



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Título del proyecto:

“MANUAL PARA MODELAR PUENTES DE HORMIGON ARMADO Y MIXTOS (TABLERO DE HORMIGON CON VIGAS METALICAS), EMPLEANDO EL SOFTWARE SAP2000 BRIDGE”

Autor:

Teresa Griselda Parra Cepeda

Director: Ing. Oscar Paredes

Riobamba – Ecuador

2016

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “MANUAL PARA MODELAR PUENTES DE HORMIGON ARMADO Y MIXTOS (TABLERO DE HORMIGON CON VIGAS METALICAS), EMPLEANDO EL SOFTWARE CSIBRIDGE” presentado por: **Teresa Griselda Parra Cepeda**, dirigida por: **Ingeniero Oscar Paredes**.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constado en cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Víctor Velásquez
Presidente del Tribunal



Firma

Ing. Oscar Paredes
Director del Proyecto



Firma

Ing. Alexis Martínez
Miembro del Tribunal



Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación le corresponde exclusivamente a: Teresa Griselda Parra Cepeda e Ing. Oscar Paredes, y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo



Parra Cepeda Teresa Griselda

C.I: 0603520685

AGRADECIMIENTO

A mis padres José y Griselda por ser mi fortaleza y guía en este arduo camino.

A mi hermano Cesar por brindarme sus consejos siempre tan sabios.

Al Director del Proyecto Ingeniero Oscar Paredes y al Ing. Alexis Martínez, quienes con su amplia experiencia me han impartido todos sus conocimientos e información necesaria, para la elaboración de la presente tesis y el cumplimiento de esta meta.

DEDICATORIA

Dedico a mis padres y a todas las personas que me han apoyado incondicionalmente en la culminación de este sueño

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN.....	1
SUMMARY	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I.....	5
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACION	5
1.1. TEMA DE INVESTIGACION	5
1.2. PROBLEMATIZACION	5
1.2.1. Contextualización.....	5
1.2.2. Análisis critico	6
1.2.3. Prognosis	6
1.2.4. Delimitación.....	6
1.2.5. Formulación del problema	7
1.2.6. Hipótesis.....	7
1.2.7. Identificación de variables	7
1.3. JUSTIFICACION	7
1.4. OBJETIVOS	8
1.4.1. Objetivo General	8
1.4.2. Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO II	9
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	9
2.1. ANTECEDENTES.....	9
2.2. PUENTES	9
2.2.1. Consideraciones generales de la norma AASHTO LRFD en la estructura de un puente	10
2.2.1.1. Factores de carga y combinaciones de carga	10
2.2.1.2. Análisis de cargas.....	15
2.2.1.2.1. Carga muerta (DC).....	15
2.2.1.2.2. Carga por capa de rodadura (DW)	15
2.2.1.2.3. Carga viva vehicular (LL).....	15

2.2.1.2.3.1. Incremento por Carga Dinámica: (IM)	16
2.2.1.2.3.2. Carga peatonal en Barandas	17
2.2.1.2.4. Cargas Sísmicas (EQ)	17
2.2.1.3. Prediseño de los elementos del puente.....	18
2.2.1.3.1. Losas de Hormigón	19
2.2.1.3.1.1. Distancia de la carga de la rueda al borde de la losa.....	19
2.2.1.3.2. Vigas de Hormigón	20
2.2.1.3.3. Vigas Metálicas	21
2.2.1.3.4. Armadura de repartición	23
2.2.1.3.5. Deformaciones	24
2.2.1.3.6. Propiedades de los materiales	25
2.2.1.3.6.1. Hormigón Armado	25
2.2.1.3.6.2. Acero de refuerzo	26
2.2.1.3.6.3. Acero estructural	26
2.2.1.3.6.4. Reforzamientos mínimos	27
2.2.1.3.9.1. Estribo en voladizo de Hormigón Armado	29
2.2.1.4. Diseño sísmico de puentes	30
2.2.1.4.1. Coeficiente de Aceleración “Z”	30
2.2.1.4.2. Tipo de suelo	31
2.2.1.4.3. Clasificación de las Estructuras	35
2.2.1.4.4. Factor de Modificación de Respuesta	35
2.2.1.4.5. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	37
2.2.1.4.6. Categoría de diseño Sísmico según AASHTO LRFD	37
2.2.1.4.7. Requerimientos mínimos de análisis para Efectos Sísmicos	39
CAPITULO III.....	40
3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	40
3.1. TIPO DE ESTUDIO.	40
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	42
3.4. PROCEDIMIENTOS	43
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.	45
3.5.1. Diseño de la súper estructura del puente de Hormigón calculo manual	45
3.5.1.1. Diseño del tablero	45
3.5.1.2. Diseño de la viga Interior Izquierda.....	47

3.5.2. Resultados de la modelación en el software CSIBRIDGE V15.2	49
3.5.3. Diseño de la súper estructura del puente de losa sobre vigas metálicas calculo manual	53
3.5.3.1. Diseño de tablero.....	53
3.5.3.2. Diseño de la viga interior	55
3.5.4. Resultados de la modelación en el software CSIBRIDGE V15.2	63
CAPITULO IV	67
4. RESULTADOS.....	67
4.1. INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN.	68
4.1.1. Nudos.	68
4.1.1.1. Secciones transversales.	68
4.1.2. Discretización de los elementos	70
4.1.3. Objeto puente	70
4.1.4. Cargas de vehículos y Clases de vehículos	71
4.1.5. Casos de carga.....	71
4.1.6. Cargas puntuales, lineales y distribuidas	72
4.1.7. Estructuras metálicas.....	73
4.2. PARÁMETROS A UTILIZAR EN NUESTRO MEDIO.....	73
4.2.1. Cargas (AASHTO LRFD-SECCIÓN 3).	73
4.2.2. Combinación de Cargas (AASHTO LRFD-SECCIÓN 3).....	76
4.3. HERRAMIENTAS APLICADAS PARA LA MODEACION DE LOS PUENTES CALCULADOS DE FORMA MANUAL.....	76
4.3.1. Modelado	76
4.3.1.1. Plantillas.....	76
4.3.1.2. Asistente de creación y edición del modelo.....	77
4.3.1.3. Combinaciones de carga	77
4.3.2. Resultados	78
4.3.2.1. Control de la Deflexion.....	78
4.3.2.2. Diagramas de Momentos, Cortantes, Fuerza Axial y torsión.	78
4.3.2.3. Superficies de influencia	79
4.3.2.4. Edición interactiva de datos.	79
4.4. LIMITACIONES DEL PROGRAMA.	80
4.5. METODOLOGÍA QUE UTILIZA EL SOFTWARE.	80
4.6. POTENCIALIZACION DEL PROGRAMA	83

4.6.1. Información General.	83
4.6.1.1. Variación de la línea de eje	83
4.6.1.2. Secciones paramétricas del tablero.	83
4.6.1.3. Variaciones paramétricas	84
4.6.1.4. Muelles (springs).....	85
4.6.1.5. Evaluación de la super-estructura.	85
4.6.1.6. Optimización de las vigas metálicas	86
4.6.1.7. Análisis estático no lineal (PUSHOVER).....	87
4.6.1.8. Análisis dinámico.....	87
4.6.1.8.1. Modal.	88
4.6.1.8.2. Análisis por espectro de respuesta	88
4.6.1.8.3. Análisis temporal no lineal (TIME HISTORY ANALYSIS).....	89
4.6.1.9. Análisis de pandeo (BUCKLING).....	90
CAPITULO V.....	91
5. DISCUSIÓN	91
5.1. PUENTE DE HORMIGÓN	91
5.1.1. Comparación de resultados con los Momentos Flexionantes	91
5.1.2. Comparación de resultados de la fuerza Cortante.....	91
5.2. PUENTE MIXTO TABLERO DE HORMIGÓN SOBRE VIGAS METALICAS	92
5.2.1. Comparación de resultados con los Momentos Flexionantes	92
5.2.2. Comparación de resultados de la fuerza Cortante.....	92
CAPITULO VI.....	93
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
6.1. CONCLUSIONES.....	93
6.2. RECOMENDACIONES.....	94
CAPITULO VII.....	95
7. PROPUESTA	95
7.1. TITULO DE LA PROPUESTA.....	95
7.2. INTRODUCCION	95

7.3. OBJETIVOS.....	96
7.3.1. Objetivo General	96
7.3.2. Objetivos Específicos.....	96
7.4. FUNDAMENTACION CIENTIFICA –TECNICA.....	96
7.4.1. Características del software CSIBRIDGE V15 VERSION EVALUACION .2	96
7.4.1.1. Fiabilidad del Programa	99
7.4.1.2. Compatibilidad con otros programas y formatos	99
7.4.1.3. Dimensionamiento de la superestructura y subestructura	99
7.4.1.4. Otras herramientas avanzadas	100
7.5. DESCRIPCION DE LA PROPUESTA	100
7.6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	101
7.6.1. Comandos del CSIBRIDGE V15 VERSION EVALUACION	101
7.6.2. Pasos generales para la modelación de un puente de hormigón armado	104
7.6.2.1. Modelación con la plantilla en Blanco (Blank).....	106
7.6.2.1.1. Utilizando los iconos que presenta el CSIBRIDGE V15.2	
VERSION EVALUACIÓN	108
7.6.2.1.1.1. Definición de la línea base (Layout)	108
7.6.2.1.1.2. Definición de los carriles (Lanes)	110
7.6.2.1.1.3. Definición de las propiedades de los materiales	113
7.6.2.1.1.4. Definición de la Super-estructura.....	115
7.6.2.1.1.5. Definición de la Sub-estructura.....	121
7.6.2.1.1.6. Definir el patrón de cargas	131
7.6.2.1.1.7. Definir el vehículo de diseño	132
7.6.2.1.1.8. Definición de las cargas aplicadas sobre el puente	134
7.6.2.1.1.9. Definición del Objeto Puente	137
7.6.2.1.1.10. Actualizar el modelo estructural	142
7.6.2.1.1.11. Designación de la variación paramétrica	142
7.6.2.1.1.12. Visualizar las características del puente.....	143
7.6.2.1.1.13. Asignación carga móvil.....	144
7.6.2.1.1.14. Definición de las combinaciones de carga	145
7.6.2.1.1.15. Llenar los objetos del puente	147
7.6.2.1.1.16. Observar las cargas que se aplican sobre el puente.....	147
7.6.2.1.1.17. Vista en 3D.....	150
7.6.2.1.1.18. Análisis del puente	150
7.6.2.1.1.19. Deformada del puente, control de deflexión y cálculo del acero	
de refuerzo. 151	151

7.6.2.1.1.20.	Influencia de las cargas vivas.....	153
7.6.2.1.1.21.	Momentos, cortantes y axiales	156
7.6.2.1.1.22.	Diseño y Evaluación del puente	157
7.6.2.1.1.23.	Animación con el vehículo en movimiento	167
7.6.2.2.	Modelación del Puente empleando una plantilla	172
7.6.2.2.1.	Selección de la plantilla y sus dimensiones	172
7.6.2.2.2.	Revisión de los parámetros creados del puente.....	173
7.6.3.	Diseño de un puente sobre vigas metálicas.....	173
7.6.3.1.	Diseño de las vigas metálicas.....	174
7.6.3.1.1.	Crear un nuevo material	174
7.6.3.1.2.	Crear nueva sección	174
7.6.3.1.3.	Crear una viga de acero con platabandas	176
7.6.3.1.4.	Definición el tipo de sección.....	177
7.6.3.1.5.	Definición de los diafragmas metálicos	178
7.6.3.1.6.	Correr el análisis del puente.....	179
7.6.3.1.7.	Combos de diseño	180
7.6.3.1.8.	Diseño de las vigas metálicas.....	181
7.6.3.1.9.	Diagramas de momentos positivos y negativos	182
7.6.3.1.10.	Optimización del diseño.....	183
7.6.3.1.11.	Análisis del diseño	188
7.6.3.2.	Diseño y evaluación de los diafragmas y arriostramientos horizontales	189
7.6.3.2.1.	Añadir de forma externa los arriostramientos horizontales	189
7.6.3.2.2.	Evaluar los Arriostramiento horizontales	191
7.6.4.	Diseño a sismo de puentes en el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN	199
7.6.4.1.	Análisis dinámico por espectro de respuesta	199
7.6.4.2.	Definición de los casos para el análisis dinámico a sismo.....	202
7.7.	DISEÑO ORGANIZACIONAL	206
7.8.	MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	207
CAPITULO VIII	208	
8. BIBLIOGRAFIA.....	208	
CAPITULO IX	209	
9. ANEXOS	209	

9.1. ANEXO.- Ejemplo de aplicación del manual mediante la modelación de la superestructura del puente Matus-Aulabug ubicado en el cantón Penipe, empleando el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION

EVALUACIÓN.	209
9.1.1. Datos del Puente.....	209
9.1.1.1. Detalles de la sección transversal de concreto	210
9.1.1.2. Detalles de la sección transversal de acero	211
9.1.2. Modelación con la plantilla en blanco del puente Matus-Aulabug....	212
9.1.2.1. Definición de la línea base	214
9.1.2.2. Definición de los carriles	215
9.1.2.3. Definición de las propiedades de los materiales	218
9.1.2.3.1. Tramo de hormigón.....	218
9.1.2.3.2. Tramo Metálico	221
9.1.2.3.3. Definición de las propiedades de las secciones.....	224
9.1.2.3.4. Definición de las secciones de hormigón.....	224
9.1.2.3.5. Definición de las secciones de acero.....	234
9.1.2.4. Acero de refuerzo	238
9.1.2.5. Definición de la sección transversal del tablero.....	239
9.1.2.5.1. Sección del tramo de concreto	240
9.1.2.5.2. Sección transversal metálica	242
9.1.2.6. Definición de los diafragmas	245
9.1.2.7. Definición de los apoyos	248
9.1.2.8. Definición de la Cimentación.....	249
9.1.2.9. Definición de los Estribos	250
9.1.2.10. Definición de la Pila.....	251
9.1.2.11. Definición del Vehículo de diseño.....	255
9.1.2.12. Definir los patrones de carga.....	257
9.1.2.13. Definición de las cargas del puente.....	258
9.1.2.14. Definición de carga móvil.....	263
9.1.2.15. Definición del objeto puente	265
9.1.2.15.1. Asignación del Span.....	266
9.1.2.15.2. Asignación de los estribos.....	266
9.1.2.15.3. Asignación del Bent	268
9.1.2.15.4. Asignación de los Diafragmas	270
9.1.2.15.5. Asignación de las varillas de refuerzo longitudinal	270
9.1.2.15.6. Asignación de las varillas de acero de refuerzo transversal.....	272
9.1.2.15.7. Asignación de las cargas	273
9.1.2.16. Visualizar las cargas sobre el puente	277
9.1.2.17. Selección de las combinaciones de carga.....	281
9.1.2.18. Definición de los arriostramientos horizontales.....	283

9.1.2.19. Enviar analizar el puente	292
9.1.2.20. Análisis de resultados.....	294
9.1.2.20.1. Tramo de acero.....	295
9.1.2.20.2. Tramo de concreto.....	297
9.1.2.20.3. Desplazamiento con respecto a la carga de resistencia	298
9.1.2.20.4. Diagramas de Momentos y cortantes de las vigas con el combo de “Resistencia 1”	299
9.1.2.21. Diseño y Evaluación de las vigas.....	304
9.1.2.21.1. Resultados de la evaluación Demanda/ Capacidad.....	310
9.1.2.21.2. Evaluación a Corte de las vigas de concreto con la combinación resistencia 1	314

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combinaciones de Carga	14
Tabla 2. Factores de Carga Permanente	14
Tabla 3. Fracción de tráfico de camiones en un único carril	15
Tabla 4. Factores por presencia múltiple de sobrecargas.....	16
Tabla 5. Incremento por carga Dinámica (IM)	16
Tabla 6. Profundidades mínimas utilizadas para superestructuras.....	18
Tabla 7. Fórmulas para el cálculo de las deformaciones	24
Tabla 8. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	31
Tabla 9. Clasificación de los perfiles de suelo	33
Tabla 10. Tipo de suelo y Factores de sitio F_a	34
Tabla 11. Tipo de suelo y factores de sitio F_d	34
Tabla 12. Factor del comportamiento inelástico del subsuelo F_s	35
Tabla 13. Factores de modificación de Respuesta "R" Sub-estructura.....	36
Tabla 14. Factores de modificación de respuesta "R" Conexiones.....	36
Tabla 15. Requerimientos mínimos análisis para efectos sísmicos	39
Tabla 16. Referencias y normas	41
Tabla 17. Variables Dependiente e Independiente.....	42
Tabla 18. Resultados del puente de Hormigón	51
Tabla 19. Resultados del puente Mixto.....	65
Tabla 20. Cargas a considerar en nuestro medio.....	74
Tabla 21. Comparación de momentos.....	91
Tabla 22. Comparación de Cortante.....	91

Tabla 23. Comparación de Momento	92
Tabla 24. Comparación de Cortante.....	92
Tabla 25. Fórmulas para el cálculo de las deformaciones	294

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de los límites que establece la norma AASHTO LRFD	19
Figura 2. Estribo en voladizo	29
Figura 3. Zonas Sísmicas del Ecuador	30
Figura 4. Espectro de diseño	37
Figura 5. Modelado del puente de Hormigón	49
Figura 6. Momento último de la viga interior	50
Figura 7. Cortante último de la viga interior.....	51
Figura 8. Modelado del puente Losa sobre vigas metálicas	63
Figura 9. Momento último de la viga interior	64
Figura 10. Cortante ultimo de la viga interior.....	64
Figura 11. Nudos del Puente de Hormigón y Mixto	68
Figura 12. Sección transversal del puente de Hormigón Armado	69
Figura 13. Sección transversal del puente Mixto	69
Figura 14. Discretización de elementos	70
Figura 15. Objeto de puente (Bridge Object Model).	70
Figura 16. Vehículo empleado en la modelación.....	71
Figura 17. Patrones de carga empleados en la modelación.....	72
Figura 18.Carga en Asfalto del Puente de Hormigón	72
Figura 19. Estructuras metálicas	73
Figura 20. Cargas AASHTO HL-93	74
Figura 21. Cargas AASHTO HL-93	74
Figura 22. Carga Especial (Tándem).	75

Figura 23. Diferentes tipos de plantillas que posee el CSI BRIDGE.....	76
Figura 24. Asistente de creación y edición de modelos	77
Figura 25. Combinaciones de carga	77
Figura 26. Deflexiones máximas.....	78
Figura 27. Diagramas de cortante y momento	78
Figura 28. Superficies de influencia.....	79
Figura 29. Edición interactiva de datos.....	79
Figura 30. Normas de diseño para puentes.	81
Figura 31. Flujograma análisis por el Método de Elementos finitos (MEF).	82
Figura 32. Línea de eje.....	83
Figura 33. Secciones paramétricas del tablero	84
Figura 34. Variaciones Paramétricas.....	84
Figura 35. Muelles	85
Figura 36. Diseño y evaluación de la super-estructura	86
Figura 37. Optimización de las vigas metálicas.....	86
Figura 38. Análisis no lineal (PUSHOVER).	87
Figura 39. Análisis (MODAL).....	88
Figura 40. Espectro de repuesta	89
Figura 41. Análisis temporal no lineal (TIME HISTORY ANÁLISIS).....	90
Figura 42. Análisis de Pandro (BUCKLING).	90
Figura 43. Presentación del CSIBRIDGE.....	97
Figura 44. Menú "ORB"	101
Figura 45. Menú "HOME"	101

Figura 46. Menú "LAYOUT"	102
Figura 47. Menú "COMPONENTS"	102
Figura 48. Menú "LOADS"	102
Figura 49. Menú "BRIDGE"	103
Figura 50. Menú "ANALYSIS"	103
Figura 51. Menú "DESING/RATING"	103
Figura 52. Menú "ADVANCED"	104
Figura 53. Ventana de trabajo y elección de unidades.....	104
Figura 54. Selección de la plantilla a trabajar	105
Figura 55. Información general del proyecto	105
Figura 56. Ventana donde se encuentra el "Bridge Wizard"	106
Figura 57. Ventana del "Bridge Wizard"	107
Figura 58. Ventana para definir la línea base del puente	108
Figura 59. Selección de la línea base	109
Figura 60. Ventana para modificar, copiar y eliminar la línea base	110
Figura 61. Ventana para ingresar las dimensiones de los carriles.....	111
Figura 62. Ventana para ver los carriles.....	112
Figura 63. Ventana para seleccionar los carriles.....	112
Figura 64. Ventana del diseño de los carriles	113
Figura 65. Ventana de las propiedades de los materiales.....	113
Figura 66. Propiedades de los materiales	114
Figura 67. Ventana para seleccionar el tipo de puente.....	115
Figura 68. Dimensionamiento del puente	116

Figura 69. Dimensionamiento de las vigas	117
Figura 70. Dimensionamiento de los volados	117
Figura 71. Detalles del puente.....	118
Figura 72. Ventana para definir los diafragmas	118
Figura 73. Características de los diafragmas.....	119
Figura 74. Ventana para definir la variación paramétrica.....	119
Figura 75. Dimensionamiento de la variación paramétrica izquierda.....	120
Figura 76. Dimensionamiento de la variación paramétrica derecha	121
Figura 77. Crear los apoyos	121
Figura 78. Configuración del apoyo Fijo	122
Figura 79. Definición del apoyo móvil	122
Figura 80. Definición de la cimentación	123
Figura 81. Elegir los estribos	124
Figura 82. Definición de las características de los estribos	124
Figura 83. Añadir una nueva sección	125
Figura 84. Selección del material.....	126
Figura 85. Dimensiones de la sección.....	126
Figura 86. Características de una columna	127
Figura 87. Características de una viga	128
Figura 88. Configuración de los elementos del estribo.....	128
Figura 89. Definición de los pilares	129
Figura 90. Modificar las pilas	130
Figura 91. Crear los patrones de carga.....	131

