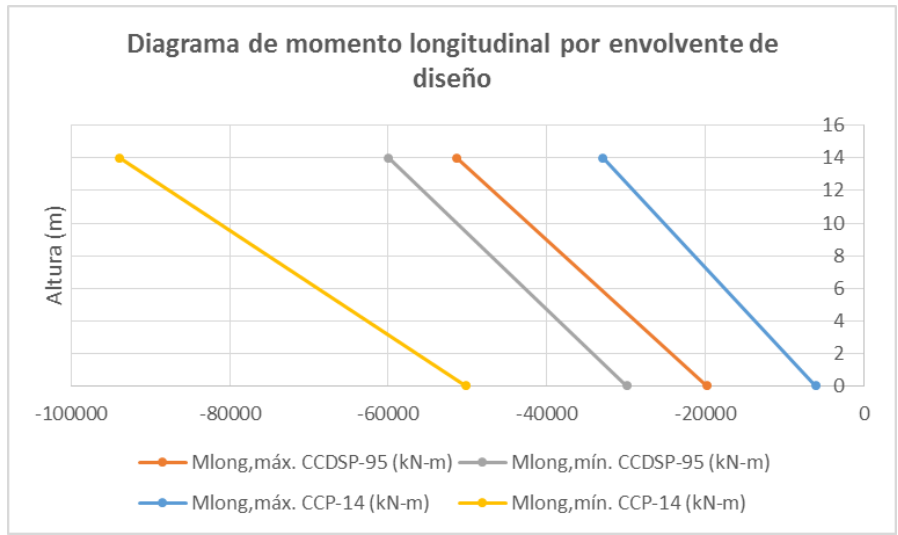


Figura 488 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

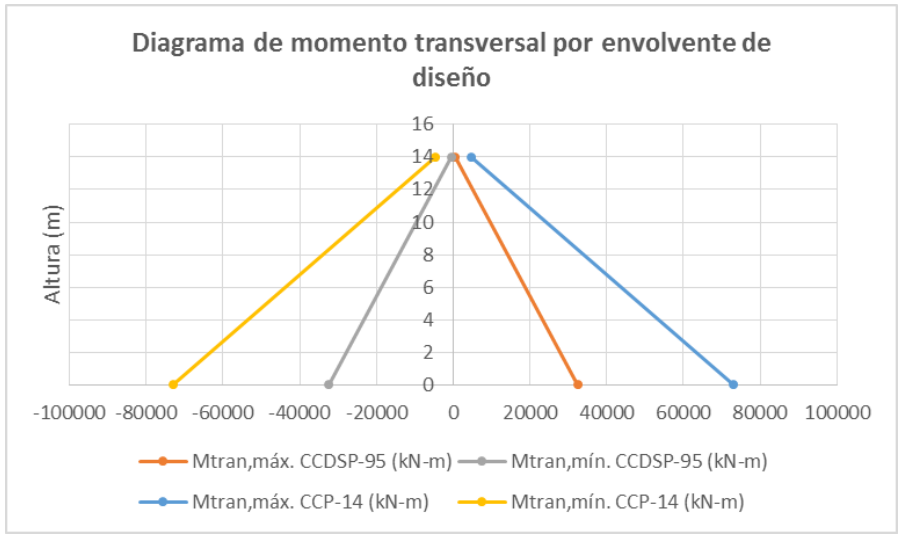


Figura 489 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

8.9.4 Combinaciones de diseño pilotes

8.9.4.1 Pilote 1 Eje 2

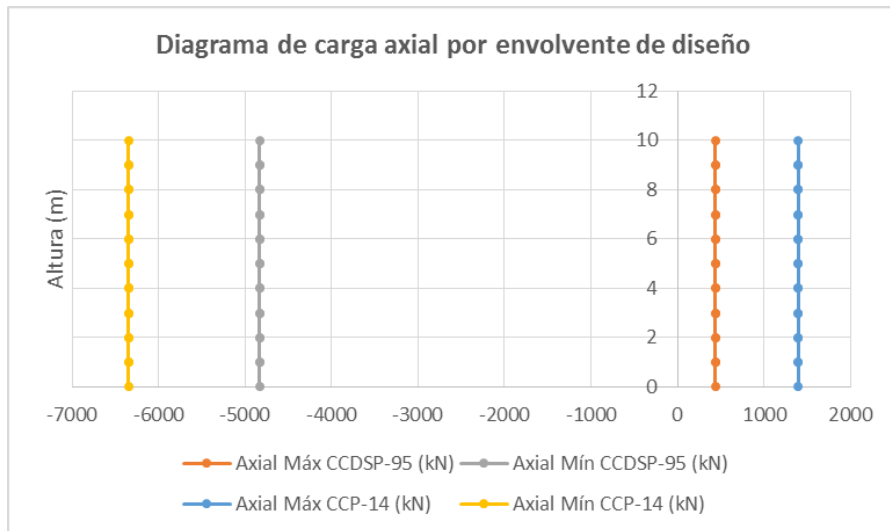


Figura 490 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

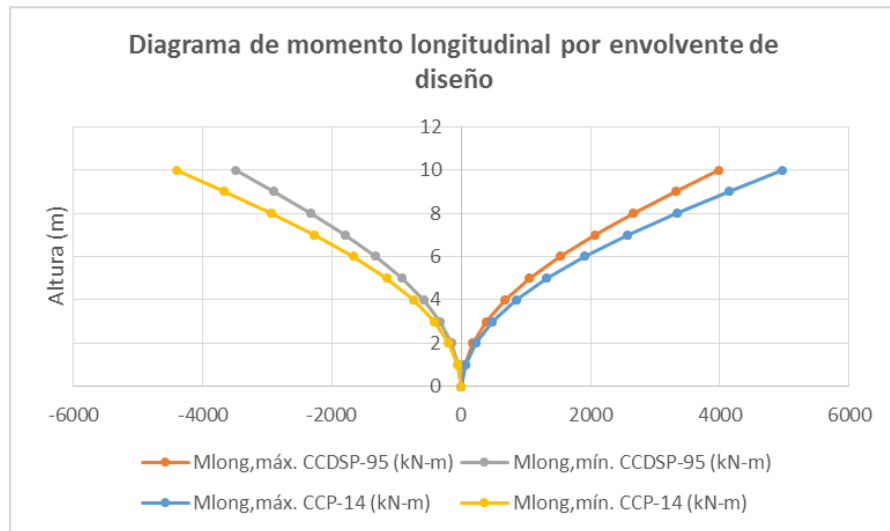


Figura 491 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Pedro

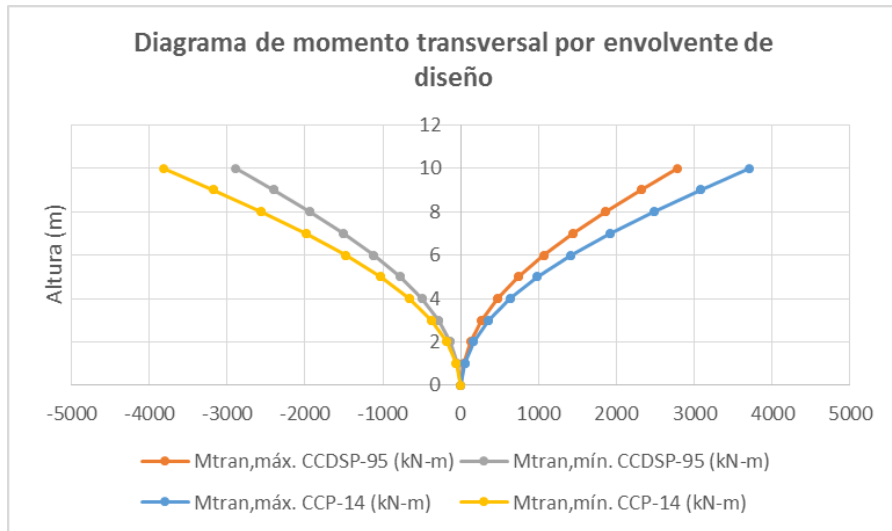


Figura 492 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Pedro

8.9.4.2 Pilote 1 Eje 3

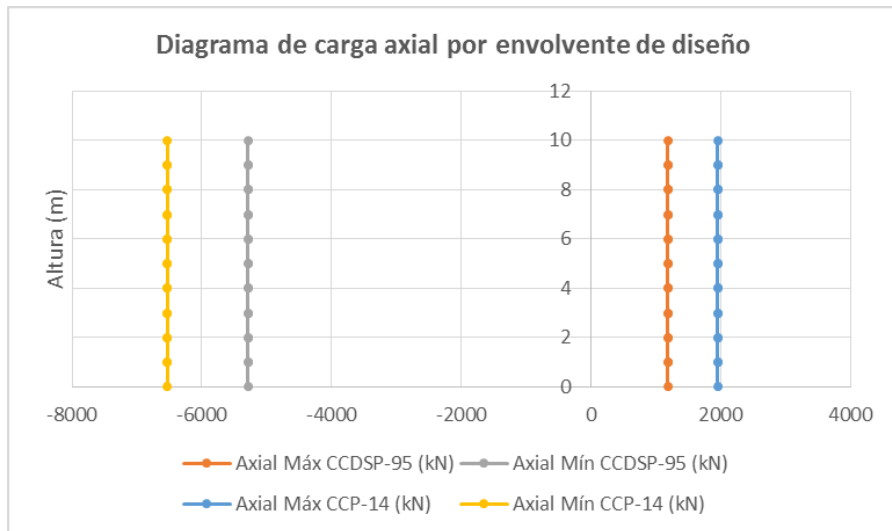


Figura 493 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

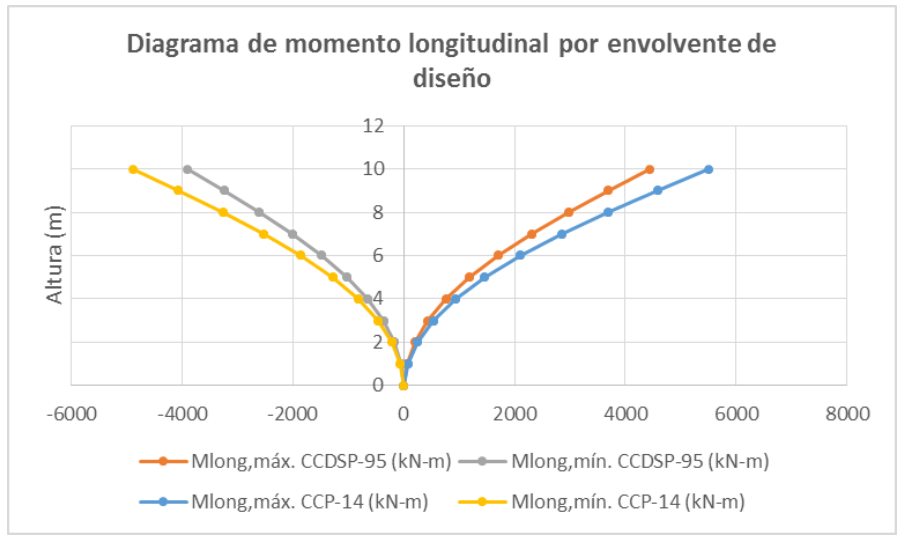


Figura 494 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Pedro

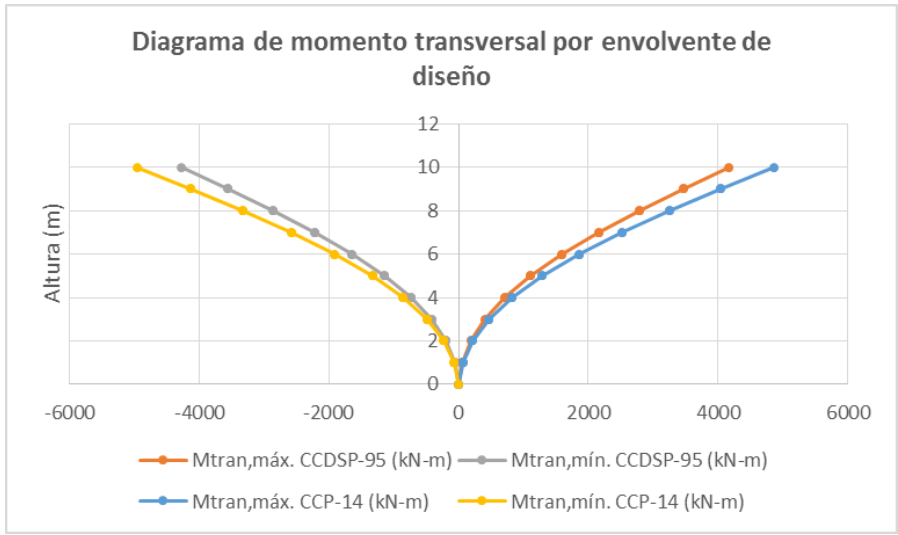


Figura 495 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Pedro

8.9.4.3 Pilote 1 Eje 4

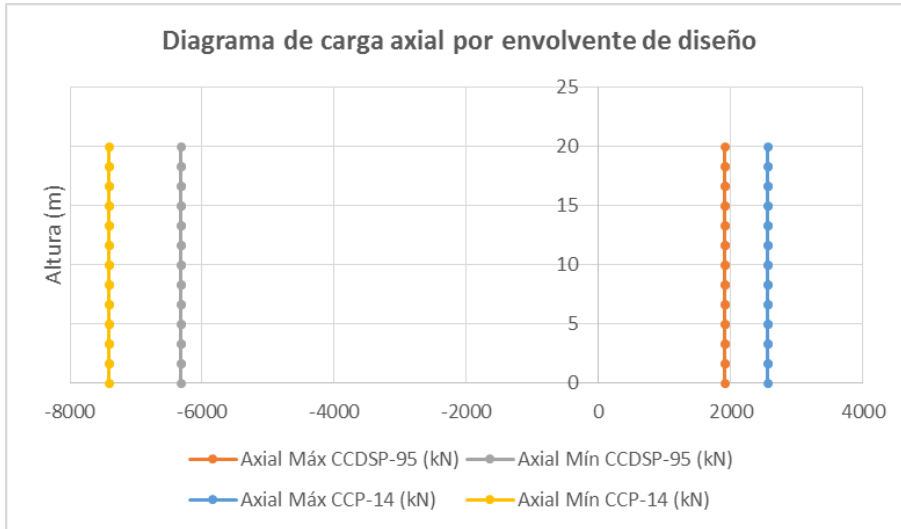


Figura 496 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puesto San Pedro

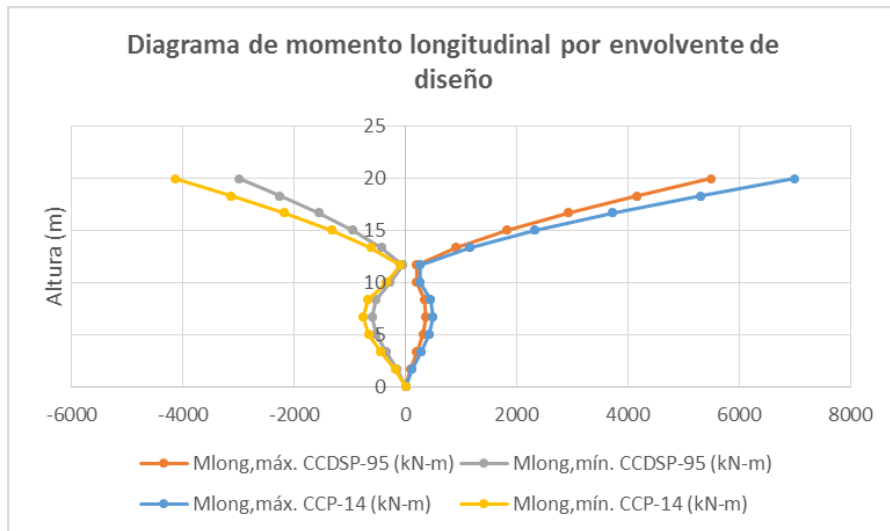


Figura 497 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puesto Pedro

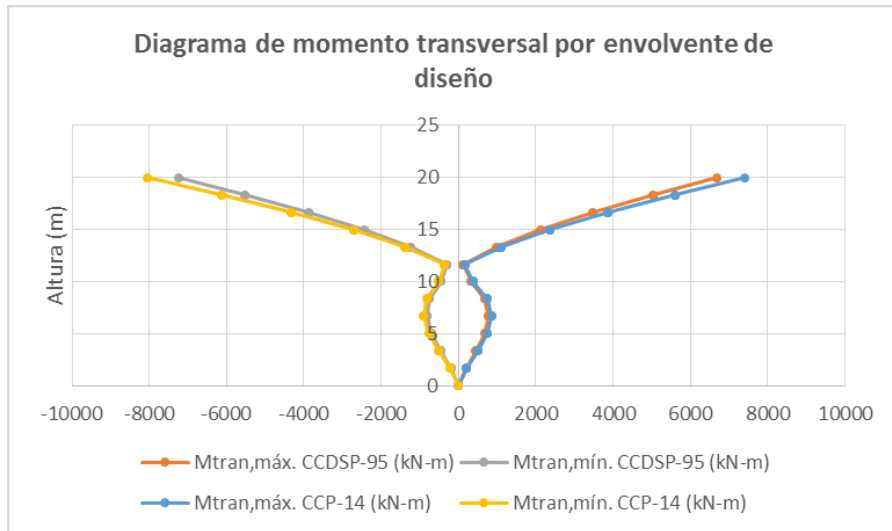


Figura 498 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Pedro

8.9.4.4 Pilote 1 Eje 5

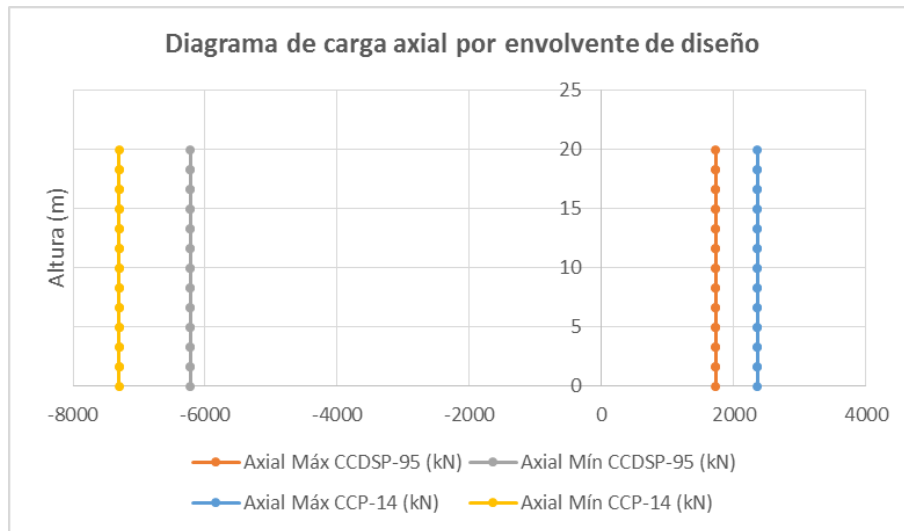


Figura 499 Comparación de diagramas de carga axial por Envoltorio de Diseño Puente San Pedro