Figura 92. Selección del vehículo de diseño	132
Figura 93. Selección del vehículo de diseño	133
Figura 94. Crear la clase de vehículos	134
Figura 95. Seleccionar las cargas del puente	135
Figura 96. Configuración de la carga lineal	135
Figura 97. Configuración de la carga en área	136
Figura 98. Ventana inicial del objeto puente	137
Figura 99. Definición de los tramos del puente	138
Figura 100. Definir las características de los estribos.....	138
Figura 101. Definir las características de la pila	139
Figura 102. Espaciamiento de los diafragmas.....	140
Figura 103. Elevación del puente.....	141
Figura 104. Configuración del refuerzo longitudinal y transversal	141
Figura 105. Definir las opciones del modelo estructural	142
Figura 106. Configuración en los tramos del puente	142
Figura 107. Definición de la variación paramétrica en toda la profundidad.....	143
Figura 108. Ver las secciones definidas en el puente.....	143
Figura 109. Ubicación de la carga móvil	144
Figura 110. Asignación de la carga móvil	144
Figura 111. Asignación de las combinaciones de carga	145
Figura 112. Crear combos automáticamente.....	146
Figura 113. Ventana para llenar los objetos del puente	147
Figura 114. Seleccionar la carga asignada	147

Figura 115. Selección de las cargas lineales	148
Figura 116. Ventana para elegir la carga a observar	149
Figura 117. Visualización de la carga seleccionada.....	149
Figura 118. Vista en 3D	150
Figura 119. Correr el programa.....	151
Figura 120. Ver deformada de la estructura.....	151
Figura 121. Deformada por carga	152
Figura 122. Deformada con respecto al eje Z	153
Figura 123. Influencia de las cargas vivas	154
Figura 124. Ver la influencia de cargas en el puente	154
Figura 125. Configurar la ventana para el diseño del acero de refuerzo.....	155
Figura 126. Ver el acero de refuerzo.....	155
Figura 127. Diagrama de Momentos.....	156
Figura 128. Diagrama de cortante	157
Figura 129. Combinaciones de carga	158
Figura 130. Código de diseño	159
Figura 131. Solicitud de diseño a flexión	160
Figura 132. Solicitud de diseño a corte.....	161
Figura 133. Enviar a diseñar	162
Figura 134. Ventana después de enviar a diseñar	162
Figura 135. Evaluación de la resistencia positiva a flexión.....	163
Figura 136. Desbloquear el modelo	164
Figura 137. Añadir refuerzo longitudinal en las vigas.....	164

Figura 138. Analizar y Diseñar el modelo	165
Figura 139. Evaluación a flexión de la viga con la resistencia positiva	166
Figura 140. Evaluación a flexión de la viga con la resistencia negativa.....	166
Figura 141. Evaluación del cortante en la viga	167
Figura 142. Abrir el candado	168
Figura 143. Añadir un nuevo patrón de carga.....	168
Figura 144. Modificar la carga viva.....	169
Figura 145. Analizar la carga agregada.....	169
Figura 146. Ventana de animación	170
Figura 147. Crear animación del puente	170
Figura 148. Establecer propiedades del vehículo.....	171
Figura 149. Animación de los vehículos.....	171
Figura 150. Selección de una plantilla	172
Figura 151. Características del puente	172
Figura 152. Ventana del puente creado automáticamente	173
Figura 153. Ventana crear un nuevo material	174
Figura 154. Crear una sección.....	175
Figura 155. Ventana para ingresar los valores de la viga	175
Figura 156. Ventana del refuerzo en el acero	176
Figura 157. Dimensionamiento de las platabandas.....	176
Figura 158. Elección del tipo de puente.....	177
Figura 159. Dimensionamiento del puente sobre vigas metálicas	177
Figura 160. Características de los diafragmas diagonales	178

Figura 161. Características de los diafragmas tipo vigas	178
Figura 162. Ventana para correr el análisis.....	179
Figura 163. Deformada del puente.....	179
Figura 164. Ventana para crear las combinaciones de carga	180
Figura 165. Verificar el código con el que se está trabajando	180
Figura 166. Solicitud para el diseño de puente	181
Figura 167. Ventana para enviar a diseñar el puente	182
Figura 168. Diagrama de momentos	182
Figura 169. Seleccionar la optimización.....	183
Figura 170. Ventana del diseño optimizado.....	183
Figura 171. Configuración de los momentos	184
Figura 172. Ventana para modificar las dimensiones	185
Figura 173. Valores a modificar.....	186
Figura 174. Ventana para recalcular los valores modificados	186
Figura 175. Determinar los valores de momento en un cierto punto	187
Figura 176. Completar la optimización.....	188
Figura 177. Análisis del Diseño	188
Figura 178. Elección de la sección a dibujar.....	189
Figura 179. Dibujo de los arriostramientos horizontales	190
Figura 180. Vista de los arriostramientos horizontales	190
Figura 181. Preferencias a emplear en el diseño.....	191
Figura 182. Normas y parámetros de diseño.....	191
Figura 183. Opción para agregar los combos de diseño	192

Figura 184. Combinaciones de carga incluidas en el diseño	192
Figura 185. Enviar a diseñar la estructura metálica	193
Figura 186. Elegir las propiedades	193
Figura 187. Elección del ángulo de (100x100x8) mm	194
Figura 188. Ubicación de los diafragmas y arriostramientos horizontales	194
Figura 189. Selección de los diafragmas y arriostramientos horizontales	195
Figura 190. Diseño de la estructura metálica	196
Figura 191. Pasos a seguir para mostrar los valores de diseño	196
Figura 192. Chequeo de la estructura metálica	197
Figura 193. Selección del ángulo a chequear	198
Figura 194. Detalles del ángulo de 100x100x8	198
Figura 195. Crear el espectro desde un archivo	199
Figura 196. Opciones para añadir el espectro	200
Figura 197. Búsqueda del archivo en txt	200
Figura 198. Ingreso de los datos del espectro	201
Figura 199. Configuración del espectro	202
Figura 200. Añadir las cargas de espectro	203
Figura 201. Definición del sismo en “X”	204
Figura 202. Definición del sismo en “Y”	205
Figura 203. Puente Matus–Aulabug	209
Figura 204. Sección transversal del tramo de concreto	210
Figura 205. Sección transversal del tramo metálico	211
Figura 206. Ventana de trabajo	212

Figura 207. Selección de unidades	212
Figura 208. Crear un nuevo modelo	213
Figura 209. Selección de la plantilla del puente	213
Figura 210. Ventana lista para crear el modelo	214
Figura 211. Definición de la línea base	215
Figura 212. Detalle de la sección transversal del puente	215
Figura 213. Definición del carril derecho	216
Figura 214. Definición del carril izquierdo	216
Figura 215. Configuración para visualizar los carriles	217
Figura 216. Observar los carriles	217
Figura 217. Crear un nuevo material	218
Figura 218. Definición de las características del hormigón	219
Figura 219. Definición del acero de refuerzo	220
Figura 220. Propiedades del acero de refuerzo	220
Figura 221. Definición del acero A36	221
Figura 222. Propiedades del acero A36	222
Figura 223. Definición del acero A588	223
Figura 224. Propiedades del acero A588	224
Figura 225. Crear las secciones	225
Figura 226. Designación de la sección	225
Figura 227. Detalle transversal de la columna de la pila	226
Figura 228. Definición de la columna de la pila	226
Figura 229. Elección del material y forma de la viga	227

Figura 230.Detalle de la viga	228
Figura 231.Definición de la viga de la pila	228
Figura 232.Vista de la viga	229
Figura 233.Elección del material y forma de la viga ubicada en el estribo	230
Figura 234.Definición de la viga del estribo	231
Figura 235.Ventana de la viga del estribo.....	231
Figura 236.Elección del material y la forma de la viga principal	232
Figura 237.Detalle de la sección transversal de concreto	233
Figura 238.Definición de la viga de concreto	233
Figura 239.Elección del material y forma del ángulo de 100x100x8	234
Figura 240.Configuración del ángulo de 100x100x8.....	235
Figura 241.Elección de la forma de la viga de acero	236
Figura 242.Detalles de la viga de acero	237
Figura 243.Definición de las características de la viga de acero	238
Figura 244.Crear el acero de refuerzo.....	238
Figura 245.Añadir el acero de refuerzo.....	239
Figura 246.Ventana para crear una sección transversal del puente	239
Figura 247.Elegir la sección transversal de concreto.....	240
Figura 248.Sección transversal de concreto.....	241
Figura 249.Configuración de la sección transversal de concreto.....	241
Figura 250.Configuración de la sección transversal de concreto.....	242
Figura 251.Elegir la sección transversal de Acero.....	243
Figura 252.Detalle de la sección transversal metálica	243

Figura 253.Configuración de la sección transversal metálica.....	244
Figura 254.Configuración de la sección transversal metálica.....	244
Figura 255.Crear un nuevo Diafragma	245
Figura 256.Detalle del diafragma.....	245
Figura 257.Definición del diafragma de concreto.....	246
Figura 258.Detalle del diafragma metálico	247
Figura 259.Definición del diafragma metálico	247
Figura 260.Crear un apoyo.....	248
Figura 261.Definición del apoyo fijo	248
Figura 262.Definición del apoyo móvil	249
Figura 263.Crear la cimentación	249
Figura 264.Definición de la cimentación	250
Figura 265.Crear un estribo	250
Figura 266.Definición del estribo	251
Figura 267.Crear la pila.....	252
Figura 268.Definición de la pila	253
Figura 269.Detalle de las columnas de la pila.....	254
Figura 270.Configuración de las columnas de la pila.....	254
Figura 271.Elegir el vehículo tipo.....	255
Figura 272.Vehículo tipo	255
Figura 273.Características del vehículo tipo.....	256
Figura 274.Crear una clase de vehículo	256
Figura 275.Definición de la clase de vehículo	257

Figura 276.Definición de los patrones de carga.....	258
Figura 277.Creación de la carga puntual.....	258
Figura 278.Definición de los postes a la derecha.....	259
Figura 279.Definición de los postes izquierdos	260
Figura 280.Crear la carga lineal	260
Figura 281.Definición de la carga de baranda derecha	261
Figura 282.Definición de la carga de baranda Izquierda	262
Figura 283.Crear la carga de asfalto	262
Figura 284.Definición de la carga de asfalto	263
Figura 285.Crear la carga móvil.....	264
Figura 286.Configuración de la carga móvil.....	264
Figura 287.Asignación del tramo de concreto y acero.....	265
Figura 288.Asignación de los espacios	266
Figura 289.Asignación del estribo de inicio	267
Figura 290.Asignación del estribo del fin	268
Figura 291.Asignación de la pila	269
Figura 292.Asignación de los diafragmas	270
Figura 293.Asignación del acero de refuerzo longitudinal	271
Figura 294.Asignación del acero de refuerzo transversal	273
Figura 295.Asignación de la carga de frenado y postes.....	274
Figura 296.Asignación de la carga de baranda	274
Figura 297.Asignación de la carga de asfalto	275
Figura 298.Ventana del objeto puente	276

Figura 299.Actualización del modelo	277
Figura 300.Configuración de la carga de asfalto	278
Figura 301.Visualización de la carga de asfalto.....	278
Figura 302.Configuración de la carga de baranda	279
Figura 303.Visualización de la carga de baranda.....	279
Figura 304.Configuración de la carga de postes	280
Figura 305.Visualización de las cargas de postes	280
Figura 306.Configuración de las combinaciones de carga.....	281
Figura 307.Elección de las combinaciones de carga.....	282
Figura 308.Combinaciones de carga creadas	282
Figura 309.Configuración de la visibilidad de las juntas.....	283
Figura 310.Visualización de las juntas.....	284
Figura 311.Vista en el plano “XY”	284
Figura 312.Configuración del puente para la vista en 2D.....	285
Figura 313.Vista en 2D	285
Figura 314.Elección de la sección a dibujar.....	286
Figura 315.Dibujo de los arriostramientos horizontales	287
Figura 316.Vista de los arriostramientos horizontales	287
Figura 317.Vista en 3D	288
Figura 318.Seleccionar las propiedades	288
Figura 319.Elegir las secciones creadas.....	289
Figura 320.Selección del ángulo de (100x100x8).....	289
Figura 321.Elementos seleccionados	290

Figura 322. Configuración para visualizar la estructura metálica.....	290
Figura 323. Arriostramientos horizontales y diafragmas.....	291
Figura 324. Configurar ver todo el puente.....	291
Figura 325. Vista en 3D.....	292
Figura 326. Correr el análisis.....	293
Figura 327. Proceso de análisis.....	293
Figura 328. Deformada por carga muerta.....	294
Figura 329. Configuración de la deformada.....	295
Figura 330. Deflexión con la carga de servicio.....	296
Figura 331. Deflexión tramo metálico.....	296
Figura 332. Deflexión del tablero de concreto.....	297
Figura 333. Configuración del desplazamiento con la combinación de resistencia.....	298
Figura 334. Desplazamiento en el estribo con la combinación de resistencia...	299
Figura 335. Diagrama de momento respecto a la carga muerta.....	300
Figura 336. Diagrama de momento con el combo de resistencia de la viga exterior.....	301
Figura 337. Diagrama de momento con el combo de resistencia de la viga interior.....	302
Figura 338. Diagrama de cortante con el combo de resistencia de la viga exterior.....	303
Figura 339. Diagrama de cortante con el combo de resistencia de la viga interior.....	304
Figura 340. Añadir las solicitudes de diseño.....	305
Figura 341. Solicitud de diseño por flexión con el combo 1.....	306

Figura 342.Solicitud de diseño por resistencia combo 1	307
Figura 343.Solicitud de diseño a corte	308
Figura 344. Solicitudes de diseño creadas	309
Figura 345.Diseño de la superestructura	309
Figura 346.Ventana que aparece después de correr en programa.....	310
Figura 347.Evaluación de la viga exterior de concreto con el combo de resistencia.....	311
Figura 348.Evaluación de la viga exterior metálica combo de resistencia	312
Figura 349.Evaluación de la viga interior de concreto con el combo de resistencia	313
Figura 350.Evaluación de la viga interior metálica combo de resistencia.....	314
Figura 351.Evaluación de la viga exterior izquierda a corte.....	315
Figura 352.Evaluación de la viga interior a corte	316

RESUMEN

El conocer el manejo de nuevas herramientas informáticas, genera mayor competitividad y por ende productividad en cuanto al diseño, análisis y evaluación de una estructura, siendo de gran importancia en la provincia de Chimborazo la creación de un, “MANUAL PARA MODELAR PUENTES DE HORMIGON ARMADO Y MIXTOS (TABLERO DE HORMIGON CON VIGAS METALICAS), empleando el software CSIBRIDGE VERSION EVALUACION”

La presente investigación inicia tomado en cuenta todas las consideraciones generales para el diseño y evaluación de un puente, y posteriormente se establece un prediseño del mismo, todos estos parámetros están basados en la norma AASHTO LRFD (2012), mientras que el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN emplea la AASHTO LRFD 2007 la cual no cambia en cuanto a consideraciones de diseño.

Posteriormente se realiza el cálculo manual de un puente de hormigón armado y mixto (tablero de hormigón sobre vigas metálicas) con su respectiva modelación en el software CSIBRIDGE, permitiendo establecer parámetros de comparación, interpretación y metodología que emplea el programa.

La última etapa de esta investigación comprende elaborar el manual para modelar y evaluar un puente de hormigón armado y posteriormente para un puente mixto (tablero de hormigón con vigas metálicas) con su respectiva descripción para mayor entendimiento.

Finalmente se realiza la aplicación del manual, mediante la modelación y evaluación de la superestructura del puente Matus-Aulabug ubicado en el cantón Penipe, empleando el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN, el cual se encuentra especificado de forma detallada y a manera de ejemplo representativo en el Anexo 9.1.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
CENTRO DE IDIOMAS INSTITUCIONAL

Lic. Eduardo Heredia

15 de Julio del 2016

ABSTRACT

Knowing the use of new tools, generates greater competitiveness, and as a result productivity in terms of the design, analysis and evaluation of a structure, being of great importance in the province of Chimborazo the creation of a "MANUAL FOR MODELLING BRIDGES OF MIXED AND REINFORCED CONCRETE (BOARD CONCRETE WITH METAL BEAMS), employing the CSIBRIDGE VERSION EVALUACION software"

This research starts taking into account all the general considerations for the design and evaluation of a bridge, and subsequently a pre-design of thereof is established, all these parameters are based on the AASHTO LRFD (2012) standard, whilst the CSIBRIDGE V15.2 EVALUATION VERSION employs the AASHTO LRFD 2007 which does not change in terms of design considerations.

Later on, the manual calculation of a bridge of mixed and reinforced concrete (concrete deck on metal beams) with its respective modeling in CSIBRIDGE software, by allowing establishing parameters for comparison, interpretation and methodology used by the program.

The last stage of this research involves developing the manual for modeling and evaluating a bridge of reinforced concrete and later a mixed concrete bridge (concrete deck with metal beams) with its respective description for better understanding.

Finally, the application of the manual is performed by means of the modeling and evaluation of the superstructure of Matus-Aulabug bridge located in the Penipe canton, using the software CSIBRIDGE EVALUACION VERSION V15.2, which is specified in detail and as representative example in Annex 9.1.

INTRODUCCIÓN

*“Desde los puentes emana una fascinación a la que solo pocos pueden sustraerse.
Con ellos supera el hombre los límites de su espacio vital, uno lo separado,
triunfa sobre los obstáculos de la naturaleza.”*

Hans Wittfoht

El software SAP2000 es uno de los programas más empleados en la Ingeniería Civil para el diseño de todo tipo de estructuras, desde la más sencilla hasta la más compleja, a diferencia del software CSI BRIDGE con una aplicación independiente para realizar el análisis estructural, sísmico, diseño y evaluación de todo tipo de puentes en un único modelo.

En la actualidad el software CSIBRIDGE V15 es la evolución del SAP2000 BRIDGE creado por la compañía Computers & Structures Inc.

CSIBRIDGE es lo último en herramientas informáticas el cual presenta mayor facilidad de uso ya que posee un ambiente de trabajo intuitivo, crea modelos de puentes parametricamente, contiene plantillas predefinidas para los diferentes modelos de puentes.

En el Ecuador no existen Códigos o Reglamentos para el diseño, análisis y construcción de puentes por ende nos vemos obligados a emplear normas de otros países.

Dentro del diseño de puentes se adopta las especificaciones de la norma AASHTO LRFD (American Association of State Highway and Transportation Officials), siendo esta la más utilizada en el Ecuador para tal fin.

La norma AASHTO LRFD contiene todos los parámetros, formulas y criterios necesarios para el diseño y análisis de cada uno de los elementos que comprende un puente.

El CSIBRIDGE V15 VERSION EVALUACION emplea las especificaciones de la Norma AASHTO LRFD, convirtiéndolo en una herramienta fundamental para conocer el comportamiento de la estructura al estar expuesta a constantes solicitaciones de carga; además este Software garantiza un diseño estructural óptimo y seguro, es por ello la realización de este manual; el cual ayudará a fortalecer los conocimientos de todas aquellas personas interesadas en el manejo de este software aplicado al diseño de puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas).

El trabajo se encuentra comprendido por nueve capítulos, donde se describen las bases teóricas, la metodología empleada, resultados obtenidos, discusión de los resultados, conclusiones y la propuesta, en la cual se desarrolla el manual para modelar puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas), empleando el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.TEMA DE INVESTIGACION

“MANUAL PARA MODELAR PUENTES DE HORMIGON ARMADO Y MIXTOS (TABLERO DE HORMIGON CON VIGAS METALICAS), EMPLEANDO EL SOFTWARE SAP2000 BRIDGE”

1.2.PROBLEMATIZACION

1.2.1. Contextualización

A medida que la tecnología avanza se van creando nuevos y mejores programas dentro de la Ingeniería Civil que permitan realizar el análisis y diseño de las estructuras.

Las técnicas que utiliza el CSIBRIDGE son avanzadas y permiten paso a paso demostrar un mejor análisis, diseño y evaluación, pero su eficiencia depende del buen criterio estructural y conocimiento técnico y práctico del Ingeniero Civil que lo utilice.

Siendo el cálculo estructural la esencia de un diseño, que busca el mejor funcionamiento de las estructuras; sin embargo existe gran complejidad para el desarrollo del cálculo y diseño de las diferentes estructuras, por ello es necesario el empleo de programas especializados como el CSIBRIDGE, para el diseño de puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón sobre vigas metálicas) que permite optimizar el tiempo de cálculo.

1.2.2. Análisis crítico

En la provincia de Chimborazo no existe un manual para modelar Puentes mixtos y de hormigón en el software CSIBRIDGE, lo cual conlleva a no conocer el manejo del mismo y por ende no se puede visualizar el comportamiento de la estructura ante un sismo, de igual manera no se puede comprobar los resultados del diseño realizado ya sea de forma manual o empleando otro software, pues el software CSIBRIDGE emplea el método de elementos finitos, posee un diseño en acero y concreto completamente integrado, todos disponibles desde la misma interfaz usada para modelar y analizar el modelo. En miembros de acero permite el pre diseño inicial y una optimización interactiva, y en el diseño de elementos de concreto incluye el cálculo de la cantidad de acero de refuerzo requerido, considerando incluso un nivel de diseño sismorresistente.