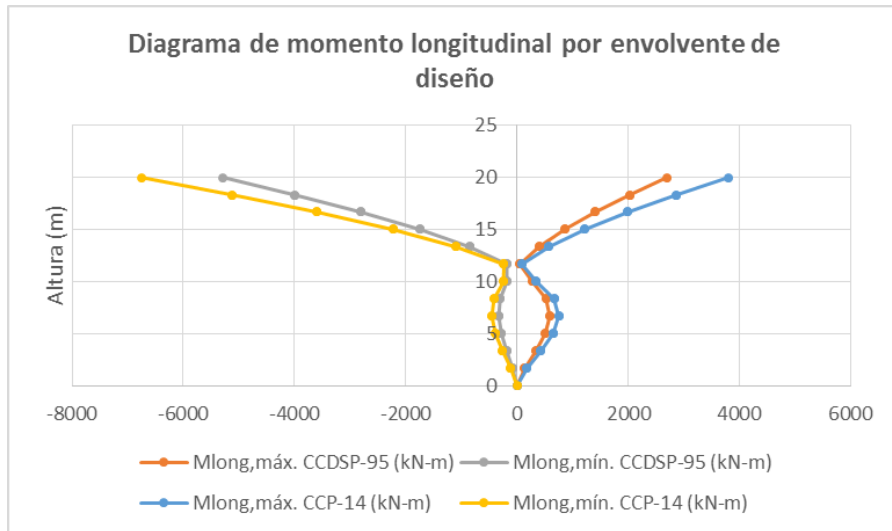


Figura 500 Comparación de diagramas de momentos longitudinales por Envoltorio de Diseño Puente Pedro

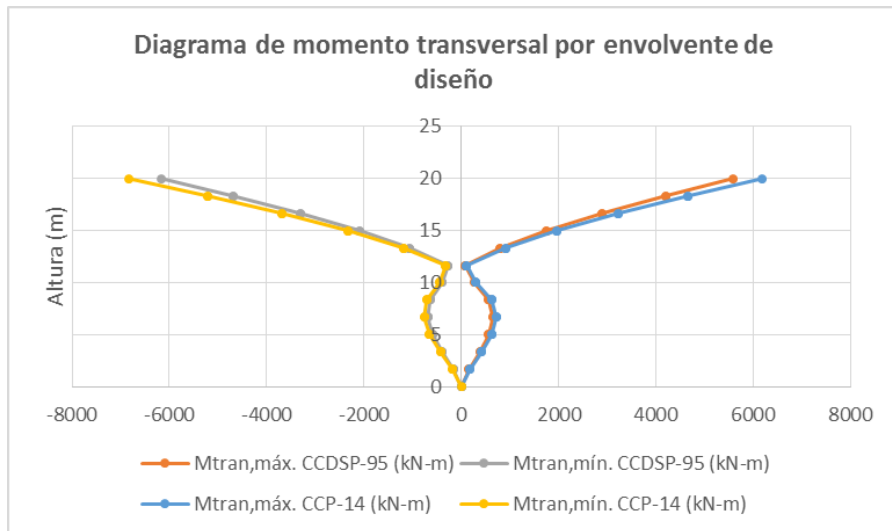


Figura 501 Comparación de diagramas de momentos transversales por Envoltorio de Diseño Puente Pedro

Capítulo IX Análisis de resultados y conclusiones

9.1 Análisis sísmico

1. Para el Puente Vía Minca, el cual se localiza en una zona de amenaza sísmica baja tenemos:

Tabla 16 Porcentaje de variación del coeficiente sísmico elástico, C_{sm} - Puente Vía Minca

Periodo (seg)	C_{sm} - CCDSP-95	C_{sm} - CC-14	% ΔC_{sm}
Longitudinal (Tx) = 0.89	0.29	0.36	24
Transversal (Ty) = 0.60	0.38	0.48	26

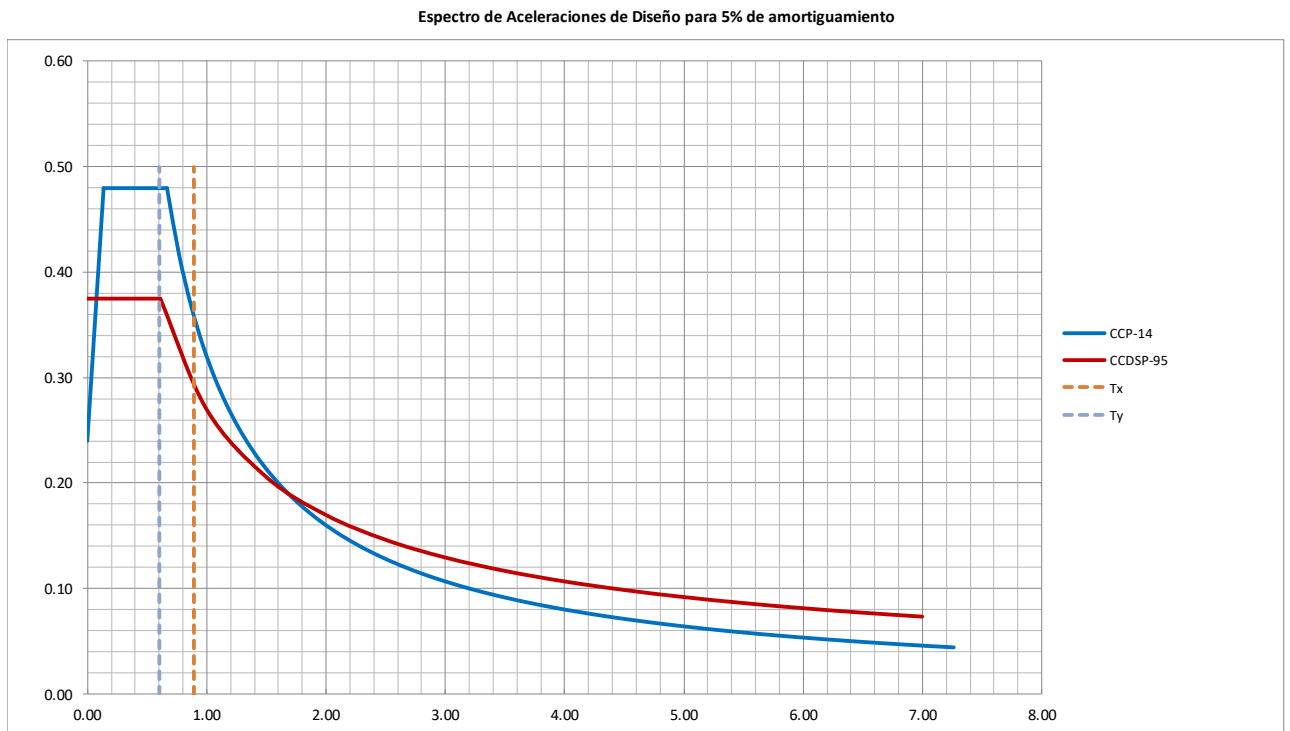


Figura 502 Espectros Puente Vía Minca

Para el Puente San Pedro el cual se localiza en una zona de amenaza sísmica intermedia tenemos:

Tabla 17 Porcentaje de variación del coeficiente sísmico elástico, C_{sm} - Puente San Pedro

Periodo (seg)	C_{sm} - CCDSP-95	C_{sm} - CC-14	% ΔC_{sm}
Longitudinal (T_x) = 0.56	0.50	0.60	20
Transversal (T_y) = 1.02	0.36	0.40	11

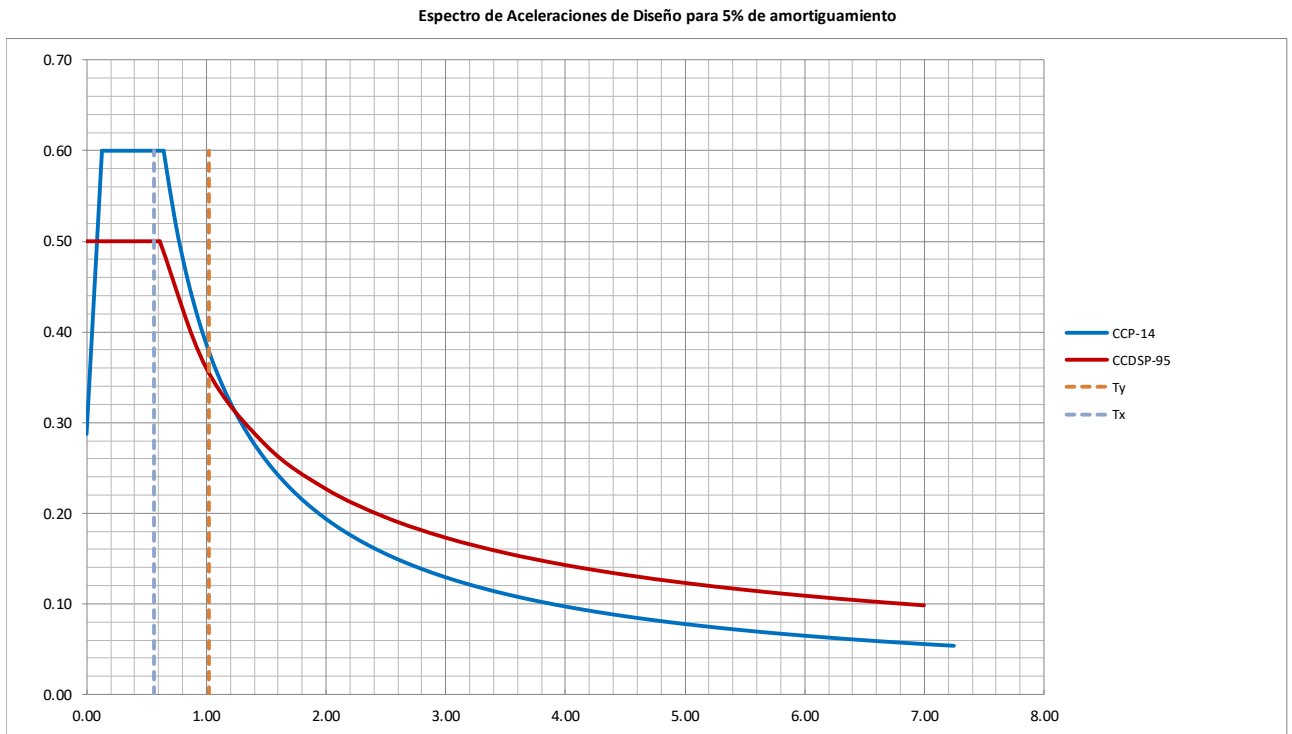


Figura 503 Espectros Puente San Pedro

Para el puente Bermúdez localizado en zona de amenaza sísmica alta tenemos:

Tabla 18 Porcentaje de variación del coeficiente sísmico elástico, C_{sm} - Puente Bermúdez

Periodo (seg)	C_{sm} - CCDSP-95	C_{sm} - CC-14	% ΔC_{sm}
Longitudinal (T_x) = 1.26	0.39	0.40	3
Transversal (T_y) = 1.31	0.38	0.39	3

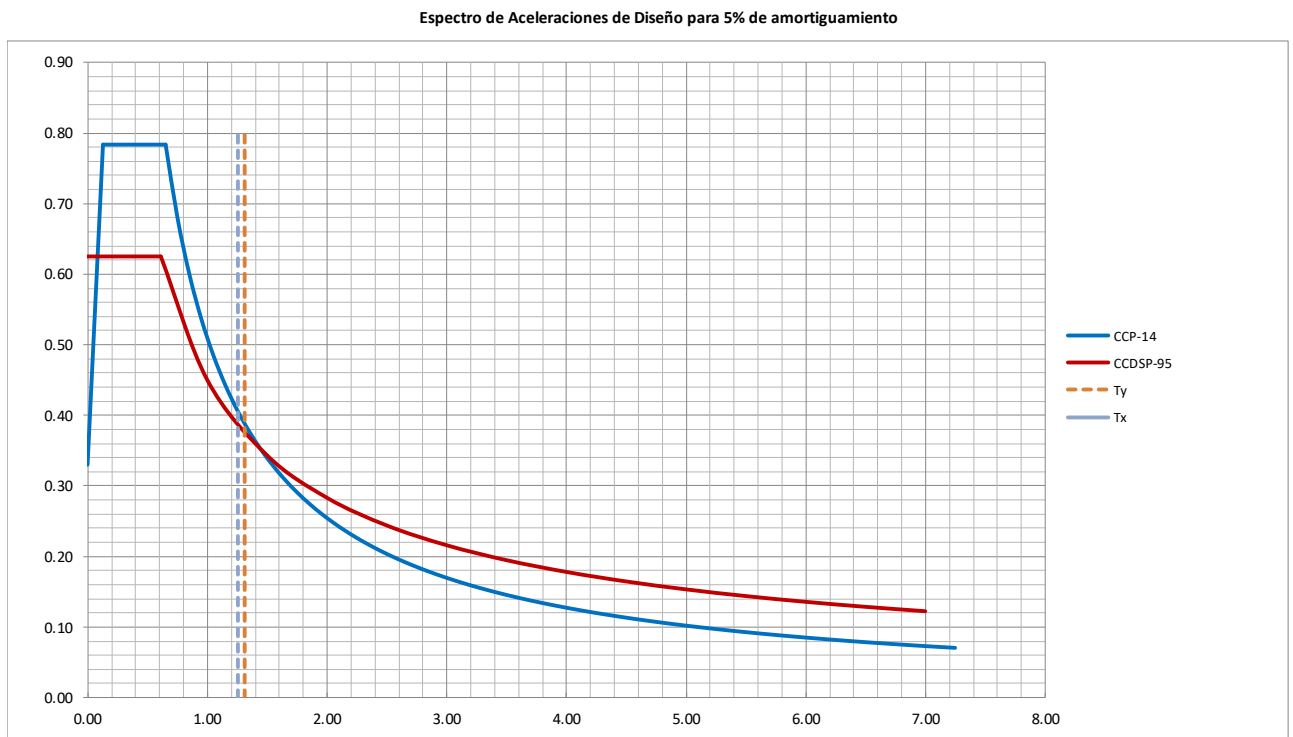


Figura 504 Espectros Puente Bermúdez

De lo anterior podemos concluir que para la tipología de puentes analizados, los periodos tienen a ser largos, por consiguiente la diferencia entre los valores del coeficiente sísmico elástico obtenidos por la norma CCP-14 con respecto a los obtenidos con el código CCDSP-95 son menores. Esto lo podemos apreciar con mayor claridad para el Puente Bermúdez, el cual tiene unos periodos bastante altos en ambos sentidos, por lo cual la diferencia entre los coeficientes para los

dos códigos es mínima, de apenas el 3%. A diferencia del Puente Vía Minca, el cual tiene unos periodos cortos, la diferencia entre los coeficientes es en promedio del 25%.

Independiente de la zona de amenaza sísmica, podemos concluir que para puentes con periodos cortos la diferencia en la fuerza sísmica es mayor, pero para estructuras con periodos largos la diferencia se va reduciendo de tal forma que para periodos muy largos (superiores a 2s) los valores del coeficiente sísmico elástico obtenidos por la nueva norma CCP-14 tienen a ser menores que los obtenidos por el código CCDSP-95.

9.2 Análisis superestructura

1. Para el puente Vía Minca el porcentaje de variación para momentos positivos obtenidos por carga viva es del 29% y para momentos negativos es del 7%

Como se puede observar en la siguiente gráfica, la mayor variación se aprecia en los momentos positivos, a diferencia de los momentos negativos, en los cuales las variaciones se dan en puntos intermedio a los puntos máximos de esfuerzos.

El cortante máximo como mínimo tiene un porcentaje de variación del 20%.

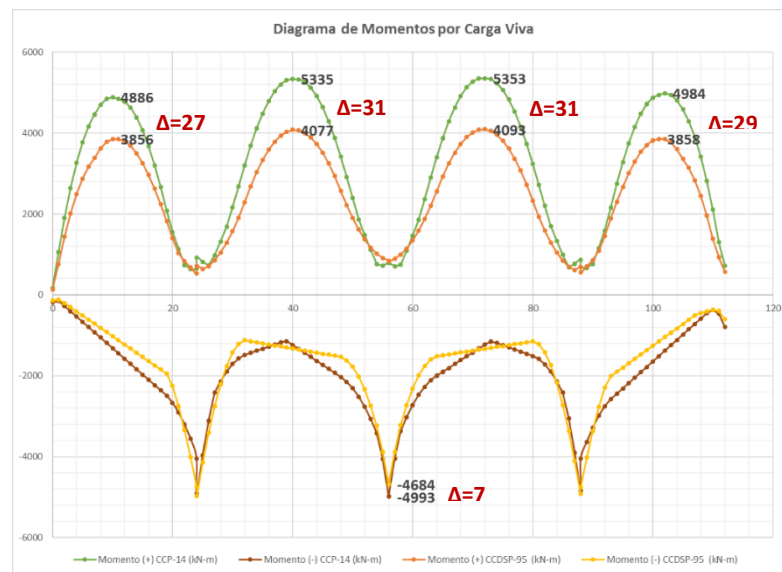


Figura 505 Porcentaje de variación para momentos por carga viva Puente Minca

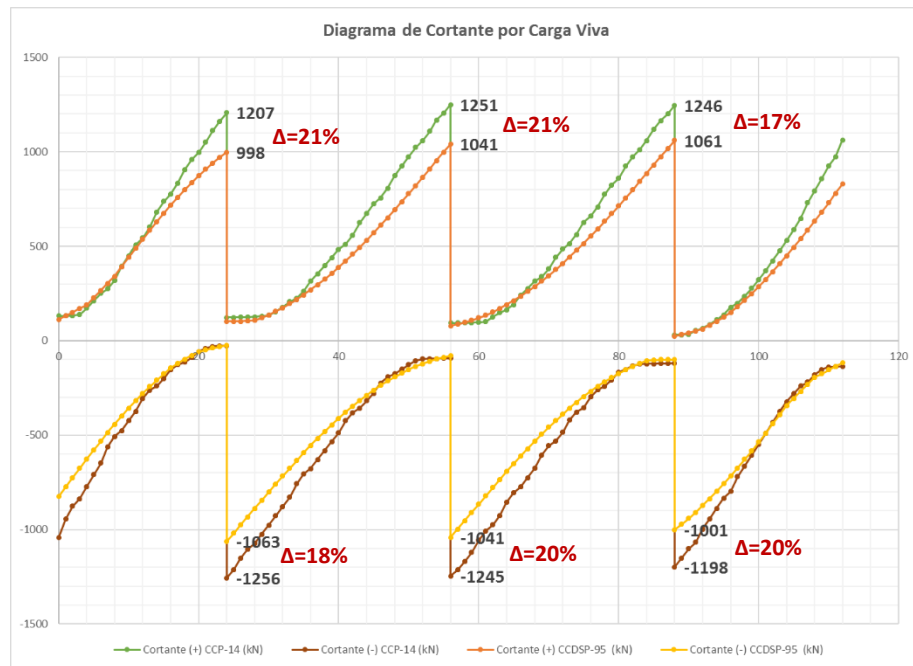


Figura 506 Porcentaje de variación para cortantes por carga viva Puento Minca

Para la envolvente de diseño se puede apreciar que la diferencia en los diagramas es mínima. Para los momentos máximos el porcentaje de variación es del 4% y para momentos negativos tenemos un promedio del 10% en el cual el momento por el código CCDSP-95 es mayor que la norma CCP-14.