1.2.3. Prognosis

Debido a la usencia de una guía de aprendizaje acerca de la modelación en el software CSIBRIDGE se plantea realizar un manual para el diseño estructural de Puentes de Hormigón Armado y Mixtos (Tablero de Hormigón con Vigas Metálicas), el cual permitirá fortalecer los conocimientos a toda la sociedad interesada en el tema y por ende a todos los profesionales afines al diseño y construcción de Obras Civiles, ya que el programa está encaminado a facilitar el cálculo y diseño de estructuras propias de ingeniería, con resultados exactos y confiables

1.2.4. Delimitación

La investigación se limita a los profesionales de la provincia de Chimborazo que van a utilizar el software por primera vez en el diseño de puentes.

1.2.5. Formulación del problema

¿Cómo generar conocimiento de fácil acceso e información confiable, para la modelación de puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas) en el software CSIBRIDGE?

1.2.6. Hipótesis

La utilización del manual para modelar puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas), empleando el software CSIBRIDGE, mejorará la calidad y eficiencia de los resultados obtenidos en el cálculo estructural de un puente.

1.2.7. Identificación de variables

En el presente trabajo de investigación se consideran dos variables:

a) Variable Independiente:

La ausencia de información confiable acerca de la modelación de puentes en software CSIBRIDGE

b) Variable Dependiente:

Crear conocimiento fundamentado en normas y de fácil acceso en el manejo del software CSIBRIDGE para la modelación de puentes.

1.3. JUSTIFICACION

La falta de información confiable genera desconfianza al momento de utilizar un software especializado como el CSIBRIDGE empleado para modelar todo tipo de puentes, por lo cual se plantea el desarrollo de un manual para modelar puentes

de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas) en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION, quien se encuentra basada en la norma AASHTO LRFD utilizada en el Ecuador; este tipo de puentes en particular fueron elegidos debido a que son los más empleados en Chimborazo.

El software CSIBRIDGE permite tener mayor exactitud y eficiencia en el proceso de diseño y cálculo de la estructura; para la determinación de los esfuerzos actuantes en los elementos estructurales del tablero y las acciones transmitidas a la sub-estructura: es decir a la cimentación, pilas, pantallas y muros de ala del estribo.

1.4.OBJETIVOS

1.4.1.Objetivo General

- Elaborar un manual para modelar puentes de hormigón armado y mixto (tablero de hormigón con vigas metálicas), empleando el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION.

1.4.2.Objetivos Específicos

- Consultar bibliografía acerca de la normativa y parámetros que emplea el software CSIBRIDGE.
- Realizar el cálculo manual de la superestructura de un puente mixto (tablero de hormigón sobre vigas metálicas), empleando la normativa AASHTO LRFD y comparar los resultados obtenidos del diseño con la modelación en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION
- Modelar en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION un ejemplo de un puente de Hormigón Armado con su respectiva comprobación de resultados.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. ANTECEDENTES.

A lo largo de la historia se han utilizado diferentes formas para el diseño y cálculo de puentes, que dependen de los recursos disponibles y el conocimiento que posea el ingeniero encargado, siendo indispensable el empleo de software que permita agilizar el proceso, mediante la investigación bibliográfica realizada, se pudo determinar que no existen publicaciones, libros, textos, tutoriales afines al diseño de puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas) en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION, sirviendo también como una guía de aprendizaje de fácil acceso para todas las personas interesadas en el tema, con el fin de proveer una herramienta útil para comprobar los resultados obtenidos de un cálculo manual, además el programa permite diseñar, analizar y evaluar de forma directa, generando un nivel técnico altamente competitivo sobre esta temática.

2.2. PUENTES

Un puente es una obra que se construye para salvar un obstáculo dando así continuidad a una vía, permite sustentar un camino, una carretera o una vía.

2.2.1. Consideraciones generales de la norma AASHTO LRFD en la estructura de un puente

La norma AASHTO LRFD emplea factores de carga y resistencia, basados en los estados límites lo cual proporciona mayor confiabilidad en las estructuras.

Esta norma aplica coeficientes de ductilidad, redundancia e importancia que permite combinar las cargas, generando un margen de seguridad en el diseño de la estructura.

2.2.1.1. Factores de carga y combinaciones de carga ¹

A continuación se describen las combinaciones que presenta la norma **AASHTO LRFD**

- **Resistencia I:** Combinación de carga básica para el camión normal sin viento.
- **Resistencia II:** Combinación de cargas que representa el uso del puente por parte de vehículos de diseño especiales especificados por el propietario, vehículos de circulación restringida (sobrepeso), o ambos, sin viento.
- **Resistencia III:** Combinación de carga que representa el puente expuesto a velocidades del viento mayores a 90 (*km/hr*).
- **Resistencia IV:** Combinación de carga que representa una alta relación entre las solicitaciones provocadas por sobrecarga y carga muerta.
- **Resistencia V:** Combinación de carga que representa el uso del puente por parte de vehículos normales con una velocidad del viento de 90 (*Km/hr*).
- **Evento Extremo I:** Combinaciones de carga que incluye sismo.

¹AASHTO LRFD Sección 3.4.1

- **Evento Extremo II:** Combinaciones de cargas que incluye carga de hielo, colisión de embarcaciones, vehículos, y ciertos eventos hidráulicos con una sobre carga reducida diferente a la que forma parte de la carga de colisión de vehículos, CT.

Las combinaciones de carga del estado de servicio son las siguientes:

- **Servicio I:** Combinación de cargas que representa la operación normal del puente con un viento de 90 (km/h), tomando todas las cargas con sus valores nominales. También se relaciona con el control de las deflexiones de las estructuras metálicas enterradas, revestimientos de túneles y tuberías termoplásticas y con el control del ancho de fisuración de las estructuras de hormigón armado.

Esta combinación de cargas también se debería utilizar para investigar la estabilidad de taludes.

- **Servicio II:** Combinación de carga cuya intención es controlar la fluencia de las estructuras de acero y la falla de las conexiones críticas debido a la carga viva vehicular.
- **Servicio III:** Combinación de carga relativa sólo a la tracción en estructuras de hormigón pretensado con el objetivo de controlar el agrietamiento.
- **Fatiga:** Combinación de cargas de fatiga y fractura que se relaciona con la sobrecarga gravitatoria vehicular repetitiva y las respuestas dinámicas bajo un único camión de diseño con la separación entre ejes especificados en el Artículo 3.6.1.4.1 (AASHTO LRFD, 2012)

Designación de cargas ²

DC.- Carga muerta de la estructura

DW.-Carga muerta de las superficies de revestimiento y accesorios.

EH: Empuje horizontal del suelo

ES: Sobrecarga de suelo

DD: Fricción Negativa

EV: Presión Vertical del suelo de relleno

BR: Fuerza de frenado de vehículos

CE: Fuerza centrífuga de vehículos

CR: Creep o Fluencia Lenta

CT: Fuerza de Colisión de un vehículo

CV: Fuerza de Colisión de una embarcación

EQ: Sismo

R: Fricción

IC: Carga de Hielo

IM: Carga Dinámica

LL: Carga Viva vehicular

LS: Sobrecarga Viva

² AASHTO LRFD 2012, sección 3.3.2

PL: Carga Peatonal

SE: Asentamiento

SH: Contracción

TG: Gradiente de Temperatura

TU: Temperatura uniforme

WA: Carga Hidráulica y Presión del flujo de agua

WL: Viento sobre la Carga Vehicular

WS: Viento sobre la Estructura

Las cargas más empleadas son las siguientes:

DC.- Carga muerta de la estructura

DW.-Carga muerta de las superficies de revestimiento y accesorios.

LL.- Carga viva vehicular.

IM.- Incremento por carga vehicular dinámica.

En la siguiente tabla se encuentran los factores que afectan a cada una de las diferentes combinaciones de carga.

Tabla 1.Combinaciones de Carga

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

Fuente: AASHTO LRFD, 2012 sección 3.4.1-1

Tabla 2. Factores de Carga Permanente

Tipo de carga	Factor de Carga	
	Máximo	Mínimo
<i>DC</i> : Elemento y accesorios	1,25	0,90
<i>DD</i> : Fricción negativa (downdrag)	1,80	0,45
<i>DW</i> : Superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos	1,50	0,65
<i>EH</i> : Empuje horizontal del suelo		
• Activo	1,50	0,90
• En reposo	1,35	0,90
<i>EL</i> : Tensiones residuales de montaje	1,00	1,00
<i>EV</i> : Empuje vertical del suelo		
• Estabilidad global		N/A
• Muros de sostenimiento y estribos	1,00	1,00
• Estructura rígida enterrada	1,35	1,00
• Marcos rígidos	1,30	0,90
• Estructuras flexibles enterradas u otras, excepto alcantarillas metálicas rectangulares	1,35	0,90
• Alcantarillas metálicas rectangulares flexibles	1,95	0,90
	1,50	0,90
<i>ES</i> : Sobrecarga de suelo	1,50	0,75

Fuente: AASHTO LRFD, 2012 sección 3.4.1-2

2.2.1.2. Análisis de cargas

2.2.1.2.1. Carga muerta (DC)

Es el peso permanente de la estructura en su totalidad, es decir: las vigas, barandas, diafragmas, pilas y otros servicios públicos.

2.2.1.2.2. Carga por capa de rodadura (DW)

Es el peso del revestimiento en área que se le da al puente, el cual está en función del espesor y del peso específico de la misma.

2.2.1.2.3. Carga viva vehicular (LL)

Es el peso de las cargas móviles, es decir: los camiones, autos y peatones.

La Norma AASHTO LRFD define unos coeficientes de acuerdo con el número de carriles y la presencia de múltiples sobrecargas que puedan presentarse en el puente. Estos coeficientes no son aplicables en el estado límite de fatiga.

Tabla 3. Fracción de tráfico de camiones en un único carril

Número de carriles disponibles para camiones	p
1	1,00
2	0,85
3 ó más	0,80

Fuente: AASHTO LRFD 2012, Tabla 3.6.1.4.2-1

Tabla 4. Factores por presencia múltiple de sobrecargas

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

Fuente: AASHTO LRFD 2012, Tabla 3.6.1.1.2-1

2.2.1.2.3.1. Incremento por Carga Dinámica: (IM)³

Los efectos estáticos del camión de diseño, se debe mayorar con los siguientes porcentajes:

Tabla 5. Incremento por carga Dinámica (IM)

COMPONENTES	IM
Juntas del tablero- todos los estados límites	75%
Todos los demás componentes	
• Estado límite de fatiga y fractura	15%
• Todos los demás Estados limites	33%

Fuente: AASHTO LRFD

³ AASHTO LRFD 2012, Art.3.6.2

Nota.- No se aplica a cargas peatonales ni a cargas de carril de diseño. Tampoco en muros de sostenimiento no solicitados por reacciones verticales de la superestructura ni en componentes de fundaciones que estén completamente por debajo del nivel del terreno.

2.2.1.2.3.2. Carga peatonal en Barandas⁴

La carga peatonal es de 367 kg/m^2 en las aceras con un ancho mayor a 0.60m , la cual será aplicada simultáneamente con la sobrecarga vehicular. En caso de que las cargas peatonales se combinen con uno o más carriles con sobrecarga vehicular, se pueden considerar las cargas peatonales como un carril cargado (AASHTO LRFD Art. 3.6.1.1.2).

Los puentes peatonales son diseñados para una sobrecarga de 418 kg/m^2 .

2.2.1.2.4. Cargas Sísmicas (EQ)

Las cargas sísmicas generan desplazamientos laterales, siendo estos determinados en base al coeficiente de respuesta elástica C_{sm} y al peso que genera la superestructura al tener que ser ajustado al factor de respuesta R .

Los coeficientes empleados para modelar los efectos sísmicos son tomados de la Norma Ecuatoriana de Construcción en el capítulo de CARGAS SÍSMICAS-DISEÑO SISMORESISTENTE (NEC-SE-DS).

⁴ AASHTO LRFD 2012, Art. 3.6.1.6

2.2.1.3. Prediseño de los elementos del puente

Al realizar el pre diseño se debe definir la geometría de soporte de la estructura, es decir dar dimensiones tanto a los elementos de la sub-estructura como a los de la super-estructura en función de los parámetros mínimos que sugiere la norma AASHTO LRFD 2012.

Tabla 6. Profundidades mínimas utilizadas para superestructuras.

Superestructura		Profundidad mínima (incluyendo el tablero) Si se utilizan elementos de profundidad variable, estos valores se pueden ajustar para considerar los cambios de rigidez relativa de las secciones de momento positivo y negativo.	
Material	Tipo	Tramos simples	Tramos continuos
Hormigón Armado	Losas con armadura principal paralela al tráfico	$\frac{1,2(S + 3000)}{30}$	$\frac{S + 3000}{30} \geq 165 \text{ mm}$
	Vigas T	$0,070 L$	$0,065 L$
	Vigas cajón	$0,060 L$	$0,055 L$
	Vigas de estructuras peatonales	$0,035 L$	$0,033 L$
Hormigón Pretensado	Losas	$0,030 L \geq 165 \text{ mm}$	$0,027 L \geq 165 \text{ mm}$
	Vigas cajón coladas in situ	$0,045 L$	$0,040 L$
	Vigas doble T prefabricadas	$0,045 L$	$0,040 L$
	Vigas de estructuras peatonales	$0,033 L$	$0,030 L$
	Vigas cajón adyacentes	$0,030 L$	$0,025 L$
Acero	Profundidad total de una viga doble T compuesta	$0,040 L$	$0,032 L$
	Profundidad de la porción de sección doble T de una viga doble T compuesta	$0,033 L$	$0,027 L$
	Cerchas	$0,100 L$	$0,100 L$

Fuente: AASHTO LRFD 2012, sección 2.5.2.6.3-1

S: Luz del tramo de losa (mm)

L: Luz del tramo de puente (mm)

2.2.1.3.1. Losas de Hormigón

La norma AASHTO LRFD establece los siguientes parámetros: limita la longitud del volado a 1.80 m ó $0.5 S$, además limita la longitud de la calzada del volado a 0.91 m.

S =separación de las vigas.

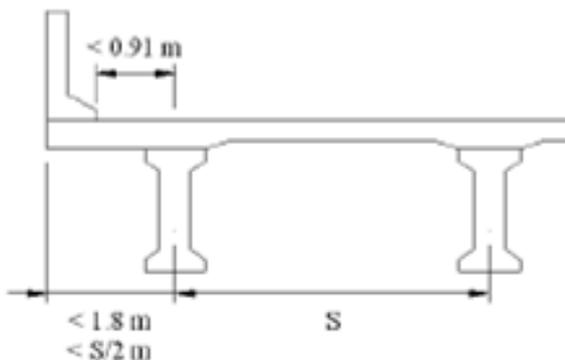


Figura 1. Detalle de los límites que establece la norma AASHTO LRFD

En la sección 9.7.1.1 de la AASHTO LRFD indica que el peralte mínimo para una losa de hormigón no debe ser menor a 175 mm, evitando cualquier disposición de pulido, texturizado y superficie de sacrificio.

En las losas de hormigón con volado no puede ser menor a 200 mm según la sección 13.7.3.1.2 de la norma AASHTO LRFD.

2.2.1.3.1.1. Distancia de la carga de la rueda al borde de la losa

Tomar en cuenta que la línea de acción de la carga de la rueda se asume a 0.30 m. de la cara del guardarruedas o bordillo, si la losa no tiene bordillo la carga se encuentra a 0.30 m. de la cara de la baranda.

2.2.1.3.2. Vigas de Hormigón

Los puentes de vigas tipo T simplemente apoyados se los utilizan en luces de hasta 24 m de longitud.

El diseño de un puente de vigas continuas debe tomar en cuenta que el peralte de las secciones está en función del momento el cual varía desde el mínimo en el centro hasta un máximo en los apoyos. En tal caso, el efecto de la carga muerta en el diseño se reduce favorablemente.

Las cargas permanentes del tablero y las que actúan sobre el mismo se pueden distribuir uniformemente entre las vigas.⁵

En las vigas de hormigón Armado se debe controlar las deformaciones y fisuraciones.⁶

a. Viga interior⁷

Para vigas interiores, el ancho efectivo deberá tomarse como el menor valor entre:

- Un cuarto de la luz efectiva de la viga.
- 12 veces el espesor de la losa, más el mayor valor entre el ancho del alma o la mitad del ancho del ala superior de la viga.
- El espaciamiento promedio entre vigas adyacentes.

⁵ AASHTO LRFD 2012, sección 4.6.2.2.1

⁶ AASHTO LRFD 2012, sección 5.5.2.

⁷ AASHTO LRFD 2012, sección 5.5.

b. Viga exterior

Para las vigas exteriores el ancho de ala efectivo se puede tomar como la mitad del ancho efectivo de la viga interior adyacente, más el menor valor entre:

- Un octavo de la luz efectiva de la viga.
- 6 veces el espesor de la losa, más el mayor valor entre la mitad del ancho del alma o un cuarto del ancho del ala superior de la viga no compuesta.
- El ancho del voladizo.

2.2.1.3.3. Vigas Metálicas

Para el diseño de las vigas metálicas se emplea las especificaciones del American Institute of Steel Construction (AISC) dentro de la cual consta que se debe realizar chequeos de esbeltez, resistencia a momento y cortante ya sean vigas armadas o laminadas.

Vigas de perfiles laminados: Se las emplea en tramos de poca longitud, son creadas en las plantas de laminado integral. Generalmente se utilizan los perfiles “IR” compuestos de dos patines y un alma, en donde los patines resisten el momento flector y el alma los esfuerzos de corte.

Vigas compuestas por placas⁸: Son utilizadas en longitudes intermedias y por ende son de mayor sección que una viga de perfil laminado.

Una viga compuesta se encuentra formada por:

1. **Platabandas:** Son placas de acero que se remachan o sueldan sobre los patines superiores e inferiores de la viga compuesta y sirven para aumentar la capacidad de carga de la misma.

⁸ Manual de Diseño de Puentes por www.ssingenieria.com

2. **Rigidizadores de apoyo:** Están constituidos por placas o ángulos que se sueldan o remachan en posición vertical al alma de la viga, en los sitios de apoyo. Su función principal es transmitir los esfuerzos de cortante del alma de la viga al dispositivo de apoyo elegido, lo cual evita el pandeo o aplastamiento de la misma.
3. **Rigidizadores intermedios:** Se utilizan en los puntos de aplicación de cargas concentradas o en las vigas compuestas de mucha altura para evitar el aplastamiento o el pandeo del alma.

Consideraciones generales para las vigas compuestas⁹

- En general, evitar el uso de espesor de alma menores a 1.27 cm ($\frac{1}{2}$ ").
- Las conexiones en cruz con el marco actuarán como atiesadores del alma. Las especificaciones del manual LRFD no prescribe un espaciamiento del cruce de marcos. Si los atiesadores del alma están espaciados a tres veces el peralte de la viga o menos, se considera que la viga está completamente atiesada. Por lo tanto, si los marcos transversales se localizan a tres veces el peralte de la viga o menos, entonces la viga estará completamente atiesada.
- Las almas que no están atiesadas transversalmente son generalmente más económicas para peraltes de almas de 127 cm (50 pulgadas) o menos aproximadamente.
- En general, las almas parcialmente atiesadas son más económicas para una viga típica.

⁹Construcción de puentes de Acero con AASHTO LRFD

- Los atiesadores transversales intermedios deben ser colocados en un sólo lado del alma y deben ser cortados como mínimo a 2.54 cm (una pulgada) del patín de tensión para acomodar la pintura. La distancia entre soldaduras debe estar limitada a 4 o 6 veces el espesor del alma para prevenir el desgarramiento del alma.
- Los atiesadores longitudinales deben ser evitados, pero cuando se usen con atiesadores transversales en claros largos con almas peraltadas, éstos deben ser colocados del lado opuesto del alma al atiesador transversal. Cuando esto no sea posible, como en las intersecciones con placas de conexión entre los marcos, el refuerzo longitudinal no debe ser interrumpido por el refuerzo transversal.

Generalmente se utilizan aceros de Grado A-36 y A-50.

2.2.1.3.4. Armadura de repartición

Refuerzo principal perpendicular a la dirección del tránsito.

$$\% = \frac{3480}{s} \text{ de la armadura en flexión. Max} = 67\%$$

Refuerzo principal paralelo a la dirección del tránsito.

$$\% = \frac{1750}{s} \text{ de la armadura en flexión. Max} = 50\%$$

S=Luz de cálculo en mm

2.2.1.3.5. Deformaciones¹⁰

Para observar la deformación que tendrá el puente se debe realizar lo siguiente:

- La máxima deflexión se obtiene al estar cargados todos los carriles de diseño, asumiendo que todos los elementos portantes se deforman de igual manera.
- Se debe aplicar la carga viva vehicular, incluyendo el incremento por carga dinámica. La combinación de cargas a emplear es la de Servicio I de la Tabla 3.4.1-1 de la norma AASHTO LRFD.
- La sobrecarga viva se debe tomar de la norma AASHTO LRFD, sección 3.6.1.3.2

Para las construcciones de acero, aluminio y hormigón se pueden considerar los siguientes límites para la deflexión.

Tabla 7. Fórmulas para el cálculo de las deformaciones

FORMULAS PARA CALCULAR LA DEFORMACION	
CARGA	FORMULAS
Vehicular	$L/800$
Vehicular y/o peatonal	$L/1000$
vehicular sobre voladizos	$L/300$
vehicular y/o peatonal sobre voladizos	$L/375$

Fuente: AASHTO LRFD, sección 2.5.2.2

¹⁰AASHTO LRFD, sección 5.7.3.6.2

2.2.1.3.6. Propiedades de los materiales

2.2.1.3.6.1. Hormigón Armado

Para concreto diseñado y construido de acuerdo con el Reglamento (ACI 318-08), f'_c ; no puede ser inferior a 17 MPa.