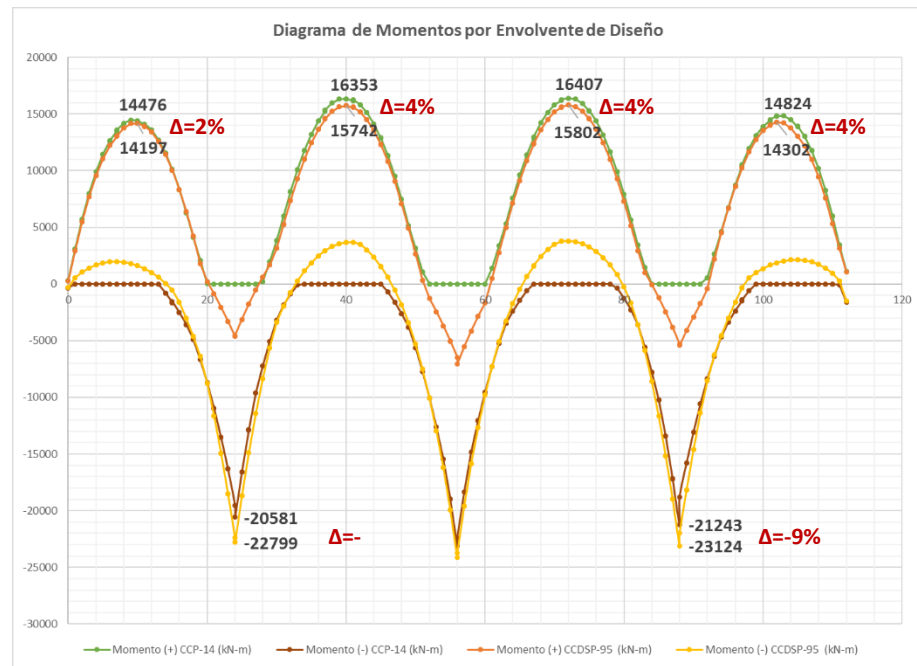


Figura 507 Porcentaje de variación para momentos por envoltorio de diseño Puesto Minca

Para los valores de cortante se puede apreciar que los diagramas son prácticamente iguales para los dos códigos, con diferencias en promedio del 1%.

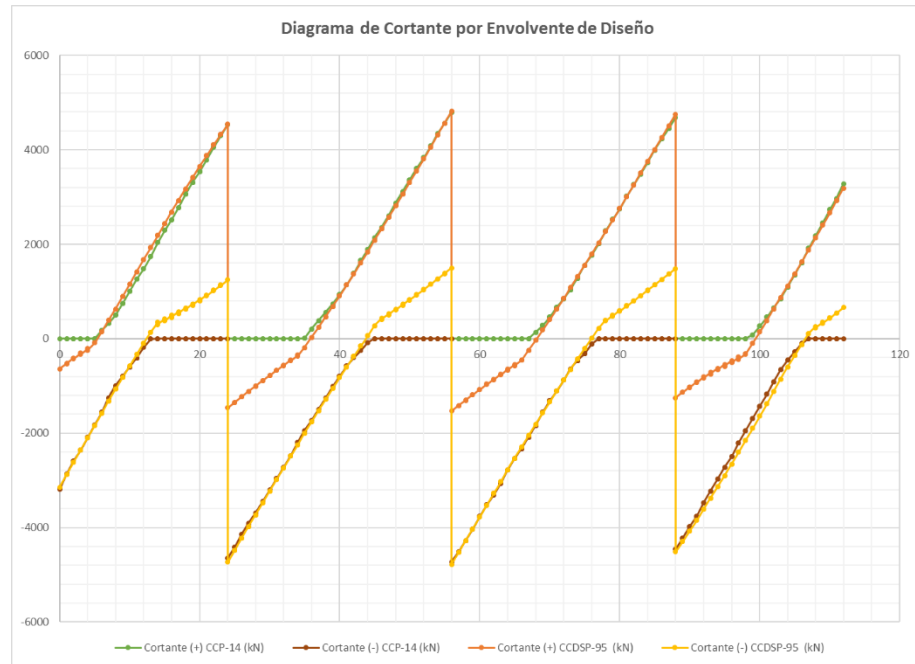


Figura 508 Porcentaje de variación para cortantes por envolverte de diseño Puesto Minca

2. Para el puente San Pedro, en la zona donde la viga es continua, la variación para momentos positivos por carga viva es del 28% y para momentos negativos es del 25%

Para la viga simplemente apoyada el porcentaje de variación del momento positivo bajo carga viva es del 21%.

Los valores de corte para la viga continua, tanto para valores positivos como negativos, tiene un porcentaje de variación del 31%. Para la viga simplemente apoyada, el corte tiene un porcentaje de variación del 11%.

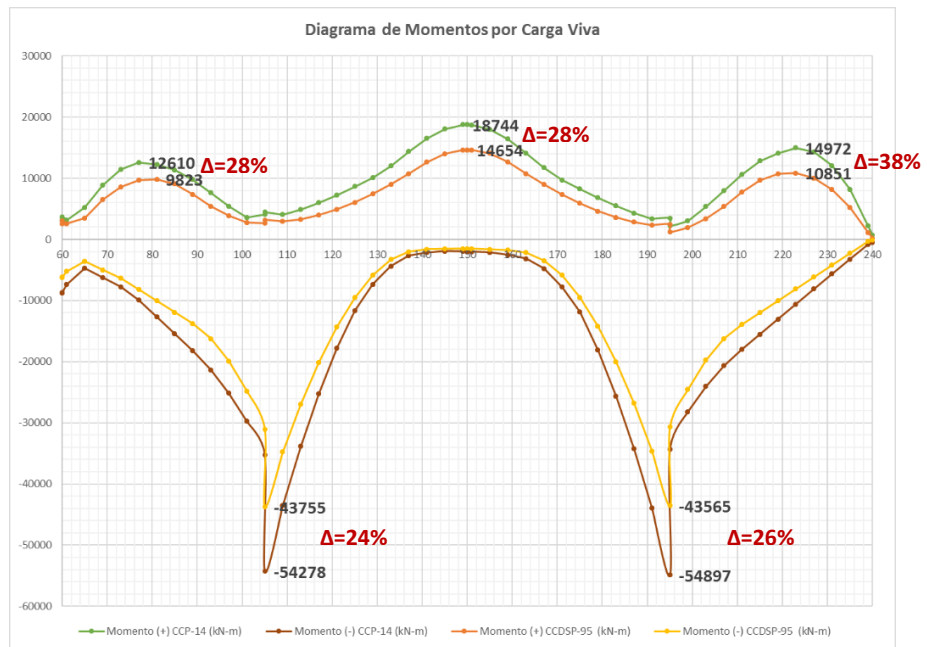


Figura 509 Porcentaje de variación para momentos por carga viva Puente San Pedro – Viga Continua

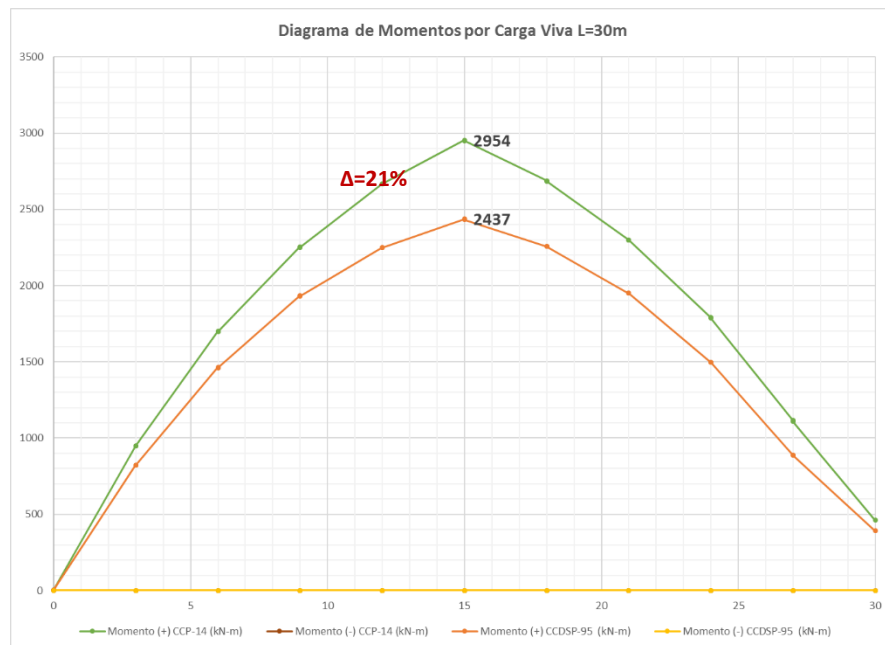


Figura 510 Porcentaje de variación para momentos por carga viva Puente San Pedro – Viga simplemente apoyada

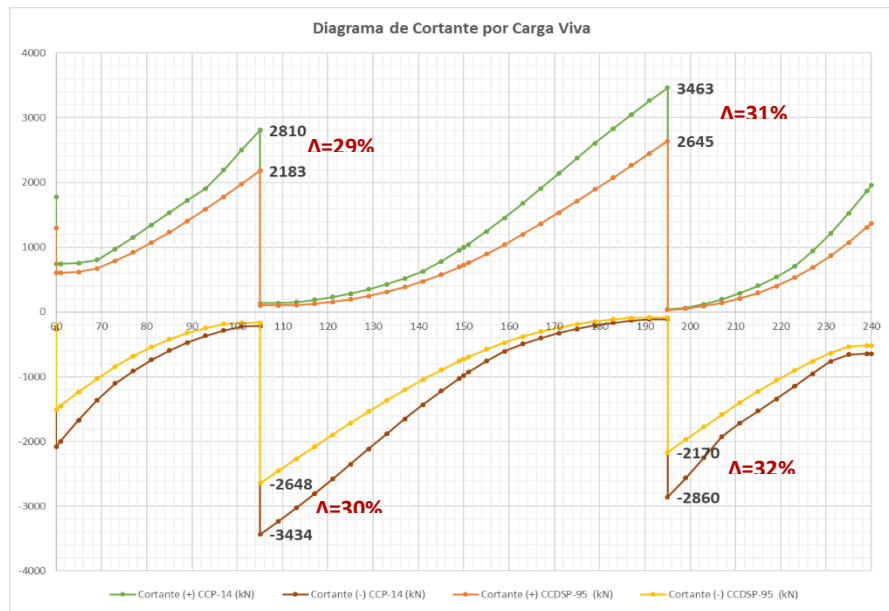


Figura 511 Porcentaje de variación para cortante por carga viva Puente San Pedro – Viga Continua

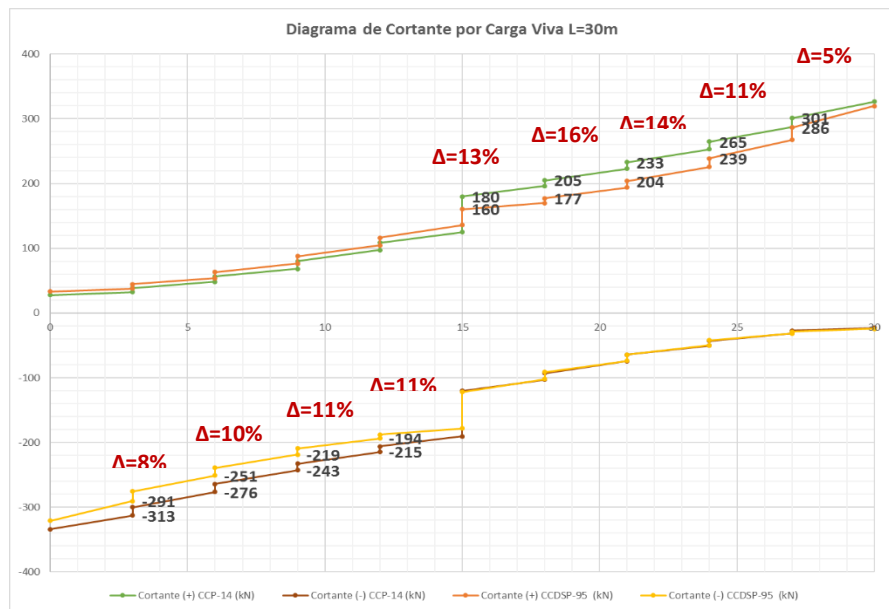


Figura 512 Porcentaje de variación para cortante por carga viva Puente San Pedro – Viga simplemente apoyada

Para la envolvente de diseño en la viga continua se puede apreciar que la diferencia en los diagramas es mínima. Para los momentos máximos el porcentaje de variación es del 5% y para momentos negativos tenemos un promedio del 3%.

Para la luz simplemente apoyada de igual forma se tiene un porcentaje bajo de variación, a penas del 2%, pero en este caso el momento máximo se obtuvo con el código CCDSP-95.

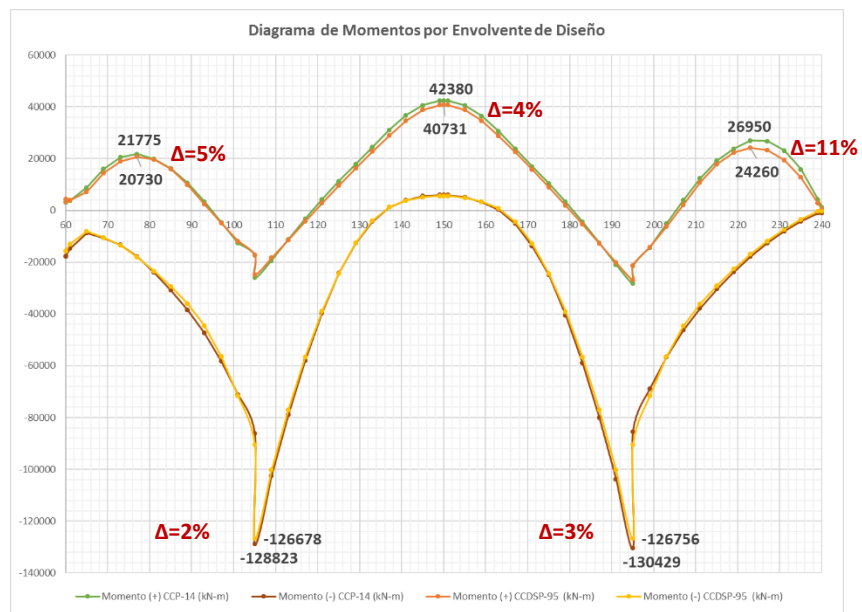


Figura 513 Porcentaje de variación para momentos por envolvente de diseño Puente San Pedro – Viga Continua

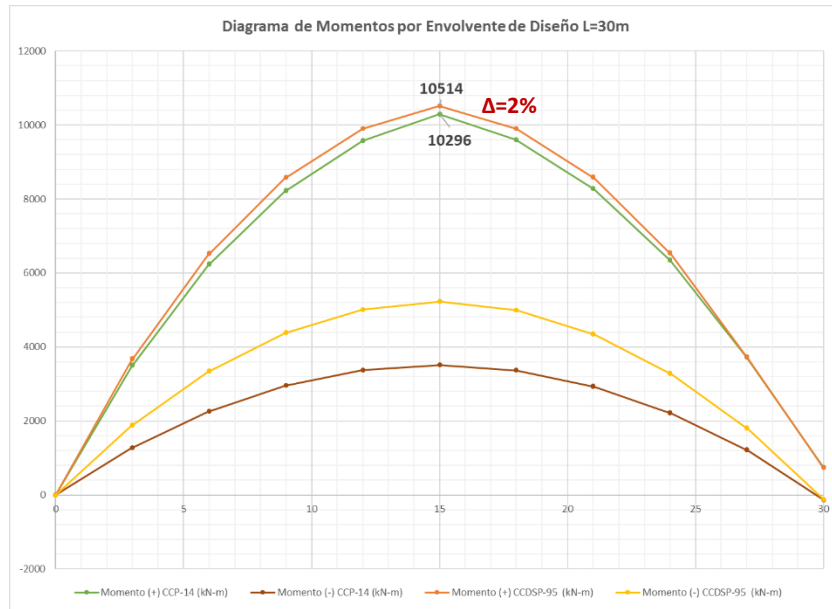


Figura 514 Porcentaje de variación para momentos por envoltorio de diseño Puente San Pedro – Viga simplemente apoyada

Los valores de cortante en la viga continua tienen un porcentaje de variación en promedio del 8% para valores positivos y negativos.

En la luz simplemente apoyada el cortante varía en un 11% siendo mayor el valor obtenido por el código CCDSP-95.

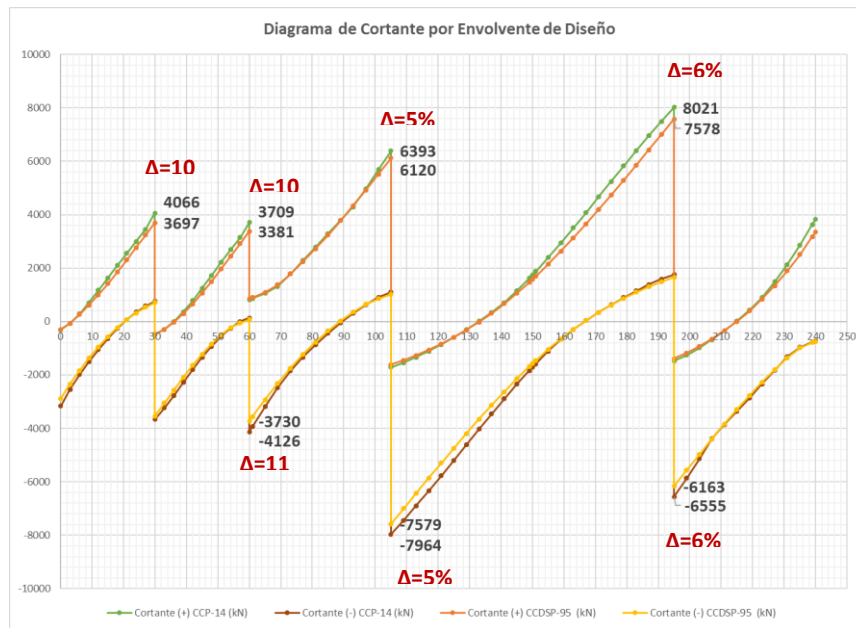


Figura 515 Porcentaje de variación para cortante por envoltorio de diseño Puente San Pedro – Viga Continua

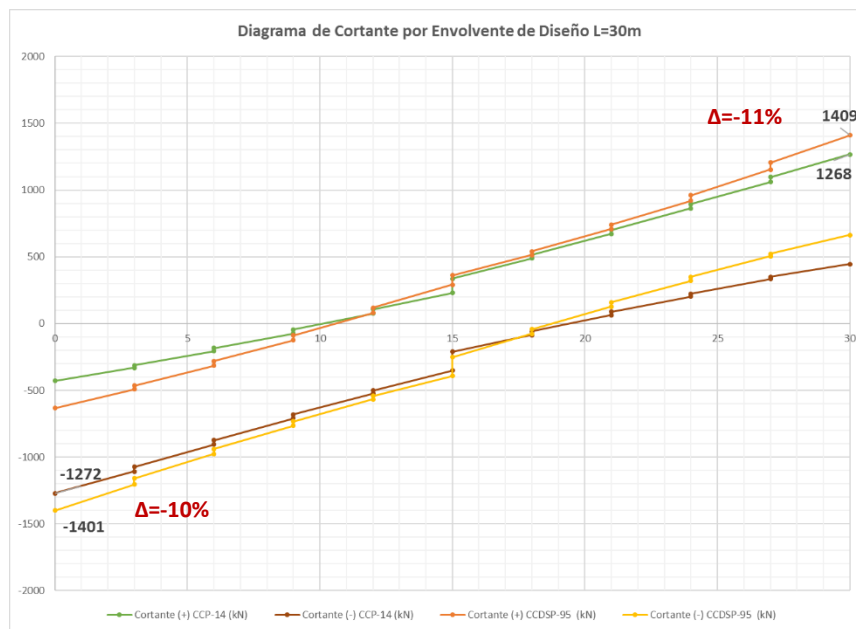


Figura 516 Porcentaje de variación para cortante por envoltorio de diseño Puente San Pedro – Viga simplemente apoyada

3. En el puente Bermúdez el porcentaje de variación de los momentos positivos máximos bajo carga viva en promedio es del 53% y para los momentos negativos es del 30%. El cortante máximo como mínimo tiene un porcentaje de variación del 51%.