Módulo de elasticidad E_c según el ACI-318-08, pág. 115

Para concreto con densidad normal, E_c puede tomarse como:

$$4700 \sqrt{f'_c} \quad ; \quad f'_c: \text{Resistencia a la compresión en Mpa}$$

Módulo de Rotura¹¹

A menos que se realicen ensayos físicos, el módulo de rotura, f_r , para hormigones de densidad normal

$$0.63 \sqrt{f'_c} \quad ; \quad f'_c : \text{Resistencia a la compresión en MPa}$$

Coefficiente de Expansión Térmica¹²

El coeficiente de expansión térmica se debería determinar realizando ensayos en laboratorio sobre la mezcla específica a utilizar.

En ausencia de datos más precisos, el coeficiente de expansión térmica se puede tomar como:

- Para hormigón de densidad normal: $10,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, y
- Para hormigón de baja densidad: $9,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

¹¹AASHTO LRFD, sección 5.4.2.6

¹²AASHTO LRFD, sección 5.4.2.2

Coefficiente de Poisson¹³

Los coeficientes de Poisson para los materiales del pavimento y la subrasante son 0,2 y 0,4 respectivamente.

2.2.1.3.6.2. Acero de refuerzo¹⁴

El refuerzo corrugado que resiste fuerzas axiales y de flexión inducidas por sismo en elementos, debe cumplir con las disposiciones de ASTM A706M. Se permite el uso de acero de refuerzo ASTM A615M, grados 280 y 420, en estos elementos siempre y cuando:

- La resistencia real a la fluencia basada en ensayos realizados por la fábrica no sea mayor que f_y en más de 125 MPa.
- La relación entre la resistencia real de tracción y la resistencia real de fluencia no sea menor de 1.25

El límite de fluencia f_y del acero ASTM A706 Gr42 es de $4200 \frac{kg}{cm^2}$

2.2.1.3.6.3. Acero estructural¹⁵

Los aceros más empleados en puentes son:

ASTM A36 con un $f_y=2531 \frac{kg}{cm^2}$; ASTM A588 Gr50 con un $f_y=3515 \frac{kg}{cm^2}$

¹³ AASHTO LRFD 2012, sección 3.11.6.4

¹⁴ ACI-318-08, pág. 343

¹⁵ AISC 360-10

2.2.1.3.6.4. Reforzamientos mínimos¹⁶

En toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis se requiera refuerzo de tracción, el A_s proporcionado no debe ser menor que el obtenido por medio de:

$$A_{smin} = \frac{0.25 \overline{f'_c}}{f_y} b_w d$$

Pero no menor a $\frac{1.4b_w d}{f_y}$

b_w : Ancho del alma (mm)

f_y : Tensión de fluencia del acero de refuerzo

2.2.1.3.7. Separación Mínima del acero de refuerzo¹⁷

Para el hormigón colado in situ, la distancia libre entre barras paralelas ubicadas en una capa no debe ser menor que 1.5 veces el diámetro nominal de las barras, 1.5 veces el tamaño máximo del agregado grueso, o 3.8 cm

Para el hormigón prefabricado en planta, la distancia libre entre barras paralelas ubicadas en una capa no debe ser menor que el diámetro nominal de las barras, 1.33 veces el tamaño máximo del agregado grueso o 2.5 cm

Múltiples capas de Armadura: Excepto en los tableros en los cuales se coloca armadura paralela en dos o más capas, con una distancia libre entre capas no mayor que 15 cm, las barras de las capas superiores se deberán ubicar

¹⁶ACI-318-08, pág. 145

¹⁷AASHTO LRFD, sección 5.10.3

directamente sobre las de la capa inferior, y la distancia libre entre capas deberá ser mayor o igual que 2.5 cm o el diámetro nominal de las barras.

Paquetes de Barras: El número de barras paralelas dispuestas en un paquete de manera que actúen como una unidad no deberá ser mayor que cuatro, excepto en los elementos flexionados en ningún paquete el número de barras mayores que N° 36 deberá ser mayor que dos. Los paquetes de barras deberán estar encerrados por estribos o zunchos.

El traslape de las varillas es de 40 diámetros de barra los cuales deben ser colocados de forma alternada.

2.2.1.3.8. Separación Máxima del acero de refuerzo¹⁸

La separación de la armadura en tabiques y losas no deberá ser mayor que 1.5 veces el espesor del elemento ó 45 cm.

2.2.1.3.9. Estribos

Son estructuras diseñadas para soportar el peso de la superestructura en forma de apoyos en los extremos del puente, también sirven como muros de contención frente al empuje que generan los terraplenes de acceso. Los estribos pueden ser de concreto simple (estribos de gravedad), concreto armado (muros en voladizo o con pantalla y contrafuertes), etc.

¹⁸AASHTO LRFD, sección 5.10.3.2

2.2.1.3.9.1. Estribo en voladizo de Hormigón Armado

Este tipo de estribos se los emplea en alturas de 4 a 10 metros.

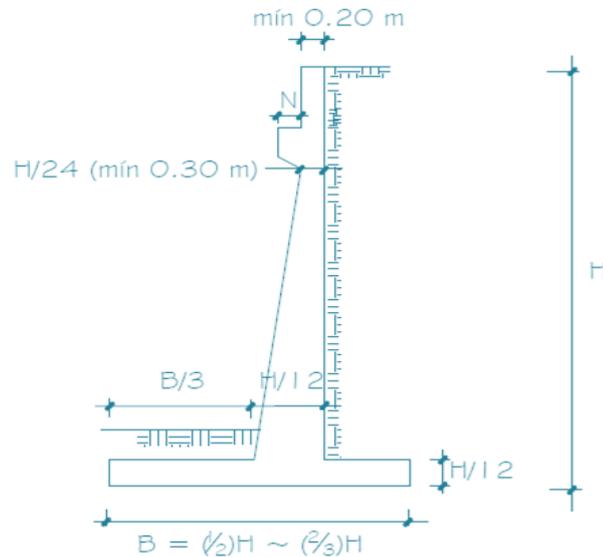


Figura 2. Estribo en voladizo

Fuente: DISEÑO DE PUENTES Ing. Arturo Rodríguez Serquén

2.2.1.3.10. Cimentación

Está diseñada para soportar todas las cargas permanentes y temporales transmitidas desde la super-estructura.

Se deben realizar estudios de suelos para cada elemento de la subestructura, con el fin de obtener la información necesaria para el diseño y la construcción de cimentaciones. La extensión de los estudios se basa en las condiciones sub-superficiales, el tipo de estructura y los requisitos del proyecto.

2.2.1.4. Diseño sísmico de puentes

2.2.1.4.1. Coeficiente de Aceleración “Z”

El valor de Z, representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. (NEC-SE-DS). lugar en donde se construirá la estructura establecerá una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, definidas por el valor del factor de zona Z, conforme al mapa de la Figura 3.

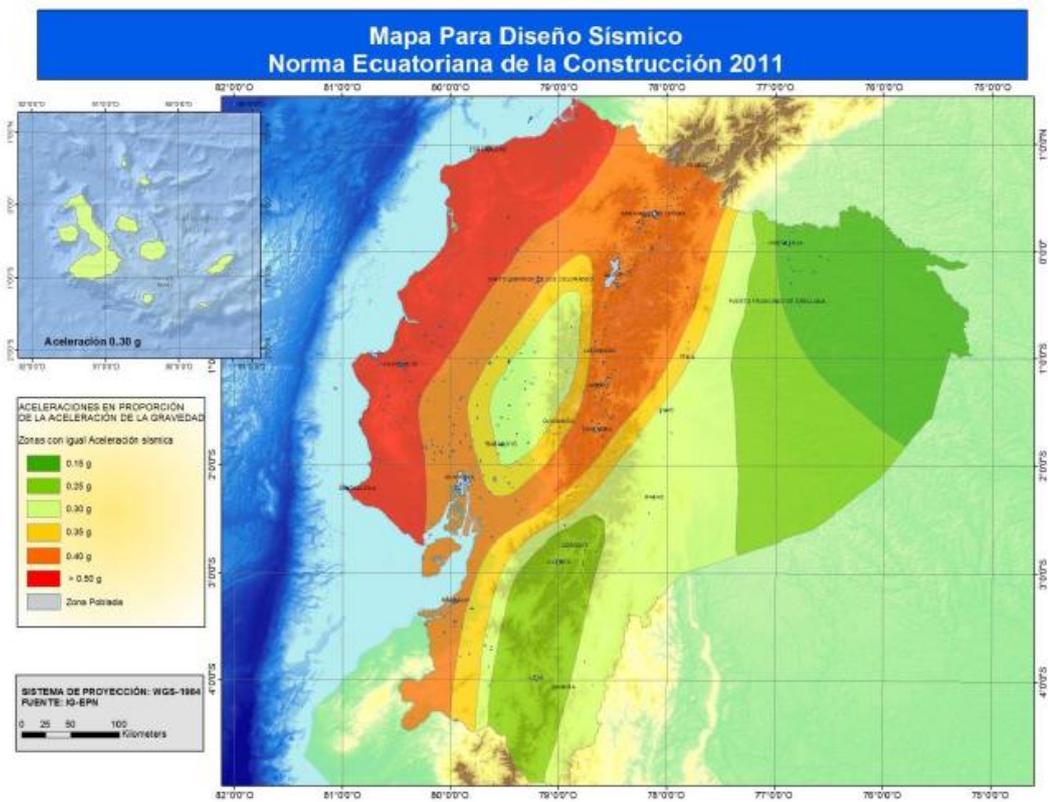


Figura 3. Zonas Sísmicas del Ecuador

Fuente: NEC-SE-DS

Tabla 8. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC-SE-DS

2.2.1.4.2. Tipo de suelo¹⁹

La Norma Ecuatoriana de la construcción establece que el espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la celeración de la gravedad S_a , para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la consistente con el factor de zona sísmica Z , el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura y considerando los valores de los coeficiente de amplificación o de amplificación de suelo. Dicho espectro, que obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 0.05, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para periodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 rangos:

$$S_a = n Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = n Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \text{ para } T > T_c$$

Donde $r=1$, para tipo de suelo A, B o C y $r=1.5$, para tipo de suelo D o E.

Asimismo, de los análisis de las ordenadas de los espectros de peligro uniforme en roca para el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Periodo de retorno

¹⁹ NEC-SE-DS

475 años) y, normalizándolos para la aceleración máxima en el terreno, Z , se definieron los valores de la relación de amplificación espectral, n (Sa/Z , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, adoptando los siguientes valores: $n = 1.8$ (Provincias de la Costa), 2.48 (Provincias de la Sierra), 2.6 (Provincias del Oriente).

Los límites para el periodo de vibración T_c y T_L (éste último a ser utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos) se obtienen de las siguientes expresiones:

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_L = 2.4 F_d$$

No obstante, para los perfiles de suelo tipo D y E, los valores de T_L se limitarán a un valor máximo de 4 segundos. Para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de Sa debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de periodo de vibración menores a T_0 :

$$Sa = Z Fa \left(1 + (n - 1) \frac{T}{T_0} \right) \text{ para } T \leq T_0$$

$$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Mientras se ejecutan los estudios de microzonificación sísmica, pueden utilizarse los requisitos establecidos en esta sección, los cuales son requisitos mínimos y no substituyen los estudios detallados de sitio, los cuales son necesarios para el caso de proyectos de infraestructura importante y otros proyectos distintos a los de edificación.

Tabla 9. Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $V_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa (≈ 1 kgf/cm ²) > $S_u \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa (≈ 0.50 kgf/cm ²)
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista (Ver 2.5.4.9). Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p>F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3$m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F3—Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5$ m con índice de Plasticidad $IP > 75$)</p> <p>F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 30$m)</p> <p>F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.</p> <p>F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.</p>	

Fuente: NEC-SE-DS

Coeficientes de amplificación o desamplificación dinámica de perfiles de suelo f_a , f_d y f_s :

En la siguiente tabla se presentan los valores del coeficiente F_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tabla 10. Tipo de suelo y Factores de sitio Fa

Tipo de perfil del subsuelo	Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15
E		1.8	1.5	1.4	1.28	1.15	1.05
F		Ver nota					

Fuente: NEC-SE-DS

En la Tabla 11 se presentan los valores del coeficiente **Fd** que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

Tabla 11. Tipo de suelo y factores de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		Ver nota					

Fuente: NEC-SE-DS

En la Tabla 12 se presentan los valores del coeficiente **Fs** que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tabla 12. Factor del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

Tipo de perfil del subsuelo	Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C		1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D		1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E		1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F		Ver nota					

Fuente: NEC-SE-DS

Si de estudios de microzonificación sísmica realizados para una región determinada del país, se establecen valores de **F_a**, **F_d**, **F_s** y de **S_a** diferentes a los establecidos en esta sección, se podrán utilizar los valores de los mencionados estudios, prevaleciendo los de este documento como requisito mínimo.

2.2.1.4.3. Clasificación de las Estructuras²⁰

- **Puentes críticos:** Deben quedar ilesos luego de presenciar un gran sismo.
- **Puentes esenciales:** Deben quedar ilesos después de presenciar un Sismo.
- **Otros puentes**

2.2.1.4.4. Factor de Modificación de Respuesta²¹

Las fuerzas de diseño sísmico para sub-estructuras y las conexiones entre las partes de la estructura, se determinarán dividiendo las fuerzas resultantes de un análisis elástico por el

²⁰ DISEÑO DE PUENTES CON AASHTO-LRFD 2010. Autor: Ing. Arturo Rodríguez Serquén

²¹ AASHTO LRFD 2012, Sección 3.10.7.1.

factor de modificación de respuesta **R** apropiado. Si un método de análisis tiempo-historia inelástico es usado, el factor de modificación de respuesta R será tomado como 1.0 para toda la sub-estructura y conexiones.

Tabla 13. Factores de modificación de Respuesta "R" Sub-estructura

SUB-ESTRUCTURA	IMPORTANCIA		
	CRITICO	ESENCIAL	OTROS
Pila tipo placa de gran dimension	1.50	1.50	2.00
Pilotes de concreto armado			
• Solo pilotes verticales	1.5	2.00	3.00
• Grupo de pilotes incluyendo pilotes inclinados	1.5	1.50	2.00
Columnas individuales	1.50	2.00	3.00
Pilotes de acero o acero compuesto con concreto			
• Solo pilotes verticales	1.50	3.50	5.00
• Grupo de pilotes incluyendo pilotes inclinados	1.50	2.00	3.00
Columnas multiples	1.50	3.50	5.00

Fuente: AASHTO LRFD 2012

Tabla 14. Factores de modificación de respuesta "R" Conexiones

CONEXIONES	PARA TODAS LAS CATEGORIAS DE IMPORTANCIA
Superestructura a estribo	0.80
Juntas de expansión dentro de la superestructura.	0.80
Columnas, pilares o pilotes a las vigas cavezal o superestructura.	1.00
Columnas o pilares a la cimentacion	1.00

Fuente: AASHTO LRFD 2012

2.2.1.4.5. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño. (AASHTO LRFD, sección 3.10.4.1)

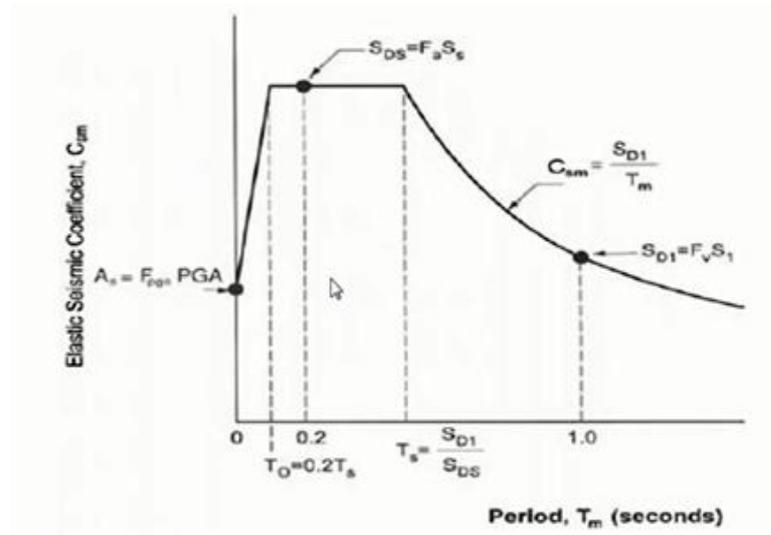


Figura 4. Espectro de diseño

Fuente: AASHTO LRFD (2012)

2.2.1.4.6. Categoría de diseño Sísmico según AASHTO LRFD

Categoría A

1. No se especifica un sistema resistente a sismo en particular.
2. No requiere análisis de demanda.
3. No se requiere verificación de capacidad implícita.
4. No se requiere diseño por capacidad.
5. Se debe cumplir con los requerimientos mínimos de detalle, referidos a longitud de soportes, fuerza de diseño en las condiciones de superestructura/infraestructura y acero transversal en columnas.
6. No se requiere evaluación de potencia de licuación.

Categoría B

1. Se debe considerar el uso de un sistema resistente a sismo en particular
2. Requiere análisis de demanda
3. Requiere verificación de capacidad implícita (desplazamiento P- Δ , longitud de soporte)
4. Se debe considerar el diseño por capacidad para cortante en la columna, se deben considerar las verificaciones por capacidad para evitar vínculos débiles en el sistema resistente a sismo
5. Nivel de detalle acorde a B
6. Se debe considerar la evaluación de potencial licuación para ciertas condiciones

Categoría C

1. Se especifica un sistema resistente a sismo en particular
2. Requieren análisis de demanda
3. Requieren verificación de capacidad implícita (desplazamiento P- Δ , longitud de soporte)
4. Se debe considerar el diseño por capacidad y requerimientos por cortante en la columna.
5. Nivel de detalle acorde a C
6. Se requiere la evaluación de potencial de licuación.

Categoría D

1. Se especifica en un sistema resistente a sismo en particular
2. Requieren análisis de demanda
3. Requieren verificación de capacidad basada en el desplazamiento mediante análisis Pushover (desplazamiento P- Δ , longitud de soporte)

4. Se debe considerar el diseño por capacidad y requerimientos por cortante en la columna.
5. Nivel de detalle acorde a D
6. Se requiere la evaluación de potencial de licuación.

2.2.1.4.7. Requerimientos mínimos de análisis para Efectos Sísmicos²²

Tabla 15.Requerimientos mínimos análisis para efectos sísmicos

Seismic Zone	Single-Span Bridges	Multispan Bridges					
		Other Bridges		Essential Bridges		Critical Bridges	
		regular	irregular	regular	irregular	regular	irregular
1	No seismic analysis required	*	*	*	*	*	*
2		SM/UL	SM	SM/UL	MM	MM	MM
3		SM/UL	MM	MM	MM	MM	TH
4		SM/UL	MM	MM	MM	TH	TH

Fuente: AASHTO LRFD (2012)

*= No se requiere análisis sísmico

UL= Método Elástico de Carga Uniforme

SM= Método Elástico de un modo de vibración

MM= Método Elástico Multi-Modal

TH= Método de análisis con tiempo-historia

²² AASHTO LRFD 2012, sección 4.7.4.3.1

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO.

3.1. TIPO DE ESTUDIO.

Los tipos de investigación utilizados son:

Investigación Exploratoria.- Se aplicó este tipo de investigación debido a que el tema elegido ha sido poco explorado y reconocido y por ende es difícil identificar las variables y formular hipótesis precisas.

Investigación Descriptiva.- Ha permitido detallar las características fundamentales que contiene el software CSIBRIDGE, mediante el empleo de criterios sistemáticos que permitan conocer el manejo de este programa.

Investigación Explicativa.- Ha sido utilizada debido a que fue necesario profundizar en el conocimiento del software, para entender el manejo y poder aplicar en los puentes, alcanzando así una mejora en el tiempo de cálculo de los mismos.

Se realizó un tipo de estudio bibliográfico ya que se determinó fuentes importantes de consulta con son: normas para el diseño y construcción de puentes, especificaciones técnicas, libros, etc.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

La población donde se desarrolla la investigación está definida por códigos, normativas, manuales, guías, libros relacionados con el diseño de puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas), empleando el software CSIBRIDGE.

La muestra de población que se tomará para alcanzar los objetivos, del problema y la hipótesis, serán los siguientes mencionados.

Tabla 16.Referencias y normas

REFERENCIAS	AUTOR
PUENTES–AASHTO LRFD (2010)	Ing. Arturo Rodríguez Serquén
DISEÑO DE SUPERESTRUCTURAS EN PUENTES	Ing. Jorge Cabanillas Rodríguez.
CONGRESO LATINOAMERICANO EN INGENIERIA CIVIL	JULIACA 2012
TESIS “MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO DE PUENTES SIMPLEMENTE APOYADOS”	CAPT. E. Gudiño Auz Edison Fernando y CAPT. DE E. Ayala Salcedo Fredy Gustavo
NORMATIVA	
AASHTO LRFD BRIDGE (2012), American Association of State Highway and Transportation Officials	
AASHTO LRFD BRIDGE (2007), American Association of State Highway and Transportation Officials	
NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12-MTOP, Volumen N°2-LIBRO B NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑO VIAL.	
ANCI/AISC 360-10 American Institute of Steel Construction	
NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN -NEC-SE-DS	

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Las variables, serán calificadas y cuantificadas de acuerdo al siguiente cuadro.

Tabla 17. Variables Dependiente e Independiente

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO
La ausencia de información confiable acerca de la modelación de puentes en software CSIBRIDGE V15.2	Es el análisis de la estructura para encontrar el resultado correspondiente del cálculo realizado	Normativas, Códigos y Artículos Afines	AASHTO	¿Cuáles son los artículos de los códigos aplicables en el cálculo y diseño?	Observación: Mediante la lectura comprensiva	Archivos digitales e impresos referentes al tema.
			Artículos afines			
			Normativa Ecuatoriana de la Construcción			
		Cuantificación de Cargas	Carga Viva	¿Cuál es el resultado de no cuantificar con gran precisión los diferentes tipos de carga?	Observación: Mediante la cuantificación de cargas de la estructura.	
			Carga Muerta			
			Sismos			
Crear conocimiento fundamentado en normas y de fácil acceso en el manejo del software CSIBRIDGE V15.2 para la modelación de puentes.	Software especializado de cálculo en un rango elástico lineal de las estructuras por el método de elementos finitos.	Cargas de diseño	eso en el manejo del se	¿Cuáles son los esfuerzos máximos permitidos para cada uno de los elementos estructurales?	Memoria descriptiva, desarrollo de cálculo de puentes de hormigón armado y mixtos (Tablero de hormigón con vigas metálicas).	Memoria impresa de cálculo, equipo de computo
			Losas			
			Estribos			
		Elementos estructurales	Vigas	¿Cuál será el mejor procedimiento para el cálculo de los elementos estructurales con el software especializado.		
			Losas			
			Estribos			

Fuente: Autor

3.4.PROCEDIMIENTOS

Procedimiento a seguir en la presente investigación



1. Acumulación de referencias.

Recolección de información bibliográfica basada en referencias que permita sustentar el trabajo de investigación, para lo cual se acudió a: manuales, tutoriales, apuntes y artículos referentes al manejo del software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN, además se realizó la respectiva consulta sobre normas, especificaciones técnicas y libros empleados para el diseño, análisis y construcción de puentes.

Este proceso fue realizado teniendo en cuenta el plan de trabajo para evitar el exceso de información no deseada.

2. Selección de referencias

Determinación de la bibliografía a ser utilizada dentro de la investigación con una lectura rápida de cada una de las referencias, para poder determinar si es útil o no la información, quedando solo la información que se empleara específicamente en el trabajo.

3. Incorporación de referencias al plan de trabajo:

Mediante un proceso sistemático se colocaron las referencias útiles para cada parte del trabajo, luego se procederá al desarrollo de la investigación.

4. Fichado

Se procedió a llevar las referencias al contenido ya sea de forma directa, indirecta, comentario o un resumen de la misma.

5. Redacción

Se realizó un análisis e interpretar el proceso y resultado obtenido de la modelación de puentes de: hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas) en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN.

Dentro de la redacción en el marco teórico se mencionó al autor de cuya información se está utilizando, complementando con las fichas de referencia creadas anteriormente.

6. Confrontación y verificación.

Se procedió a revisar todo el trabajo de forma detallada de pronto exista alguna falla para poder corregirla antes de su presentación.

7. Correcciones y revisiones finales:

Se realizó el desarrollo del informe final o tesis ya corregido en esta fase se procede a elaborar el informe final de la investigación.

3.5.PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

Dentro del procesamiento y análisis se realiza el cálculo manual y la modelación en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION para un puente de hormigón y un mixto (Tablero de hormigón sobre vigas metálicas)

3.5.1.Diseño de la súper estructura del puente de Hormigón calculo manual

3.5.1.1. Diseño del tablero

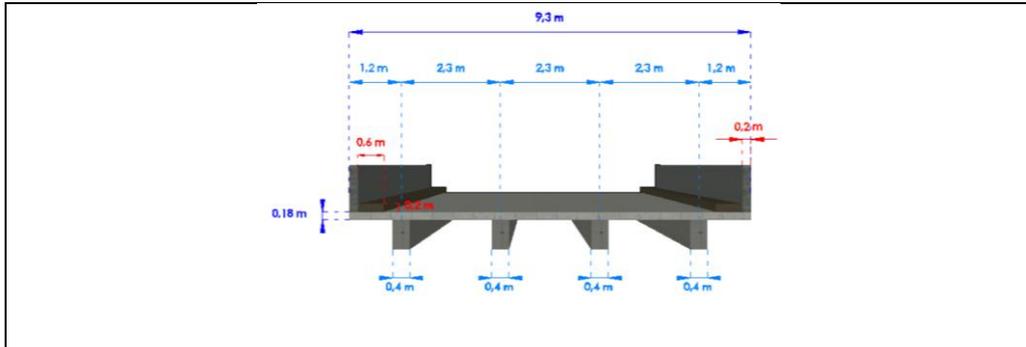
Para el diseño de la losa de hormigón Armado se utilizó el Método Elástico Aproximado (especificado en el artículo 4.6.2.1 de la Norma AASTHO LRFD), Método Refinado (especificado en el artículo 4.6.3.2 de la Norma AASTHO LRFD), o el Método Empírico (especificado en el artículo 9.7.2 de la Norma AASTHO LRFD), pueden ser utilizados para realizar el diseño de losas de hormigón Armado.

El método Elástico Aproximado, conocido también como método de las Franjas, simula franjas que van de un lado a otro del tablero, modelándolas como vigas simplemente apoyadas. Este método corresponde a un método similar utilizado en la Norma AASTHO STANDARD.

El diseño del tablero se realizará en hormigón armado $F'_c=280 \text{ kg/cm}^2$, con armadura perpendicular y transversal al tráfico y malla electro soldada para la contracción y dilatación de temperatura.

Carga Viva (AASHTO, sección 3.4), se empleará el peso del Camión tipo HS 20-44, tiene un peso de 3,63(T) en el eje delantero y de 14,52(T) en cada uno de los ejes posteriores y es el que se ocupa en nuestro país, cuyo peso es 7,27 Ton/m² por eje.

Calculo del tablero



DATOS DEL PUENTE					
Ancho	9.30	m	Camion Tipo	7.27	T
Longitud	22	m	R. Hormigon	280	Kg/cm ²
b	40	cm	R. Acero	4200	Kg/cm ²
t asumido	0.18	m	t calc	0.18	m
P. específico	2.4	T/m ³	Barandas	0.15	T/m

# VIGAS	S*	1	1.9	1.9	1.9	1	(m)
4	S	1.2	2.3	2.3	2.3	1.2	9.30

DATOS VOLADO			
ACERA	2	BARANDA	2
ANCHO	0.8	ALTURA	1.1
ESPESOR	0.2	BASE	0.2
		ESPESOR	0.2

TABLERO

CARGA MUERTA

Losa	0.432 T/m ²		
Acera	0.083 T/m ²		
Carpeta rodadura	0.120 T/m ²	Mcm	0.235 Tm/m ²
baranda	0.0161 T/m ²		
Pcm	0.651 T/m ²		Mu 4.375 Tm/m ²

l 0.254 <=30 Mcv 1.878 Tm/m²

φ asumido 16

d 12.2 cm

k 0.117

q 0.126

p 0.0084

dcomparacion 12.2 **Ok**

87.78 <=67%

	(cm ²)	#	φ
As	10.25	6	16
As real	12.06	Ok	
As Total	265.32	132	16
As reparticion	8.08	5	16
As real	10.05	Ok	
As Total	93.47	47	16

VOLADOS							
	Mcm			0.326	Tm/m2		
	1ra condicion			2da condicion			
CARGA VIVA				CARGA VIVA			
Acera	0.199	P	E			P	E
P	0.000	-0.957	1.059	P	3.492	4.56	1.543
I	0.271			I	0.83		
Mcv	0.47 Tm/m2			Mcv	4.322 Tm/m2		
Mu1	1.442 Tm/m2			Mu2	4.963 Tm/m2		
M escogido	3						
φ asumido	16			4.963	100	x=	70.94
d	12.2 cm			1.442	x		
k	0.117						
q	0.126						
p	0.0084						
dcomparacion	12.99					121.00 <=67%	
		X					
				(cm2)	#	φ	
As	10.25	6	16				
As real	12.06	Ok					
As Total	265.32	17	16				
As reparticion	8.08	5	16				
As real	10.05	Ok					
As Total	93.47	6	16				
As temp=	3.24	5	10				
As real	3.95	Ok					

3.5.1.2. Diseño de la viga Interior Izquierda

DATOS		
f'c=	280	Kg/cm2
Fy=	4200	Kg/cm2
Luz del puente	22	m
# Vigas	4	u
Carga vehiculo de diseño	7.27	T
s=	2.3	m
s*=	1.9	m
b=	0.4	m
t=	0.18	m
Carga Pasamanos	0.15	T/m
Ancho acera	0.6	m
Espesor acera	0.2	m
δha=	2.4	T/m3
δhaceras=	2.4	T/m3

1 Ancho Efectivo:

$$B \leq \begin{cases} L/4 & 5.5 \text{ m} \\ 12t+b & 2.56 \text{ m} \\ s & 2.3 \text{ m} \end{cases} \quad B = 2.3 \text{ m}$$

2 Peralte Mínimo:

$$h_{min} = 1.51 \text{ m}$$

$$h_{min \text{ asl}} = 1.51 \text{ m}$$

3 Análisis de carga muerta

• Tablero:

$$W_t = 0.994 \text{ T/m}$$

• Capa de rodadura:

$$W_{cr} = 0.276 \text{ T/m}$$

$$\Sigma W = 1.27 \text{ T/m}$$

• Peso propio de la viga:

$$W_{pp} = 1.277 \text{ T/m}$$

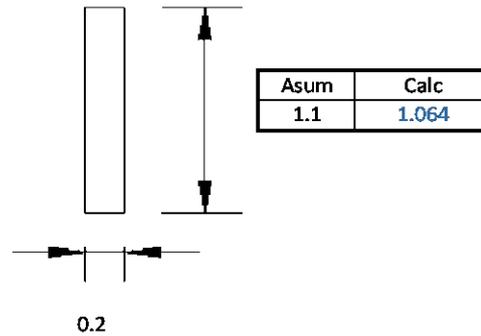
• Peso de los diafragmas:

$$W_d = 1.21 \text{ T/m}$$

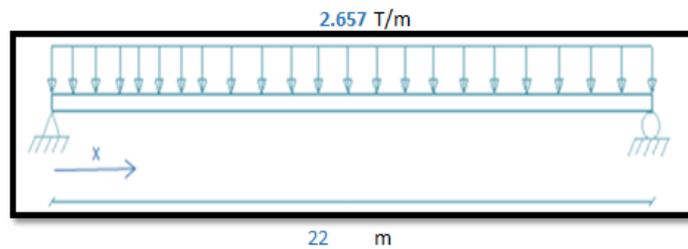
$$M = 6.66 \text{ T}_m$$

$$q = 0.11 \text{ T/m}$$

$$\Sigma W_{cm} = 2.657 \text{ T/m}$$



4 Diagrama de carga muerta:



x	M _{cm}	V _{cm}
0	0	29.227
2.75	70.327	21.92
5.5	120.561	14.614
8.25	150.702	7.307
11	160.749	0

5 Análisis del momento de carga viva

- Factor de distribución transversal

f=

- Impacto

Im= 0.25

P	P	$P/4$
7.27	7.27	1.818

x	ML	MD	$ML+I$	Mu	Iv	VM	$VL+I$	Vu
0	0	0	0	0	1.254	29.227	22.466	75.849
2.75	33.54	70.327	53.406	181.369	1.266	21.92	19.424	61.392
5.5	55.835	120.561	89.845	307.93	1.279	14.614	16.334	46.852
8.25	66.883	150.702	108.869	378.888	1.294	7.307	13.197	32.229
11	66.685	160.749	109.927	393.309	1.31	0	9.99	17.483

3.5.2. Resultados de la modelación en el software CSIBRIDGE V15.2

Se realizó la modelación del puente de hormigón calculado anteriormente de forma manual, como se muestra en la siguiente figura.

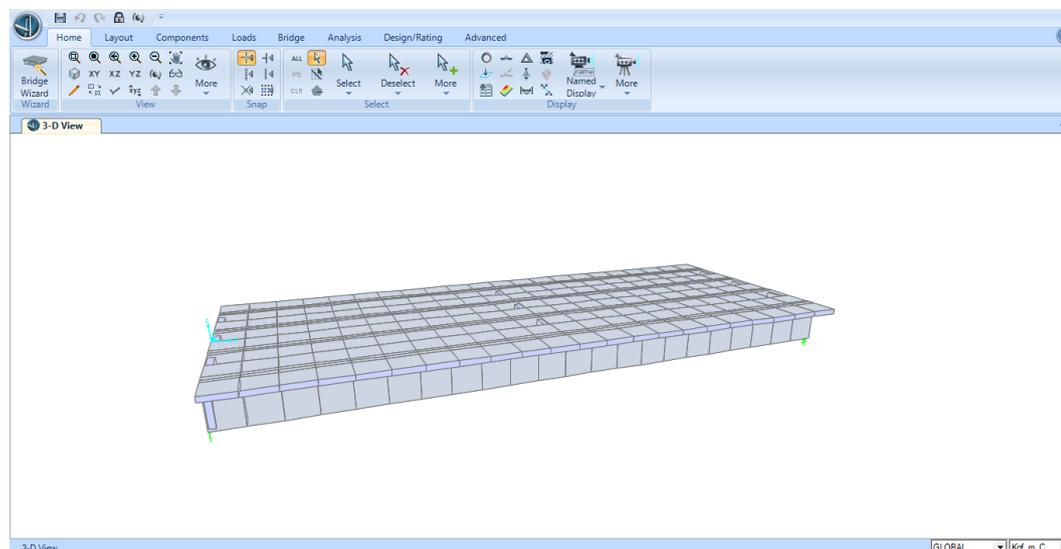


Figura 5. Modelado del puente de Hormigón

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

A continuación se presenta el diagrama de momentos de la viga interior con la combinación de resistencia 1, obteniendo un momento máximo de 363.69 Ton-m

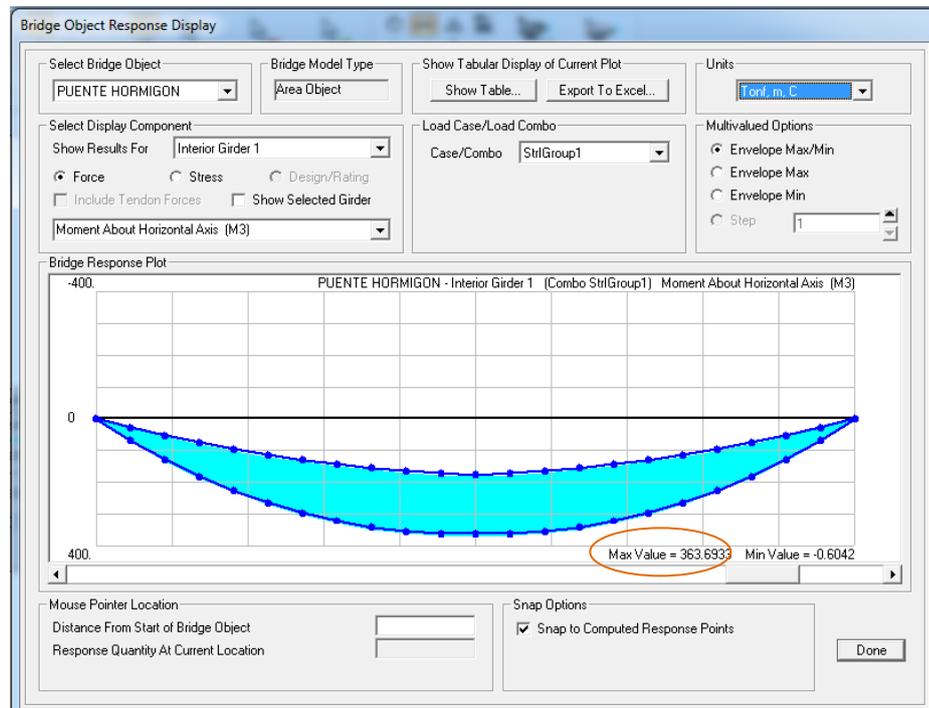


Figura 6. Momento último de la viga interior

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Luego se muestra el diagrama de cortante de la viga interior con la combinación de resistencia 1, obteniendo un cortante máximo de 70.39 Ton

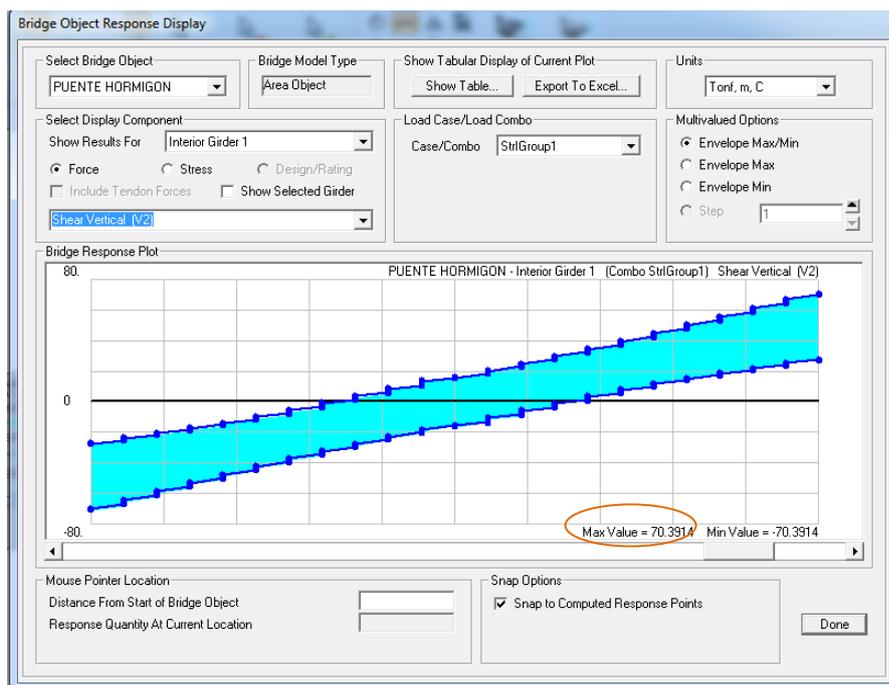


Figura 7. Cortante último de la viga interior

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Posteriormente se indica un resumen de los diagramas de cortante y momento de la tabla de resultados que nos proporciona el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION

Tabla 18. Resultados del puente de Hormigón

TABLA DE DATOS DEL PUENTE DE HORMIGON							
VIGA	DISTANCIA	CASO DE CARGA	TIPO DE CARGA	P	V2	T	M3
Text	m	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
Left Exterior Girder	0	DEAD	LinStatic	0.07	-28.13	-0.78	-0.07
Left Exterior Girder	5	DEAD	LinStatic	1.76	-15.62	-0.25	108.64
Left Exterior Girder	11	DEAD	LinStatic	1.64	-0.55	0.88	157.05
Left Exterior Girder	15	DEAD	LinStatic	2.12	10.55	-0.06	134.65
Left Exterior Girder	22	DEAD	LinStatic	0.07	28.13	0.78	-0.07
Left Exterior Girder	0	StrlGroup1	Combination	-0.39	-66.80	-9.13	-1.46
Left Exterior Girder	5	StrlGroup1	Combination	-3.37	-42.29	-5.47	125.71
Left Exterior Girder	11	StrlGroup1	Combination	9.91	10.68	6.22	372.11

VIGA	DISTANCIA	CASO DE CARGA	TIPO DE CARGA	P	V2	T	M3
Text	m	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
Left Exterior Girder	15	StrlGroup1	Combination	9.97	29.73	3.75	320.07
Left Exterior Girder	22	StrlGroup1	Combination	0.51	66.80	9.13	1.46
Left Exterior Girder	0	SerlGroup8	Combination	-0.18	-47.39	-6.02	-0.92
Left Exterior Girder	5	SerlGroup8	Combination	6.20	-17.35	1.51	183.77
Left Exterior Girder	11	SerlGroup8	Combination	6.72	6.25	3.98	261.32
Left Exterior Girder	15	SerlGroup8	Combination	6.68	20.05	1.85	226.02
Left Exterior Girder	22	SerlGroup8	Combination	0.31	47.39	6.02	0.92
Interior Girder 1	0	DEAD	LinStatic	-0.08	-27.35	-0.22	0.32
Interior Girder 1	5	DEAD	LinStatic	-1.76	-15.20	-0.19	107.36
Interior Girder 1	11	DEAD	LinStatic	-1.64	-0.67	0.04	155.08
Interior Girder 1	15	DEAD	LinStatic	-2.12	10.41	0.12	133.12
Interior Girder 1	22	DEAD	LinStatic	-0.08	27.35	0.22	0.32
Interior Girder 1	0	StrlGroup1	Combination	-0.59	-70.39	-6.77	-0.60
Interior Girder 1	5	StrlGroup1	Combination	5.34	-11.89	6.08	265.69
Interior Girder 1	11	StrlGroup1	Combination	1.34	15.65	4.15	363.69
Interior Girder 1	15	StrlGroup1	Combination	3.55	32.64	5.61	322.53
Interior Girder 1	22	StrlGroup1	Combination	0.40	70.39	6.77	0.60
Interior Girder 1	0	SerlGroup8	Combination	-0.36	-48.47	-4.03	-0.08
Interior Girder 1	5	SerlGroup8	Combination	1.51	-14.96	3.27	184.97
Interior Girder 1	11	SerlGroup8	Combination	-1.04	7.77	2.09	257.61
Interior Girder 1	15	SerlGroup8	Combination	0.36	22.11	3.26	225.75
Interior Girder 1	22	SerlGroup8	Combination	0.19	48.47	4.03	0.08
Interior Girder 2	0	DEAD	LinStatic	-0.08	-27.35	-0.22	0.32
Interior Girder 2	5	DEAD	LinStatic	-1.76	-15.20	-0.19	107.36
Interior Girder 2	11	DEAD	LinStatic	-1.64	-0.67	0.04	155.08
Interior Girder 2	15	DEAD	LinStatic	-2.12	10.41	0.12	133.12
Interior Girder 2	22	DEAD	LinStatic	-0.08	27.35	0.22	0.32
Interior Girder 2	0	StrlGroup1	Combination	-0.59	-70.39	-6.77	-0.60
Interior Girder 2	5	StrlGroup1	Combination	5.34	-11.89	6.08	265.69
Interior Girder 2	11	StrlGroup1	Combination	1.34	15.65	4.15	363.69
Interior Girder 2	15	StrlGroup1	Combination	3.55	32.64	5.61	322.53
Interior Girder 2	22	StrlGroup1	Combination	0.40	70.39	6.77	0.60
Interior Girder 2	0	SerlGroup8	Combination	-0.36	-48.47	-4.03	-0.08
Interior Girder 2	5	SerlGroup8	Combination	1.51	-14.96	3.27	184.97
Interior Girder 2	11	SerlGroup8	Combination	-1.04	7.77	2.09	257.61
Interior Girder 2	15	SerlGroup8	Combination	0.36	22.11	3.26	225.75
Interior Girder 2	22	SerlGroup8	Combination	0.19	48.47	4.03	0.08
Right Exterior Girder	0	DEAD	LinStatic	0.07	-28.13	-0.78	-0.07