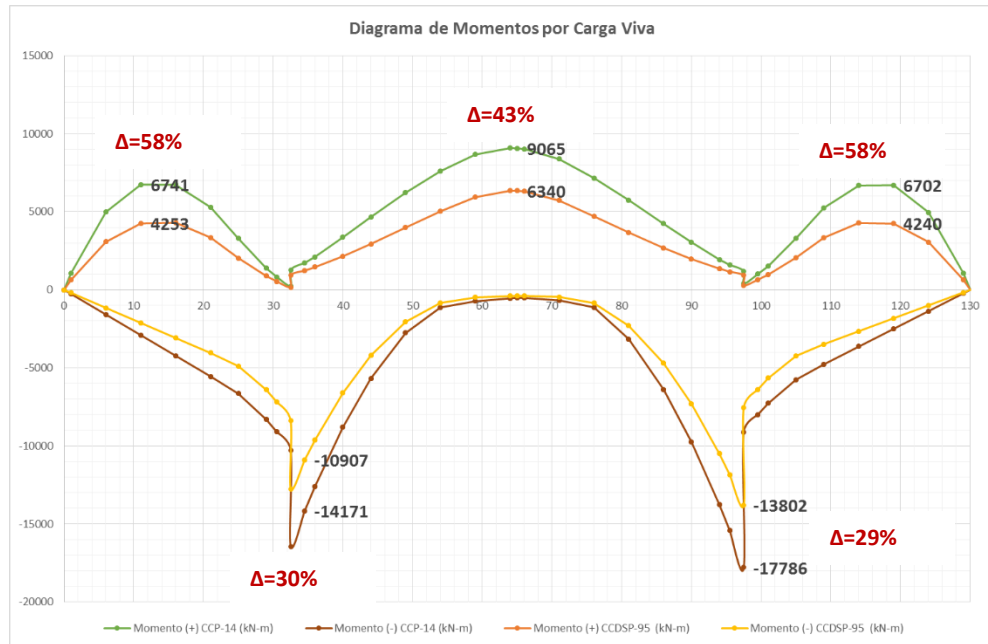


Figura 517 Porcentaje de variación para momentos por carga viva Puente Bermúdez

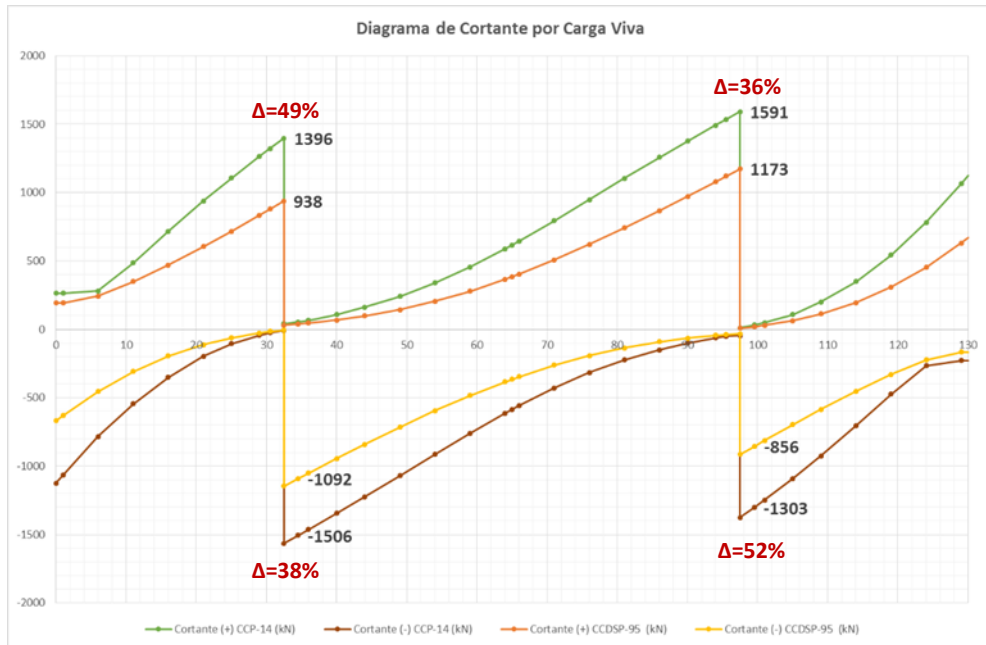


Figura 518 Porcentaje de variación para cortante por carga viva Puente Bermúdez

Bajo condiciones de diseño el porcentaje de variación para el momento máximo positivo es del 5%. Para el momento negativo máximo es del 16%, pero en este caso el valor máximo se obtuvo con el código CCDSP-95.

El cortante máximo positivo y negativo tienen una diferencia del 2%, siendo mayor el valor obtenido por el código CCDSP-95.

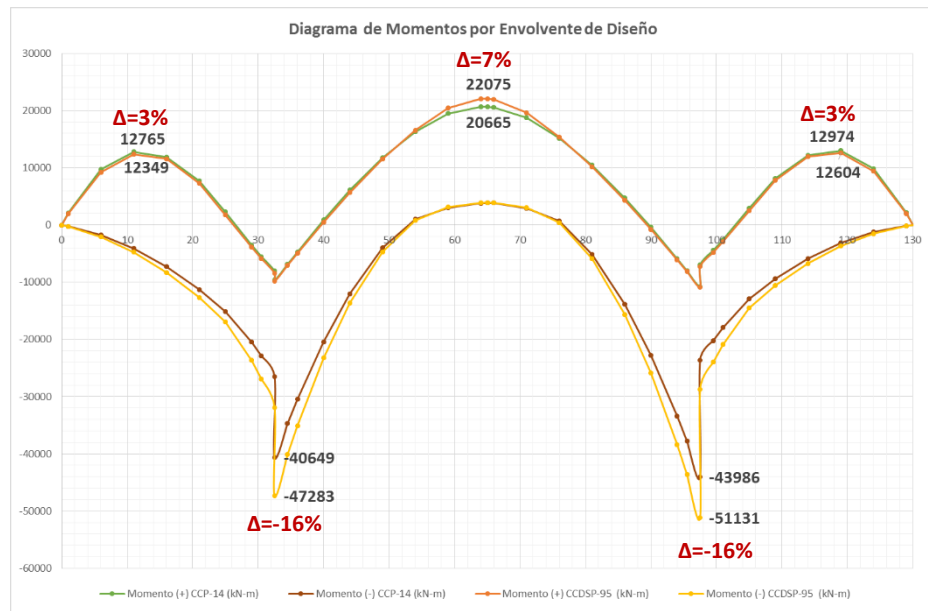


Figura 519 Porcentaje de variación para momentos por envoltorio de diseño Puente Bermúdez

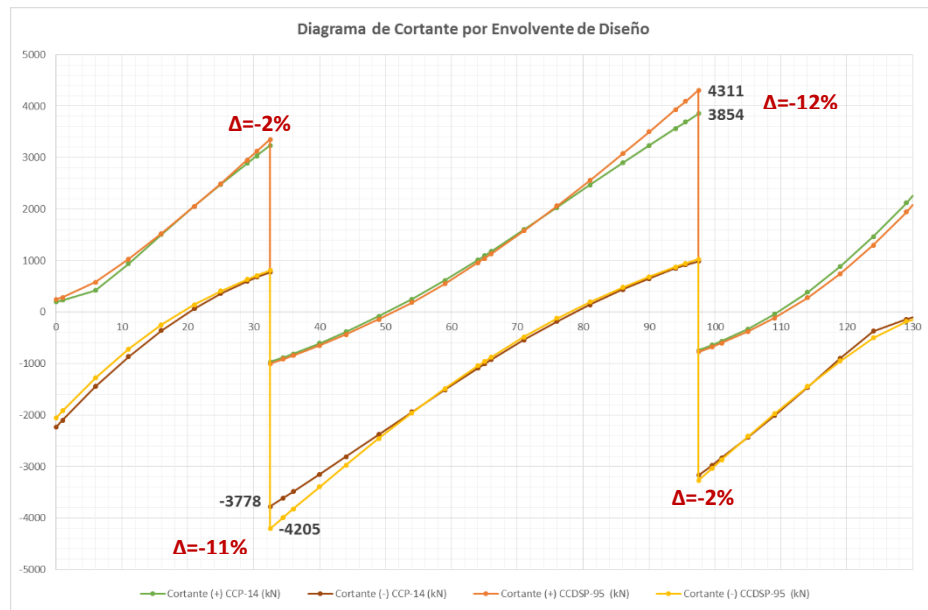


Figura 520 Porcentaje de variación para cortante por envoltorio de diseño Puente Bermúdez

4. De los resultados presentados anteriormente, a continuación, se presentan tablas resumen con los valores para cada una de las condiciones analizadas.