VIGA	DISTANCIA	CASO DE CARGA	TIPO DE CARGA	P	V2	T	M3
Text	m	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
Right Exterior Girder	5	DEAD	LinStatic	1.76	-15.62	-0.25	108.64
Right Exterior Girder	15	DEAD	LinStatic	2.12	10.55	-0.06	134.65
Right Exterior Girder	22	DEAD	LinStatic	0.07	28.13	0.78	-0.07
Right Exterior Girder	0	StrlGroup1	Combination	-0.39	-66.80	-9.13	-1.46
Right Exterior Girder	5	StrlGroup1	Combination	-3.37	-42.29	-5.47	125.71
Right Exterior Girder	11	StrlGroup1	Combination	9.91	10.68	6.22	372.11
Right Exterior Girder	15	StrlGroup1	Combination	9.97	29.73	3.75	320.07
Right Exterior Girder	22	StrlGroup1	Combination	0.51	66.80	9.13	1.46
Right Exterior Girder	0	SerlGroup8	Combination	-0.18	-47.39	-6.02	-0.92
Right Exterior Girder	5	SerlGroup8	Combination	6.20	-17.35	1.51	183.77
Right Exterior Girder	11	SerlGroup8	Combination	6.72	6.25	3.98	261.32
Right Exterior Girder	15	SerlGroup8	Combination	6.68	20.05	1.85	226.02
Right Exterior Girder	22	SerlGroup8	Combination	0.31	47.39	6.02	0.92

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION

3.5.3. Diseño de la súper estructura del puente de losa sobre vigas metálicas calculo manual

3.5.3.1. Diseño de tablero

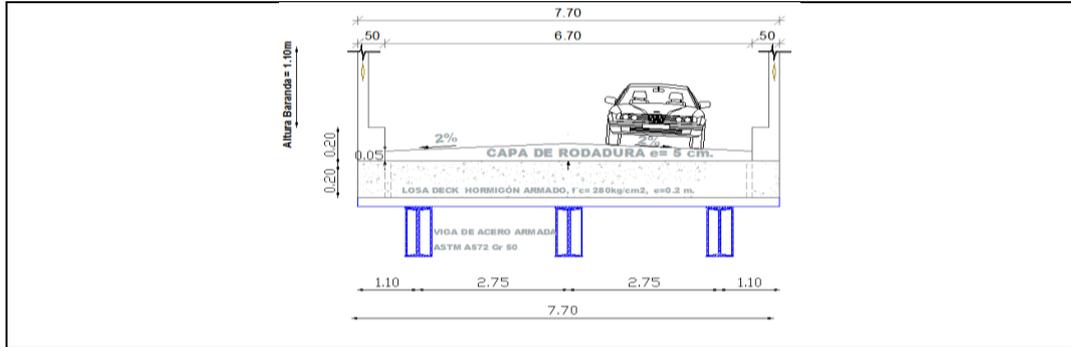
Para el diseño de la losa de hormigón Armado se empleó el Método Elástico Aproximado (especificado en el artículo 4.6.2.1 de la Norma AASTHO LRFD).

El diseño del tablero se realizará en hormigón armado $F'_c=280 \text{ kg/cm}^2$, con armadura perpendicular y transversal al tráfico

Dentro del diseño de las vigas metálicas se encuentran diseñadas de acuerdo a la norma AISC360-10 y la AASHTO LRFD.

Carga Viva (AASHTO, sección 3.4), se empleará el peso del Camión tipo HS 20-44, tiene un peso de 3,63(T) en el eje delantero y de 14,52(T) en cada uno de los ejes posteriores y es el que se ocupa en nuestro país, cuyo peso es 7,27 Ton/m² por eje.

Calculo del tablero



DATOS DEL PUENTE					
Ancho	7.70	m	Camion Tipo	7.27	T
Longitud	40	m	R. Hormigon	280	Kg/cm ²
b	40	cm	R. Acero	4200	Kg/cm ²
t asumido	0.2	m	t calc	0.19	m
P. especifico	2.4	T/m ³	Barandas	0.15	T/m

# VIGAS	S*	0.9	2.35	2.35	0.9	(m)
3	S	1.1	2.75	2.75	1.1	7.70

DATOS VOLADO			
ACERA	2	BARANDA	2
ANCHO	0.5	ALTURA	1.1
ESPEJOR	0.2	BASE	0.2
		ESPEJOR	0.2

TABLERO

CARGA MUERTA

Losa	0.480 T/m ²		
Acera	0.062 T/m ²		
Carpeta rodadura	0.120 T/m ²	Mcm	0.376 Tm/m ²
baranda	0.0195 T/m ²		
Pcm	0.682 T/m ²		Mu 5.060 Tm/m ²
l	0.195	<=30	Mcv 2.11 Tm/m ²
φ asumido	16		
d	14.2 cm		
k	0.1		
q	0.107		
p	0.0071		
dcomparacion	14.18	Ok	

78.93 <=67%

	(cm ²)	#	φ
As	10.08	6	16
As real	12.06	Ok	
As Total	482.4	240	16
As reparticion	8.08	5	16
As real	10.05	Ok	
As Total	77.39	39	16

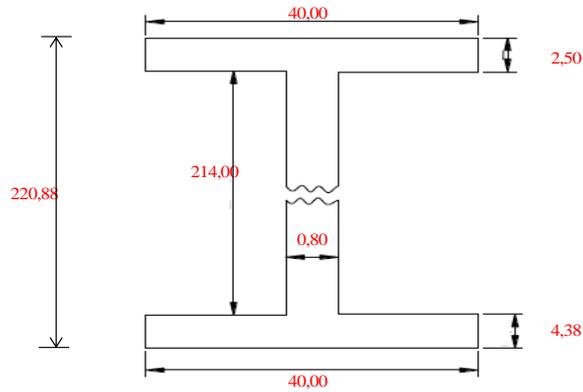
VOLADOS							
	Mcm			0.276	Tm/m ²		
	1ra condicion			2da condicion			
CARGA VIVA				CARGA VIVA			
Acera	0.135	P	E			P	E
P	0.677	0.825	1.219		2.922	3.48	1.463
I	0.267				0.8		
Mcv	1.079 Tm/m ²				3.722 Tm/m ²		
Mu1	2.697 Tm/m ²				4.157 Tm/m ²		
M escojido	3						
φ asumido	16			4.157	100	x=	35.12
d	14.2 cm			2.697	x		
k	0.1						
q	0.107						
p	0.0071						
dcomparacion	12.86 ok					127.55	<=67%
				(cm ²)	#	φ	
As	10.08			6	16		
As real	12.06			Ok			
As Total	482.4			30	16		
As reparticion	8.08			5	16		
As real	10.05			Ok			
As Total	77.39			5	16		
As temp=	3.6			5	10		
As real	3.95			Ok			

3.5.3.2. Diseño de la viga interior

DATOS		
LONG. DEL PUENTE=	40.00 m	4000.00cm
f'c =	280.00 kg/cm²	
Fy =	3515.00 kg/cm²	351.50 MPa
ANCHO DEL PUENTE =	7.70 m	770.00cm
ESPEOR DE LA LOSA t =	0.20 m	20.00cm
NUM. DE VIGAS =	3	
SEPARACION ENTRE VIGAS (S)=	2.75 m	275.00cm
MODULO DE SECCION AL EJE DELANTERO DEL VEHICULO Sx=	45025.00 cm³	
L. ARRIOSTRADA Lb =	5.00 m	500.00cm
E acero =	210000.00 MPa	
a =	1.40 m	1400.00mm
tvc =	0.07 m	7.00cm
Econcreto=	24870.06 MPa	

DIMENSIONAMIENTO DE LA VIGA

ASUMIDOS	
D =	220,88 cm
tw =	0,80 cm
h =	214,00 cm
tf sup =	2,50 cm
tf inf =	4,38 cm
bf sup =	40,00 cm
bf inf =	40,00 cm



Propiedades geométricas de la viga .

ÁREA

$$\text{Área} = (b_{fc} * t_{fc}) + (h * t_w) + (b_{ft} * t_{ft})$$

$$\text{Área} = (40.00 * 4.38) + (214.00 * 0.80) + (40.00 * 2.50)$$

$$\text{Área} = 446.20 \text{ cm}^2$$

Ycg

FIG	A (cm ²)	Y (cm)	S (cm)	Iy (cm ⁴)	d (cm)	A.d ² (cm ³)
1	175.00	2.19	382.81	279.13	90.62	1437239.86
2	171.20	111.38	19067.40	653356.27	18.56	58992.97
3	100.00	219.63	21962.50	52.08	126.81	1608153.80
	446.20		41412.71	653687.48		3104386.64

$$Y_{cg} = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} \quad Y_{cg} = 92.81 \text{ cm}$$

$$C_{simple} = t_{fc} + \frac{h}{2} + Y_{cg}$$

$$C_{simple} = 202.31 \text{ cm}$$

INERCIA EN X

$$I_{xx} = \sum \left(\frac{1}{12} \text{base} * \text{altura}^3 + A * d^2 \right)$$

$$I_{xx} = 3758074.13 \text{ cm}^4$$

INERCIA EN Y

$$I_{yy} = \sum \left(\frac{1}{12} \text{base} * \text{altura}^3 + A * d^2 \right)$$

MÓDULO DE SECCION DEL PATIN A COMPRESION (Sxc)

$$S_{xc} = \frac{I_{xx}}{C_{simple}}$$

$$S_{xc} = \frac{3758074.13}{202.31}$$

$$S_{xc} = 18575.64 \text{ cm}^3$$

MÓDULO DE SECCION DEL PATIN A TENSION (Sxt)

$$Sxt = \frac{I_{xx}}{t_{ft} + \frac{h}{2} + Ycg}$$

$$Sxt = \frac{3758074.13}{204.19}$$

Sxt = 18405.06 cm³

CONSTANTE TORSIONAL (J)

$$J = \frac{ht_w^3}{3} + \frac{b_{fc}t_{fc}^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{t_{fc}}{b_{fc}}\right) + \frac{b_{ft}t_{ft}^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{t_{ft}}{b_{ft}}\right)$$

J = 1276.25 cm⁴

RADIO EFECTIVO DE GIRO PARA PANDEO LATERAL TORSIONAL (rt)

$$rt = b_{fc} \sqrt{(12(ho/D + 1/6 a_w h^2 / (ho.D)))} \quad a_w = (h.t_w) / (b_{fc}.t_{fc}) \leq 10 \quad ho = D - (t_{fc}/2 + t_{ft}/2)$$

aw = 1.71 ho = 217.44 cm

rt = 10.30 cm

PROFUNDIDAD DEL ALMA EN COMPRESION EN EL RANGO ELASTICO (Dc)

$$Dc = \frac{h}{2} + Ycg$$

Dc = 199.81 cm

CUADRO DE RESUMEN DE LAS PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LA VIGA

AREA (cm²)	446.20
Ycg (cm)	92.81
C simple (cm)	202.31
Ix (cm⁴)	3758074.13
Sxc (cm³)	18575.64
Sxt (cm³)	18405.06
J (cm⁴)	1276.25
rt (cm)	10.30
ho (cm)	217.44
Dc (cm)	199.81

CALCULO DE LA CARGA MUERTA

1 Ancho Efectivo:

B = 2.75 m

3 Análisis de carga muerta

• Tablero:

Wt = 1.32 T/m

• Capa de rodadura:

Wcr = 0.33 T/m

$\Sigma W = 1.65$ T/m

$\Sigma W = 1650$ kg/m

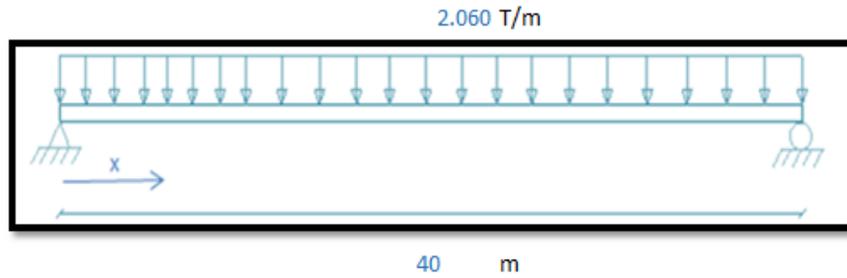
• Peso propio de la viga:

Wpp = 0.410 T/m

WT = 2.060 T/m

PESO PROPIO DE LA VIGA	350.267	kg/m
PESO ARRIOSTRAMIENTOS	60	kg/m
Σ	0.410267	T/m

4 Diagrama de carga muerta:



x	M_{cm}	V_{cm}
0	0	41.20534
5	180.273	30.904005
10	309.04	20.60267
15	386.3	10.301335
20	412.053	0

5 Análisis del momento de carga viva

- Factor de distribución transversal

$f = 1.504$

- Impacto

$Im = 0.2$

P	P	$P/4$
7.27	7.27	1.818

x	M_L	M_D	M_{L+D}	M_u	I_v	V_M	V_{L+D}	V_u
0	0	0	0	0	1.195	41.20534	29.855	103.753
5	71.705	180.273	130.328	453.415	1.208	30.904005	26.055	84.226
10	120.711	309.04	222.177	775.11	1.224	20.60267	22.222	64.642
15	147.016	386.3	274.515	963.276	1.242	10.301335	18.308	44.916
20	150.621	412.053	285.956	1015.489	1.262	0	14.294	25.015

1. Verificación por flexión.

2.1. Para fluencia en el patín de compresión

$$M_n = S_{xt} R_e F_{yt}$$

Re: Es un factor de las traves híbridas dado en el apéndice G2 del manual LRFD. Se debe tomar igual a 1.0 para traves no híbridas.

Re:	1.00
-----	------

$$M_n = 64693789.69 \text{ kg-cm}$$

$$M_n = 646.94 \text{ T-m}$$

$$M_u = \phi_b M_n, \text{ Con } \phi_b = 0.9$$

$$M_u = 582.24 \text{ T-m}$$

$$M_u > M_{servicio}$$

$$582.24 \text{ T-m} > 428.46 \text{ T-m}$$

Ok

2.2. Por el pandeo del patín de compresión.

$$\lambda = \frac{L_b}{r_t} \quad \lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad \lambda_r = 4,44 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad \lambda \leq \lambda_p$$

$$\lambda = 48.54 \quad \lambda_p = 43.02 \quad \lambda_r = 108.53$$

48.54	F _{cr} =	3366.92
	C _b =	1.00

$$R_{PG} = 1 - \frac{\alpha_r}{1200 + 300\alpha_r} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_{cr}}} \right) \leq 1.0$$

$$R_{PG} = 0.87 \leq 1.00$$

Ok

$$\alpha_r = A_w / A_c$$

$$\alpha_r = 1.71$$

$$M_n = S_{xc} R_{PG} R_e F_{cr}$$

$$M_n = 56849465.23 \text{ kg-cm}$$

$$M_n = 568.49 \text{ T-m}$$

$$M_u = \phi_b M_n, \text{ Con } \phi_b = 0.9$$

$$M_u = 511.65 \text{ T-m}$$

$$M_u > M_{servicio}$$

$$511.65 \text{ T-m} > 428.46 \text{ T-m}$$

Ok

$$PPV = Ag \cdot (7850 \text{ kg/m})$$

PESO PROPIO DE LA VIGA	350.27 kg/m
PESO ARRIOSTRAMIENTOS	60.00 kg/m

PESO DEL TABLERO	1650.00 kg/m
------------------	--------------

$$TOTAL = 2060.27 \text{ kg/m}$$

$$qu = 2.14 \text{ T/m}$$

$$Mu = 428.46 \text{ T-m}$$

2. Verificación por cortante.

AASHTO artículo 6.10.7.3.2 exige que se cumpla la siguiente condición para la distancia entre atí 136.77

$$d_o \leq h \left[\frac{260}{\frac{h}{t_w}} \right]^2 \quad K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2} \quad \frac{h}{t_w} > 1,37 \sqrt{\frac{K_v E}{F_{yw}}}$$

$$d_o \leq 2021.68 \text{ mm} \quad K_v = 16.68 \quad 267.50 > 136.77$$

$$1400.00 \leq 2021.68$$

Ok

$$C_v = \frac{1.5 K_v E}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2 F_{yw}}$$

$$C_v = 0.21$$

$$V_n = 0.6 F_{yw} * A_w * C_v$$

$$V_n = 75436.77 \text{ kg}$$

$$V_n = 75.44 \text{ T}$$

$$V_{servicio} = 42.85 \text{ Ton}$$

$$V_u = \phi_v V_n, \text{ Con } \phi_v = 0,9$$

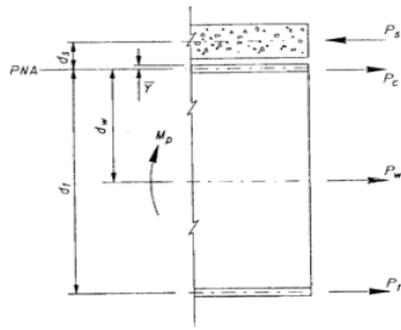
$$V_u = 67.89 \text{ T}$$

$$V_u > V_{servicio}$$

$$67.89 \text{ T} > 42.85 \text{ T}$$

OK

3. Cálculo del momento plástico.



CARGA EN EL CONCRETO

$$P_s = 0,85f'_c * be * t_{fo}$$

$$P_s = 1309000.00 \text{ kg}$$

$$P_s = 1309.00 \text{ T}$$

$$be = 275.00 \text{ cm}$$

CARGA EN EL ALMA

$$P_w = A_w * F_{yw}$$

$$P_w = 601768.00 \text{ kg}$$

$$P_w = 601.77 \text{ T}$$

CARGA EN EL PATIN DE TENSION

$$P_t = A_{ft} * F_{yt}$$

$$P_t = 615125.00 \text{ kg}$$

$$P_t = 615.13 \text{ T}$$

CARGA EN EL PATIN DE COMPRESION

$$P_c = A_{fc} * F_{yc}$$

$$P_c = 351500.00 \text{ kg}$$

$$P_c = 351.50 \text{ T}$$

EJE NEUTRO PLASTICO

$$\bar{Y} = \frac{t_{fc}}{2} \left[\frac{P_w + P_t - P_s}{P_c} + 1 \right] \leq t_{fc}$$

$$\bar{Y} = 0.92 \text{ cm} \leq 2.50$$

Ok

Determinacion del momento Plastico

$$ds = \frac{t_{fo}}{2} + t_{vc} + \bar{Y}$$

$$ds = 17.92 \text{ cm}$$

$$dw = \frac{h}{2} + t_{fc} - \bar{Y}$$

$$dw = 108.58 \text{ cm}$$

$$dt = \frac{t_{fo}}{2} + h + t_{fc} - \bar{Y}$$

$$dt = 217.77 \text{ cm}$$

$$M_p \geq M_{servicio}$$

$$2229.86 \geq 1015.49$$

Ok

$$M_p = \frac{P_c}{2t_{fc}} \left[\bar{Y}^2 + (t_{fc} - \bar{Y})^2 \right] + P_s * ds + P_w * dw + P_t * dt$$

$$M_p = 2229.86 \text{ T-m}$$

4. Diseño de los Diafragmas

CARGA DE VIENTO	
Vo=	13.2 Km/h
V10=	160 Km/h
VB=	160 Km/h
Z=	30000 m
Zo=	70 mm
VDZ=	200.00 Km/h

PRESIONES DE VIENTO	
PB=	0.0024 Mpa
PD=	0.003749816 Mpa
PD=	3.75 KN
H=	Altura de la superestructura
H=	5.00 m

$$w = P_D * H$$

W= 18.75 KN/m

Fuerza factorizada de viento actuante sobre el ala inferior

La norma AASHTO en la tabla 3.4.1 recomienda un factor para el viento $\gamma=1.4$

$$W_{bf} = \frac{\gamma * P_D * h}{2}$$

Wbf= 7.22 KN/m

Fuerza de viento actuante sobre el ala superior

$$W_{tf} = \gamma * P_D * \left(H - \frac{h}{2} \right)$$

Wtf= 19.03 KN/m

Fuerza actuante en el arrastramiento inferior

$$F_{bf} = W_{bf} * Lb$$

Fbf= 36.09 KN

Fuerza actuante en las diagonales

$$F_d = \frac{F_{tf}}{\cos\theta}$$

$$F_{tf} = W_{tf} * Lb$$

Ftf= 95.16

Fd= 134.57 KN

Diseño del difragma inferior

Se ensaya con dos de 90x90x8mm Acero A36 $F_y=2530\text{kg/cm}^2$

As= 2778.00 mm²
r_{min}= 27.42 mm

Ix 2088700.00 mm⁴ rx= 27.42 mm
Iy 2494500.00 mm⁴ ry= 29.97 mm

Chequeo de la esbeltez y relacion ancho del angulo

$$\frac{KL}{r} < 140$$

100.29 < 140.00
Ok

$$\frac{b}{t} < 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

11.25 < 12.96
Ok

Chequeo de la capacidad axial del angulo

La norma AASHTO en el articulo 6.9.4.1 recomienda que se cumpla la siguiente condicion

$$\lambda = \left(\frac{k \cdot S}{r \cdot \pi} \right)^2 * \frac{F_y}{E} < 2,25$$

$$\lambda = 1.23 < 2.25$$

Ok

$$P_n = 0,66^\lambda * A_s * F_y$$

$$P_n = 42197.93 \text{ kg}$$

$$P_r = \phi_c * P_n$$

$$P_r = 37978.14 \text{ kg}$$

Diseño de las diagonales

Se ensaya con dos de 75x75x6mm Acero A36 $F_y=2530\text{kg/cm}^2$

As=	1748.00 mm ²	Ix	912100.00 mm ⁴	rx=	22.84 mm
rmin=	22.84 mm	Iy	1131500.00 mm ⁴	ry=	25.44 mm

Chequeo de la esbeltez y relacion ancho del angulo

$$\frac{KL}{r} < 140$$

$$127.83 < 140.00$$

Ok

$$\frac{b}{t} < 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$12.50 < 12.96$$

Ok

Chequeo de la capacidad axial del angulo

La norma AASHTO en el articulo 6.9.4.1 recomienda que se cumpla la siguiente condicion

$$\lambda = \left(\frac{k \cdot S}{r \cdot \pi} \right)^2 * \frac{F_y}{E} < 2,25$$

$$\lambda = 1.99 < 2.25$$

Ok

$$P_n = 0,66^\lambda * A_s * F_y$$

$$P_n = 19307.04 \text{ kg}$$

$$P_n = 189.21 \text{ KN}$$

$$P_r = \phi_c * P_n$$

$$P_r = 170.29 \text{ KN}$$

$$P_r > F_d$$

$$170.29 > 134.57$$

Ok

Diseño de la placa de soporte acero A36

$$A_g \leq \frac{F_d}{\phi * F_y}$$

Donde:

A_g = Área total de la sección requerida.