Tabla 19 Porcentaje de variación de momentos por carga viva en vigas

Puente	% de variación para M+ por Carga Viva	% de variación para M- por Carga Viva
Vía Minca	29%	7%
Bermúdez	55%	35%
San Pedro	28%	25%

Tabla 20 Porcentaje de variación de cortante por carga viva en vigas

Puente	% de variación para V+ por Carga Viva	% de variación para V- por Carga Viva
Vía Minca	20%	19%
Bermúdez	51%	51%
San Pedro	30%	31%

Tabla 21 Porcentaje de variación de momentos por combinación de diseño en vigas

Puente	% de variación para M+ por Combinación de diseño	% de variación para M- por Combinación de diseño
Vía Minca	4%	-10%
Bermúdez	9%	-6%
San Pedro	5%	3%

Nota: El valor negativo indica que el valor obtenido por el código CCDSP-95 es mayor al obtenido por la norma CCP-14.

Tabla 22 Porcentaje de variación de cortante por combinación de diseño en vigas

Puente	% de variación para V+ por Combinación de diseño	% de variación para V- por Combinación de diseño
Vía Minca	1%	-1%
Bermúdez	-2%	-2%
San Pedro	8%	8%

Nota: El valor negativo indica que el valor obtenido por el código CCDSP-95 es mayor al obtenido por la norma CCP-14.

De lo anterior se puede concluir que la modificación realizada a la carga viva, incluyendo el camión de diseño, el factor de impacto, el factor de multipresencia, los factores de carga y las combinaciones de diseño dan como resultado final variaciones pequeñas en los esfuerzos obtenidos para el diseño de puentes continuos. Por consiguiente, se puede afirmar que el impacto en el diseño de superestructuras de puentes con la norma CCP-14 es mínimo con respecto a lo que por durante años se realizó con el código CCDSP-95, y por consiguiente estos puentes no sufrirán alteración alguna con las nuevos criterios de carga.

9.3 Análisis subestructura

1. Del análisis de la subestructura de los Puentes Vía Minca, Bermúdez y San Pedro, a continuación, se presentan tablas resumen con los porcentajes de variación de los esfuerzos para las columnas bajo fuerzas sísmicas.

Tabla 23 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en columnas Puente Vía Minca

Columna	Sismo Longitudinal			Sismo Transversal		
	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}
Eje 2	30%	22%	35%	30%	31%	31%
Eje 3	30%	21%	33%	30%	28%	24%
Eje 4	30%	21%	32%	30%	28%	34%
Promedio	30%	21%	33%	30%	29%	30%

Tabla 24 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en columnas Puente Bermúdez

Columna	Sismo Longitudinal			Sismo Transversal		
	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}
Eje 2	24%	6%	21%	24%	24%	22%
Eje 3	24%	6%	20%	24%	24%	23%
Promedio	24%	6%	20%	24%	24%	22%

Tabla 25 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en columnas Puente San Pedro

Columna	Sismo Longitudinal			Sismo Transversal		
	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}
Eje 2	20%	20%	20%	19%	19%	19%
Eje 3	19%	20%	19%	12%	14%	12%
Eje 4	17%	16%	23%	17%	15%	10%
Eje 5	18%	17%	20%	17%	16%	13%
Promedio	18%	18%	21%	16%	16%	14%

2. Del análisis de la subestructura de los Puentes Vía Minca, Bermúdez y San Pedro, a continuación, se presentan tablas resumen con los porcentajes de variación de los esfuerzos para los pilotes bajo fuerzas sísmicas.

Tabla 26 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en pilotes Puente Vía Minca

Pilote	Sismo Longitudinal			Sismo Transversal		
	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}
Pilote 1 Eje 2	31%	21%	36%	28%	30%	30%
Pilote 2 Eje 2	30%	21%	36%	28%	30%	30%
Pilote 3 Eje 3	32%	19%	29%	26%	23%	25%
Pilote 4 Eje 3	32%	19%	29%	26%	22%	25%
Pilote 5 Eje 4	30%	20%	22%	27%	19%	27%
Pilote 6 Eje 4	29%	20%	22%	27%	21%	27%
Promedio	30%	20%	29%	27%	24%	27%

Tabla 27 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en pilotes Puente Bermúdez

Pilote	Sismo Longitudinal			Sismo Transversal		
	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}
Pilote 1 Eje 2	14%	28%	12%	21%	29%	23%
Pilote 2 Eje 2	14%	6%	8%	21%	22%	20%
Pilote 3 Eje 2	14%	7%	9%	21%	22%	20%
Pilote 4 Eje 2	14%	7%	9%	21%	22%	20%
Pilote 5 Eje 3	12%	7%	11%	21%	23%	21%
Pilote 6 Eje 3	12%	7%	11%	21%	23%	21%
Pilote 7 Eje 3	12%	7%	9%	21%	23%	21%
Pilote 8 Eje 3	12%	7%	9%	21%	23%	21%
Promedio	13%	9%	10%	21%	23%	21%

Tabla 28 Porcentaje de variación de esfuerzos por fuerza sísmica en pilotes Puente San Pedro

Pilote	Sismo Longitudinal			Sismo Transversal		
	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}	Δ Axial	Δ M _{long.}	Δ M _{tran.}
Pilote 1 Eje 2	20%	20%	20%	19%	18%	20%
Pilote 1 Eje 3	20%	20%	20%	12%	12%	14%
Pilote 1 Eje 4	17%	20%	17%	9%	15%	9%
Pilote 1 Eje 5	18%	20%	18%	9%	15%	9%
Promedio	19%	20%	19%	12%	15%	13%

3. A diferencia de los porcentajes de variación de los esfuerzos últimos de diseño de las columnas, en los pilotes los porcentajes de variación son menores, teniendo en cuenta que para el diseño de estos elementos el coeficiente de reducción sísmica para los dos códigos es de 1.

A continuación, se presenta un resumen de los porcentajes de variación de los esfuerzos últimos en los pilotes.

Tabla 29 Porcentaje de variación de esfuerzos por envoltorio de diseño Puente Vía Minca

Pilote	Δ Axial MÍN	Δ M_{long,máx.}	Δ M_{long,mín.}	Δ M_{tran,máx.}	Δ M_{tran,mín.}
Pilote 1 Eje 2	39%	31%	26%	47%	37%
Pilote 2 Eje 2	39%	31%	26%	37%	48%
Pilote 3 Eje 3	39%	45%	43%	32%	30%
Pilote 4 Eje 3	39%	45%	42%	30%	33%
Pilote 5 Eje 4	41%	53%	44%	34%	32%
Pilote 6 Eje 4	40%	53%	44%	31%	35%
Promedio	40%	43%	37%	35%	36%

Tabla 30 Porcentaje de variación de esfuerzos por envoltorio de diseño Puente Bermúdez

Pilote	Δ Axial MÍN	Δ M_{long,máx.}	Δ M_{long,mín.}	Δ M_{tran,máx.}	Δ M_{tran,mín.}
Pilote 1 Eje 2	32%	9%	10%	25%	25%
Pilote 2 Eje 2	32%	9%	10%	25%	25%
Pilote 3 Eje 2	23%	9%	9%	25%	24%
Pilote 4 Eje 2	23%	9%	9%	24%	25%
Pilote 5 Eje 3	19%	9%	9%	23%	23%
Pilote 6 Eje 3	19%	9%	9%	23%	23%
Pilote 7 Eje 3	29%	10%	9%	23%	23%
Pilote 8 Eje 3	29%	10%	9%	23%	23%
Promedio	26%	9%	9%	24%	24%

Tabla 31 Porcentaje de variación de esfuerzos por envolvente de diseño Puente San Pedro

Pilote	Δ Axial MÍN	Δ M_{long,máx.}	Δ M_{long,mín.}	Δ M_{tran,máx.}	Δ M_{tran,mín.}
Pilote 1 Eje 2	31%	25%	26%	33%	32%
Pilote 1 Eje 3	23%	24%	26%	17%	17%
Pilote 1 Eje 4	17%	31%	36%	12%	12%
Pilote 1 Eje 5	17%	37%	33%	13%	12%
Promedio	22%	29%	30%	19%	18%

4. Como conclusión final para el caso de la infraestructura, tenemos: para las combinaciones de diseño los valores de variación son bastante altos, podemos hablar de incrementos hasta del 200% en esfuerzos, esto teniendo en cuenta que para el diseño de las columnas los valores en los coeficientes de reducción sísmica para los tres puentes analizados cambiaron en un 50%, ya que con el código CCDSP-95 se venía trabajando con un valor de $R_0=3.0$ y con la norma CCP-14 se cambió a un valor de $R_0=1.5$. De igual forma el hecho de incluir la carga viva, en nuestro caso se tuvo en cuenta un porcentaje de 50% para las combinaciones de la norma CCP-14, valor el cual anteriormente no era tenido en cuenta en el código CCDSP-95. Adicionalmente como se mencionó anteriormente, la fuerza sísmica se incrementó. Todos estos factores juntos influyen en un cambio mayor en los esfuerzos de diseño de la infraestructura. Con lo anterior se puede inferir que nuestros puentes presentan un déficit importante en su infraestructura a la luz de la nueva normativa.

Capítulo X Referencias

1. INVIAS (Instituto Nacional de Vías). Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14, Bogotá D.C.
2. AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (1995), Bogotá D.C.
3. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Diario oficial No. 49.406 de 26 de enero de 2015, Resolución 108 de 2015, Bogotá D.C.
4. MEJÍA C, Luis Gonzalo. Código Colombiano de Diseño y Construcción de Puentes.
5. JORGE PADILLA INGENIERÍA Y CÍA. Información relevante de los puentes analizados.