F_d = Fuerza actuante en la diagonal calculada en :

ϕ = Factor de resistencia especificado en la tabla

fy= 2530.00 kg/cm2
Fd= 134.57 KN 13731.76 kg

Ag= 6.03 cm2

se ensaya con una placa de 100x100x10mm

PL 100x100x10 mm

Apl= 1000.00 mm2

Apl= 10.00 cm2

$$A_{PL} > A_g$$

10.00 > 6.03
Ok

3.5.4. Resultados de la modelación en el software CSIBRIDGE V15.2

Se realizó la modelación del puente losa sobre vigas metálicas calculado anteriormente de forma manual, como se muestra en la siguiente figura.

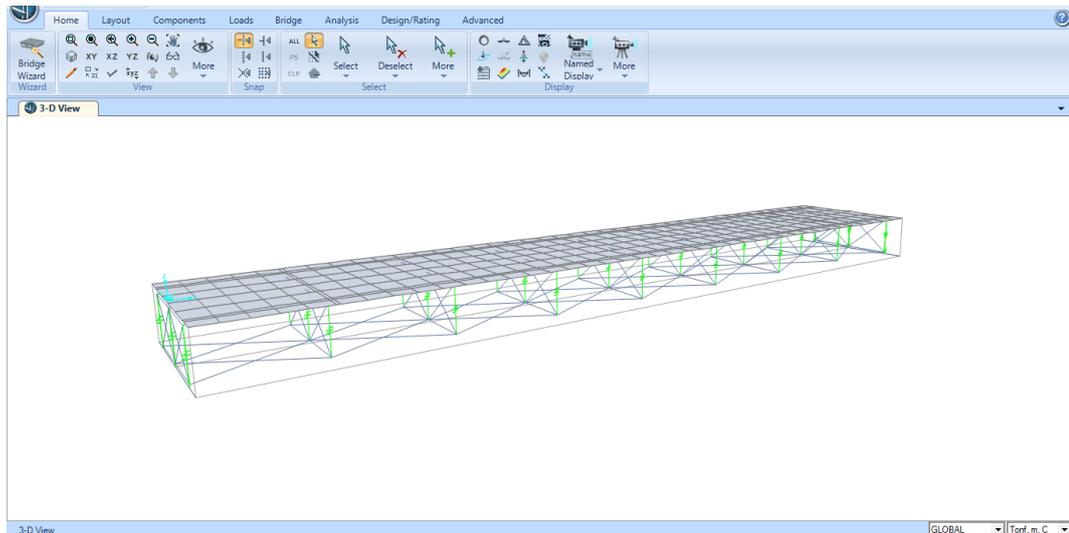


Figura 8. Modelado del puente Losa sobre vigas metálicas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

A continuación se presenta el diagrama de momentos de la viga interior con la combinación de resistencia 1, obteniendo un momento máximo de 931.15Ton-m

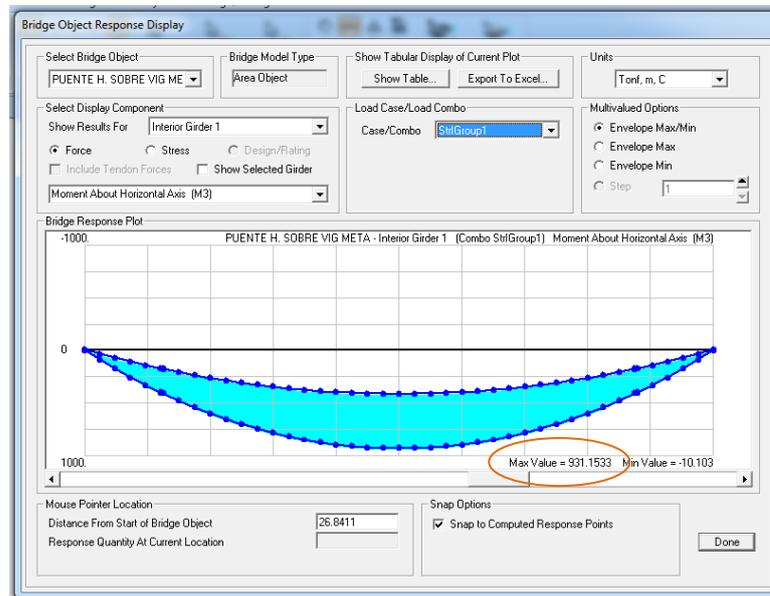


Figura 9. Momento último de la viga interior

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Luego se muestra el diagrama de cortante de la viga interior con la combinación de resistencia 1, obteniendo un cortante máximo de 99.17 Ton

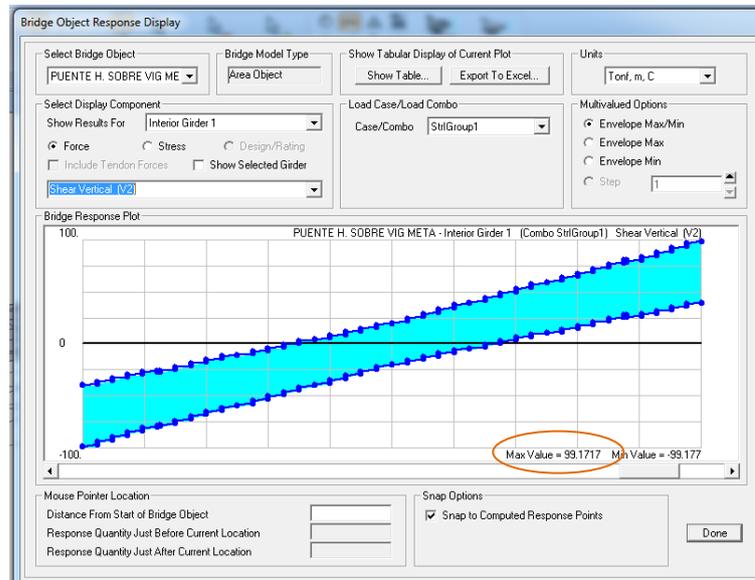


Figura 10. Cortante último de la viga interior

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Posteriormente se indica un resumen de diagramas de cortante y momento de la tabla de resultados que nos proporciona el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION

Tabla 19. Resultados del puente Mixto

TABLA DE DATOS DEL PUENTE DE HORMIGON SOBRE VIGAS METALICAS						
VIGA	DISTANCIA	CASO DE CARGA	P	V2	T	M3
Text	m	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
Left Exterior Girder	0	DEAD	-1.03	-31.36	-0.84	-2.09
Left Exterior Girder	10	DEAD	0.77	-16.20	-0.84	232.32
Left Exterior Girder	20	DEAD	0.76	-0.16	-0.07	310.53
Left Exterior Girder	40	DEAD	-1.03	31.36	0.84	-2.09
Left Exterior Girder	0	StrlGroup1	1.40	-40.69	4.02	3.46
Left Exterior Girder	10	StrlGroup1	6.77	-12.30	7.42	701.35
Left Exterior Girder	20	StrlGroup1	5.38	17.69	7.50	921.32
Left Exterior Girder	30	StrlGroup1	4.04	57.16	9.74	694.83
Left Exterior Girder	40	StrlGroup1	1.41	99.24	9.13	3.47
Left Exterior Girder	0	SerlGroup8	0.09	-44.38	1.46	0.54
Left Exterior Girder	10	SerlGroup8	4.23	-17.90	3.82	483.63
Left Exterior Girder	20	SerlGroup8	3.38	9.94	4.36	637.04
Left Exterior Girder	30	SerlGroup8	2.45	38.30	5.93	479.35
Left Exterior Girder	40	SerlGroup8	0.10	67.97	5.69	0.54
Interior Girder 1	0	DEAD	-2.03	-31.97	0.00	-3.31
Interior Girder 1	10	DEAD	-10.18	-16.13	0.00	237.70
Interior Girder 1	25	DEAD	-13.34	8.17	0.00	297.23
Interior Girder 1	30	DEAD	-11.84	16.18	0.00	235.83
Interior Girder 1	40	DEAD	-2.03	31.97	0.00	-3.31
Interior Girder 1	0	StrlGroup1	-5.931	-99.17	-7.98	-3.59
Interior Girder 1	10	StrlGroup1	-13.55	-79.33	9.29	704.96
Interior Girder 1	20	StrlGroup1	-18.04	19.83	7.35	931.15
Interior Girder 1	30	StrlGroup1	-15.80	59.29	8.43	699.75
Interior Girder 1	40	StrlGroup1	-2.19	99.17	7.98	-3.59
Interior Girder 1	0	SerlGroup8	-2.54	-67.79	4.56	-4.12
Interior Girder 1	10	SerlGroup8	-14.73	-17.08	5.31	487.46
Interior Girder 1	20	SerlGroup8	-19.55	11.06	4.20	645.36
Interior Girder 1	30	SerlGroup8	-17.09	39.51	4.82	483.86

VIGA	DISTANCIA	CASO DE CARGA	P	V2	T	M3
Text	m	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
Interior Girder 1	40	SerIGroup8	-2.54	67.79	4.56	-4.12
Right Exterior Girder	0	DEAD	-1.03	-31.36	0.84	-2.09
Right Exterior Girder	10	DEAD	0.77	-16.20	0.84	232.32
Right Exterior Girder	20	DEAD	0.76	-0.16	0.07	310.53
Right Exterior Girder	30	DEAD	0.20	15.88	-0.65	230.78
Right Exterior Girder	40	DEAD	-1.03	31.36	-0.84	-2.09
Right Exterior Girder	0	StrIGroup1	1.41	-99.24	9.13	3.47
Right Exterior Girder	10	StrIGroup1	6.77	-12.30	7.70	701.35
Right Exterior Girder	20	StrIGroup1	5.38	17.69	5.10	921.32
Right Exterior Girder	30	StrIGroup1	4.04	57.16	5.20	694.83
Right Exterior Girder	40	StrIGroup1	1.41	99.24	4.03	3.47
Right Exterior Girder	0	SerIGroup8	0.10	-67.97	5.69	0.54
Right Exterior Girder	10	SerIGroup8	4.23	-17.90	4.48	483.63
Right Exterior Girder	20	SerIGroup8	3.38	9.94	2.70	637.04
Right Exterior Girder	30	SerIGroup8	2.45	38.30	2.33	479.35
Right Exterior Girder	40	SerIGroup8	0.10	67.97	1.47	0.54

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

El presente capítulo tiene como objetivo la inclusión de una guía con procedimientos y recomendaciones para el diseño y el cálculo estructural de los puentes en Ecuador en el software CSI BRIDGE VERSIÓN EVALUACIÓN. Los puentes en Ecuador, se diseñarán de acuerdo a las disposiciones contenidas en AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, y el MTOP (NEVI 12) la que ha establecido a lo largo de los años, una serie de criterios y disposiciones complementarias que se acogen en el presente Capítulo. No obstante lo aquí señalado para el diseño de puentes y estructuras afines, podrán utilizarse análisis racionales alternativos basados en teorías y ensayos aceptados y probados por la práctica profesional.

Si bien el objetivo del capítulo es entregar un apoyo, a los profesionales afines al tema para desarrollar los proyectos estructurales de los puentes de carretera dentro de un estándar mínimo, en ningún caso el contenido de esta sección reemplaza el conocimiento de los principios básicos de la ingeniería y sus técnicas, tampoco el adecuado criterio profesional; por lo tanto, los usuarios de la presente guía de procedimientos y recomendaciones para el diseño y cálculo estructural no están eximidos de la responsabilidad que conlleva la interpretación de un texto a la luz del buen juicio, la experiencia y la responsabilidad profesional.

4.1.INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN.

4.1.1.Nudos.

Luego de ingresar las características tanto del puente de hormigón Armado como del Mixto Tablero de hormigón sobre vigas metálicas el software CSIBRIDGE crea automáticamente los nudos en las intersecciones entre objetos estructurales y nudos interiores para garantizar la conectividad de los elementos finitos.

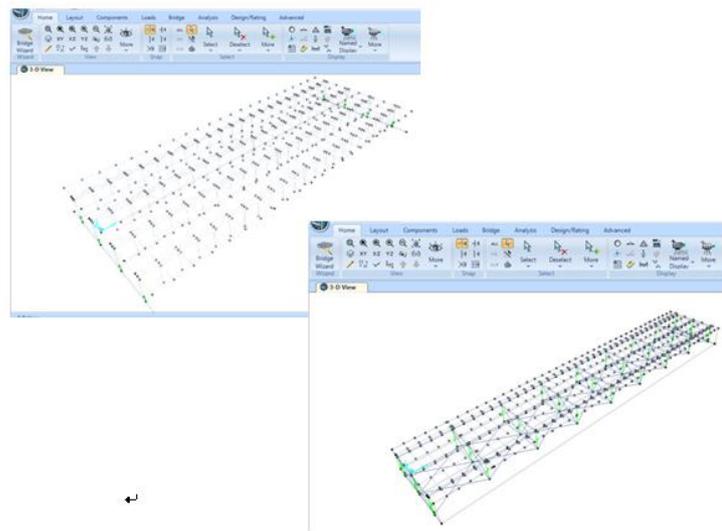


Figura 11. Nudos del Puente de Hormigón y Mixto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.1.1.1. Secciones transversales.

Al momento de modelar el puente de Hormigón Armado de 22m de longitud con vigas tipo Te no se requiere definir las dimensiones de las vigas, se las incluyen directo en la sección transversal, y adicional se ingresan las medidas generales del puente y el software calcula automáticamente el valor de “S” y “S*” que representan los espaciamientos entre vigas, también genera una gráfica en la parte superior derecha donde indica la sección con los valores ingresados.

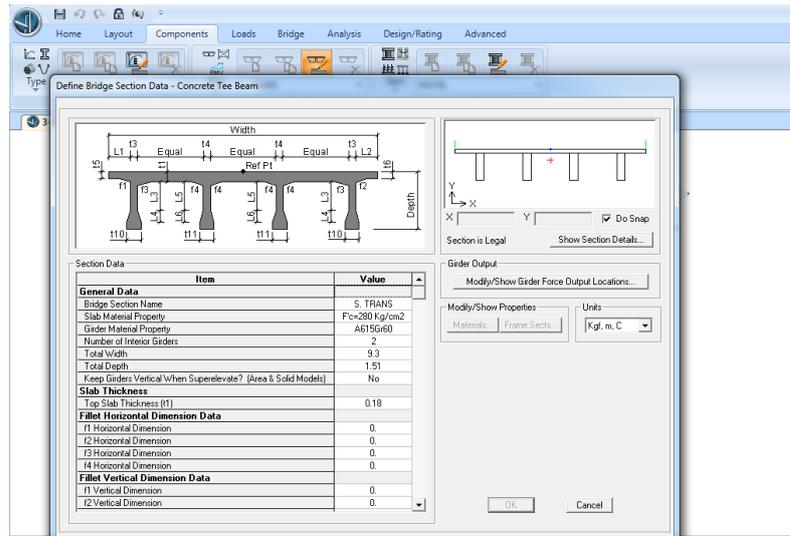


Figura 12. Sección transversal del puente de Hormigón Armado

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Para ingresar la sección transversal del puente Mixto de Hormigón sobre vigas Metálicas de 40m se debe ingresar previamente las secciones transversales de las vigas, si presentan variación en sus dimensiones se debe insertar por tramo los valores generales de la sección transversal donde el software se encarga de ir enlazando cada tramo y analizarlo como continuo, también calcula automáticamente el valor de “S” que representan los espaciamientos al eje de las vigas, generando una grafica en la parte superior derecha donde indica la sección con los valores ingresados.

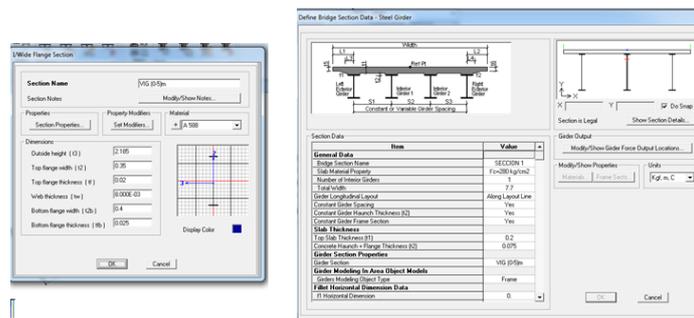


Figura 13. Sección transversal del puente Mixto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.1.2. Discretización de los elementos

Se debe indicar la longitud en la que se quiere dividir cada elemento, en el caso del puente de Hormigón fue discretizado a cada metro y el CSIBRIDGE automáticamente lo divide y analiza a cada elemento

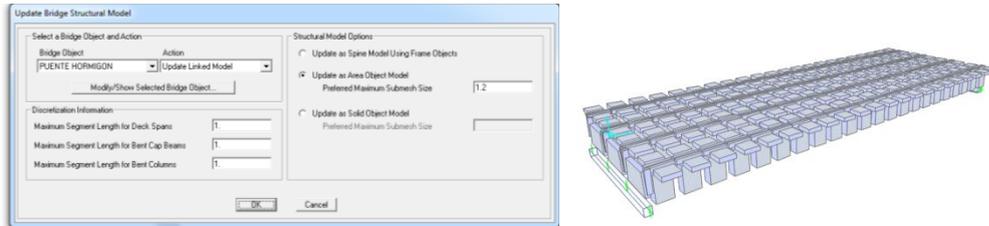


Figura 14. Discretización de elementos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.1.3. Objeto puente

El software CSIBRIDGE solicita primero la información y definición de todos los componentes del puente y en la opción Objeto puente constituye el modelo mediante la asignación de todos los parámetros pre-definidos, ubicados en la parte superior derecha, como se muestra a continuación del Puente Mixto de Hormigón sobre vigas metálicas

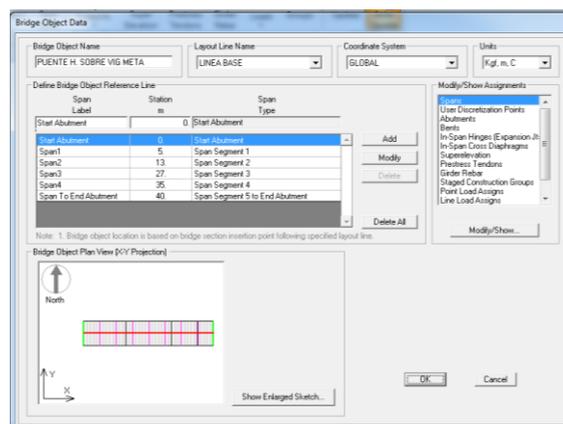


Figura 15. Objeto de puente (Bridge Object Model).

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.1.4. Cargas de vehículos y Clases de vehículos

CSIBRIDGE posee una extensa biblioteca de vehículos tipo, donde se elige el/los vehículos tipo que representan la carga viva vehicular que soporta el puente, en caso de no existir con las características necesarias el software permite ingresar nuevas cargas, puntuales y uniformes tomando en cuenta que los valores puntuales que se ingresa son por los dos ejes del vehículo, adicional a esto el programa permite añadir una clase de vehículo, el cual abarca a todos los vehículos seleccionados anteriormente y trabaja con la envolvente de los mismos.

En los dos tipos de puentes modelados se utilizó las cargas del vehículo HS-20-44

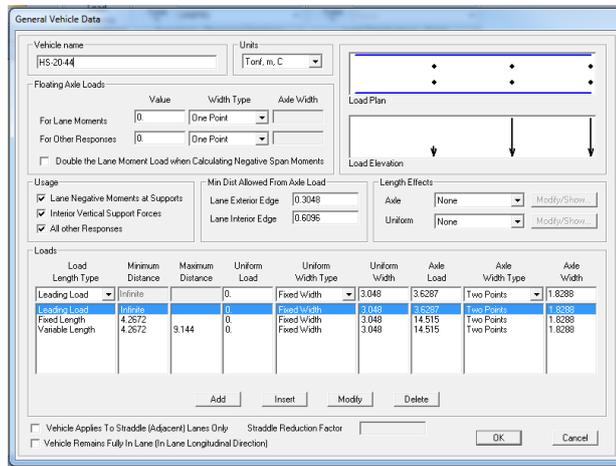


Figura 16. Vehículo empleado en la modelación

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.1.5. Casos de carga.

Se indica los patrones de carga que van actuar sobre la estructura que posteriormente son definidos, dentro del programa se encuentran los tipos de carga que pueden presentarse en una estructura, también se debe ingresar la carga muerta con un valor de 1, ya que esto permitirá que el software tome en cuenta el peso propio de la estructura dentro del diseño.

Dentro de las dos estructuras modeladas se tomó en cuenta los mismos patrones de carga.

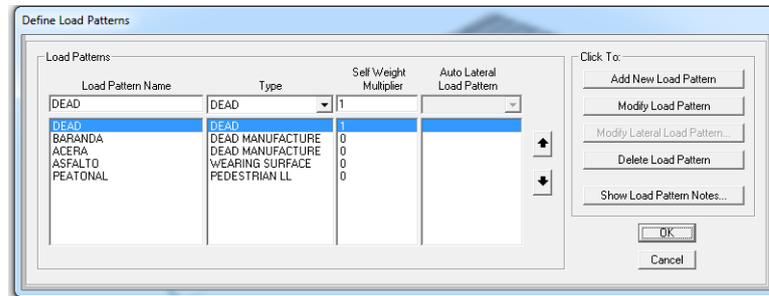


Figura 17. Patrones de carga empleados en la modelación

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.1.6. Cargas puntuales, lineales y distribuidas

Las cargas exteriores definidas en los patrones de carga excepto la carga muerta se debe ingresar el valor individual, tomando en cuenta si son puntuales, lineales o distribuidas con su respectiva asignación en el Objeto puente para poder observar al aplicación sobre la estructura, a continuación se indica la aplicación de la carga de Asfalto empleada en el puente de Hormigón Armado.

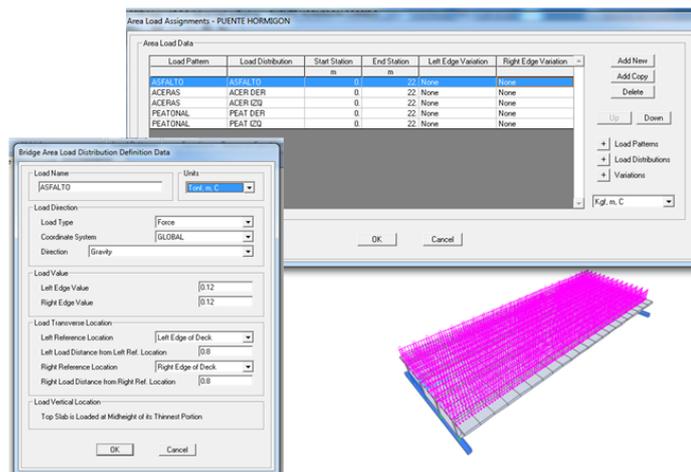


Figura 18. Carga en Asfalto del Puente de Hormigón

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.1.7. Estructuras metálicas

En el diseño del puente Mixto Tablero de Hormigón sobre Vigas Metálicas se obtenía arriostramientos horizontales los cuales deben ser incorporados en la estructura, estos elementos el software CSIBRIDGE no los toma en cuenta dentro del Objeto puente, por ello son incorporados de manera externa al final de toda la modelación mediante el menú “Advanced”

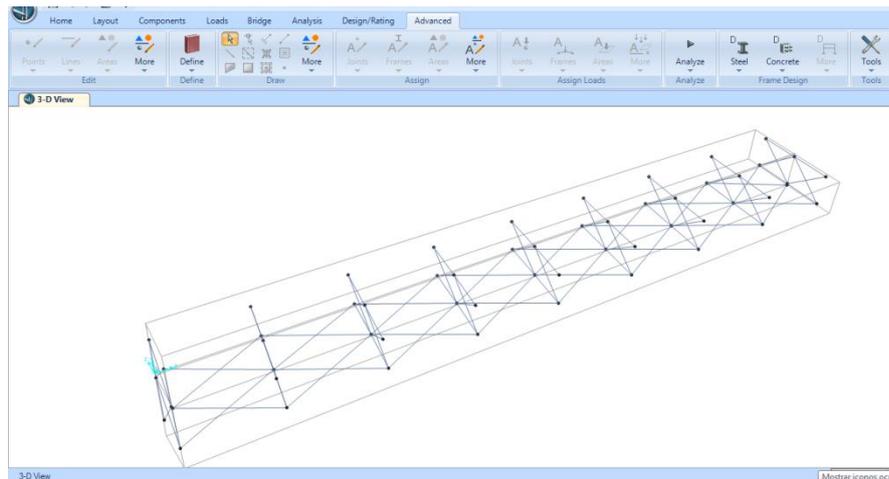


Figura 19. Estructuras metálicas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

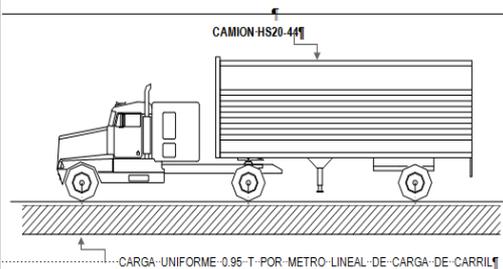
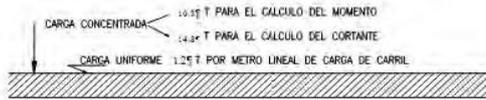
4.2. PARÁMETROS A UTILIZAR EN NUESTRO MEDIO.

4.2.1. Cargas (AASHTO LRFD-SECCIÓN 3).

Inicialmente la carga muerta que se asume actuará sobre un puente, se determinará en base a un diseño preliminar proveniente de la optimización de la geometría de los elementos de la superestructura y de la infraestructura.

Los demás tipos de cargas que actúan sobre la estructura se registrarán por las normativas de AASHTO STANDARD HB-17 (AASHTO LRFD 2010). La filosofía de estas cargas se detalla a continuación.

Tabla 20. Cargas a considerar en nuestro medio

Carga Muerta (DC) (AASHTO LRFD-SECCIÓN 3).	
<p>Consistirá en el peso permanente de la estructura en su totalidad, incluidas las vigas, losa, barandas, diafragmas, pilas, cabezales, tuberías, luminarias y otros servicios públicos.</p>	
Carga Viva (L) (AASHTO LRFD SECCIÓN 3)	
<p>La carga HS20-44, cuando predomine el camión Estándar, será incrementada por un factor de mayoración igual a 1.375. Si predomina la carga distribuida con la concentrada adicional, este factor será igual a 1.25. Esta carga modificada se denomina CAMION-MTOP (antes HS-MOP).</p>	<p>La carga HL-93, consiste en la aplicación simultánea del camión estándar HS20-44 y la carga distribuida. Se utilizará solamente para el diseño con la especificación AASHTO-LRFD.</p>
 <p style="text-align: center;">W= PESO COMBINADO DE LOS DOS PRIMEROS EJES CAMION-MTOP</p>	 <p style="text-align: center;">CARGA UNIFORME 0.95 T POR METRO LINEAL DE CARGA DE CARRIL</p>
 <p style="text-align: center;">CARGA CONCENTRADA 16.37 T PARA EL CÁLCULO DEL MOMENTO 14.27 T PARA EL CÁLCULO DEL CORTANTE CARGA UNIFORME 1.25 T POR METRO LINEAL DE CARGA DE CARRIL</p>	<p>Figura 21. Cargas AASHTO HL-93</p> <p>Fuente: Cargas MTOP</p>
<p>Figura 20. Cargas AASHTO HL-93</p> <p>Fuente: Cargas AASHTO</p>	

El diseño de los puentes se comprobará, además, con la carga militar alternativa consistente en un camión de dos ejes (Tándem) distanciados 1.20 m entre sí y de 10.8 Ton por eje, contiene estos detalles.

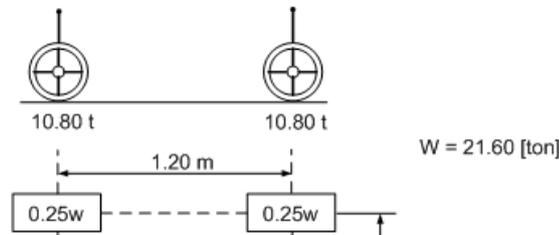


Figura 22. Carga Especial (Tándem).

Fuente: Cargas AASHTO

Impacto (I). (AASHTO LRFD-SECCIÓN 3).

Las cargas vivas serán incrementadas al analizar los elementos estructurales para prevenir los efectos dinámicos, vibratorios y de impacto. Se aplicará el efecto del impacto a la superestructura

$$I = 50 / (3.28 \cdot L + 125)$$

$$I = \text{Factor de Impacto} \leq 0.30$$

L=Longitudes de segmento de la luz libre que está sometido a la carga viva que produce los esfuerzos máximos en el elemento (m).

Fuerza Centrífuga (CF).(AASHTO LRFD-SECCIÓN 3)

Las estructuras sobre curvas se diseñarán considerándolas sometidas a una fuerza horizontal radial igual a un porcentaje de la carga viva, sin impacto en todos los carriles de tránsito, de acuerdo con la siguiente ecuación

$$CF = 0.7863 \cdot V^2 / R$$

CF = La fuerza centrífuga en % de la carga viva sin impacto

V = La velocidad de proyecto en Km/h

R = El radio de la curva en metros

La fuerza centrífuga estará localizada a 1.80 m. sobre la superficie de rodadura.

4.2.2. Combinación de Cargas (AASHTO LRFD-SECCIÓN 3).

Los grupos de combinaciones de cargas, considerando el diseño por cargas de servicio (esfuerzos permisibles) y el diseño por factores de carga (resistencia última) serán obtenidos a través de la fórmula 3-10 y de acuerdo a la Tabla 3.22.1A de la Sección 3.22, AASHTO Standard HB-17, (AASHTO LRFD-SECCIÓN 3).

En el diseño de las estructuras de grandes luces por el método de resistencia última, los factores especificados para este método representan condiciones generales y podrían ser modificados si a juicio del Consultor y el Ingeniero, el caso lo amerite.

4.3.HERRAMIENTAS APLICADAS PARA LA MODEACION DE LOS PUENTES CALCULADOS DE FORMA MANUAL

4.3.1. Modelado

4.3.1.1.Plantillas.

Para la rápida modelación de los puentes de hormigón y Mixto se empleó las plantillas propias del software CSIBRIDGE. Esta opción es bastante útil para comenzar un modelo, eligiendo su longitud y el tipo de sección transversal se crea automáticamente todos los parámetros del puente y posteriormente adaptarlo a las medidas del prediseño

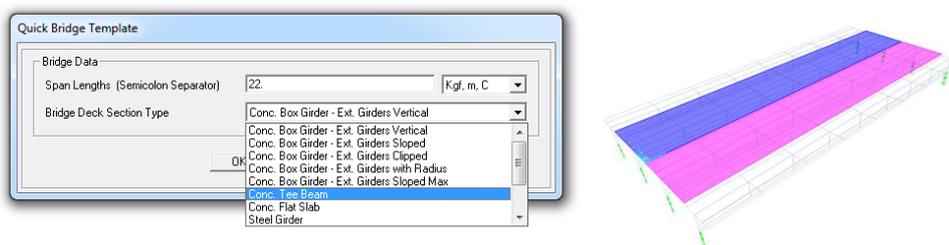


Figura 23. Diferentes tipos de plantillas que posee el CSI BRIDGE.

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.3.1.2. Asistente de creación y edición del modelo

Otra herramienta potente empleada en la modelación de los puentes de Hormigón y Mixto es el "Bridge Wizard" que ayuda a los usuarios en la creación de los modelos con instrucciones y orientación detallada en cada paso.

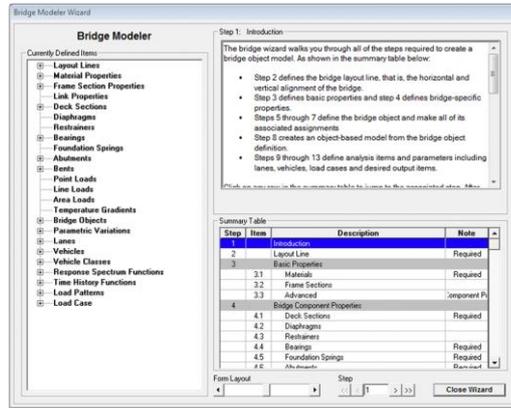


Figura 24. Asistente de creación y edición de modelos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.3.1.3. Combinaciones de carga

El software tiene incorporado todas las combinaciones de carga que posee la norma AASHTO LRFD y además crea la envolvente de cada combinación, dentro de la modelación se empleó la envolvente de la combinación de resistencial y de servicio para el chequeo de las deflexiones

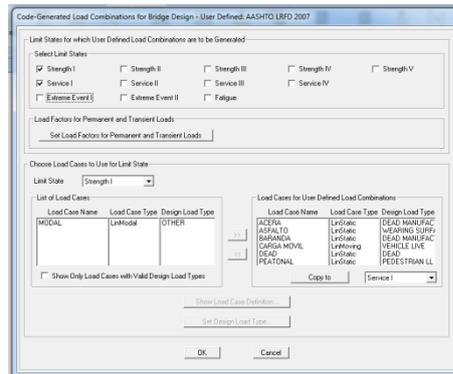


Figura 25. Combinaciones de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.3.2. Resultados

4.3.2.1. Control de la Deflexion

El software permite observar la deflexión para las distintas cargas aplicadas, y chequear con la combinación de servicio que se encuentre dentro del margen permitido por la Norma AASHTO LRFD, para el puente de Hormigón Armado y Mixto Tablero de Hormigón sobre Vigas Metálicas.

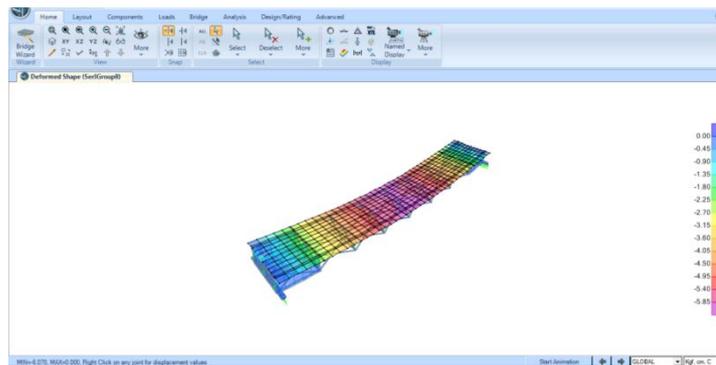


Figura 26. Deflexiones máximas.

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.3.2.2. Diagramas de Momentos, Cortantes, Fuerza Axial y torsión.

Es posible visualizar los diagramas de momentos flectores, le cortante las fuerzas axiales, torsión a lo largo de todo el puente, para cualquier caso de carga o combinación.

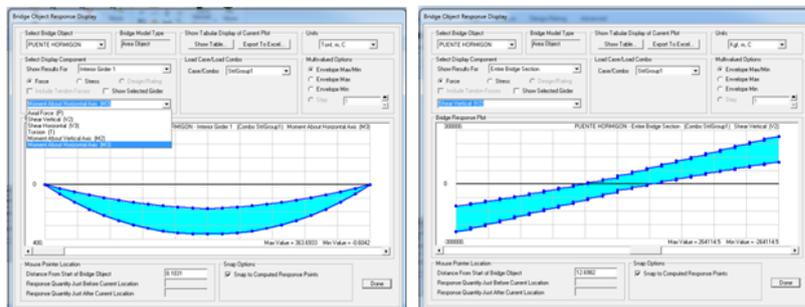


Figura 27. Diagramas de cortante y momento

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.3.2.3. Superficies de influencia

El software permite observar las superficies de influencia de la estructura a acciones móviles para los dos tipos de puentes modelados

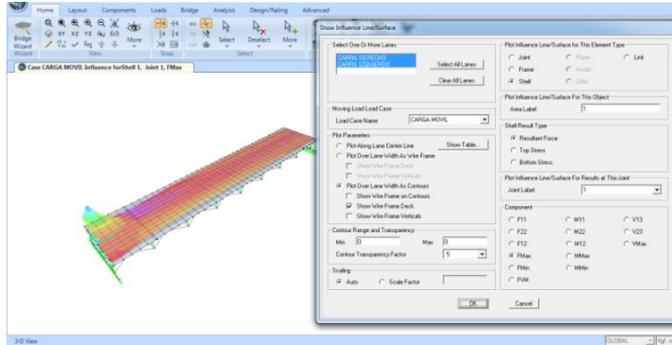


Figura 28. Superficies de influencia

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.3.2.4. Edición interactiva de datos.

El software contiene tablas con los resultados obtenidos de la estructura los cuales pueden ser importados directamente a Microsoft Excel y Microsoft Access, esta herramienta fue utilizada tanto para el puente de Hormigón como para el puente Mixto Tablero de hormigón sobre vigas que se ven reflejados en los resultados de la modelación.

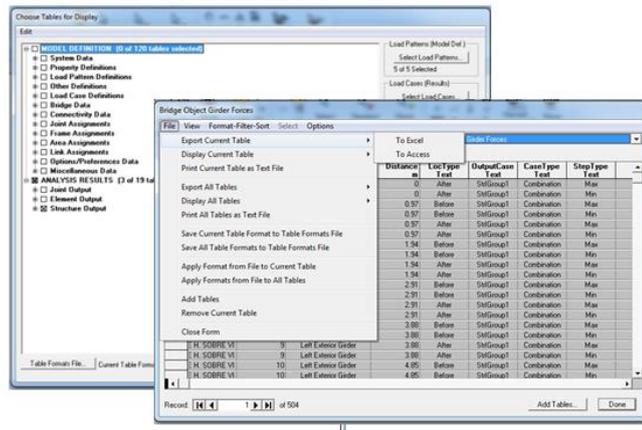


Figura 29. Edición interactiva de datos.

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.4.LIMITACIONES DEL PROGRAMA.

Las limitaciones observadas durante el manejo del software CSI BRIDGE V15.2 VERSIÓN EVALUACIÓN en la aplicación de puentes de hormigón armado y mixto (Vigas metálicas con tableros de hormigón), se citan las siguientes:

- Cuando se realiza una modelación con vigas T el software no permite evaluar la demanda capacidad de las vigas, esto se logra si se las modela de forma independiente del tablero.
- Con respecto a las vigas metálicas el software evalúa solo a las vigas con alma llena ya que al ingresar vigas con plata-bandas nos indica que no soporta está sección.
- Cuando se modela una pila con apoyos discontinuos y se requiere dividir un tramo por consideraciones de diseño, se crea automáticamente otras pilas y de esta manera altera el comportamiento de la estructura.

4.5.METODOLOGÍA QUE UTILIZA EL SOFTWARE.

El software CSIBRIDGE, utiliza el método de elementos finitos (MEF) con la finalidad de calcular con suficiente grado de precisión los valores de las incógnitas de las ecuaciones diferenciales que gobiernan ciertos puntos del dominio de un sistema o estructura continua, creando un modelo matemático del sistema físico o estructura dividido en nudos y elementos finitos, se resuelve el sistema de ecuaciones hallando así los resultados para cada nudo. Los pasos que involucra el método de elementos finitos (MEF) son:

1. El usuario crea el modelo de elementos finitos.

- a) Define la geometría, los nudos y elementos.
- b) Especifica las propiedades de los materiales, las condiciones de carga y las condiciones de contorno.

2. El software o programa de elementos finitos ejecuta el análisis.

- a) Formula el sistema de ecuaciones.
- b) Resuelve el sistema de ecuaciones.

3. El programa de elementos finitos reporta los resultados.

- a) Calcula valores para los nudos y elementos (desplazamientos, fuerzas internas, reacciones, etc.)
- b) Procesa adicionalmente los resultados (gráficas, etc.)

CSIBRIDGE contiene normativas pre cargadas en el software

Puentes	CSIBRIDGE [®]	SAP2000 [®]	ETABS [®]	SAFE [®]
AASHTO LRFD 2012	✓			
AASHTO LRFD 2007	✓			
AASHTO STD 2002	✓			
CAN/CSA S6-2004	✓			
Eurocode	✓			
IRC 2011	✓			
JTG-D62-2004	✓			
SNIP 2.05.03-84	✓			

Figura 30. Normas de diseño para puentes.

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de cálculo del software CSIBRIDGE

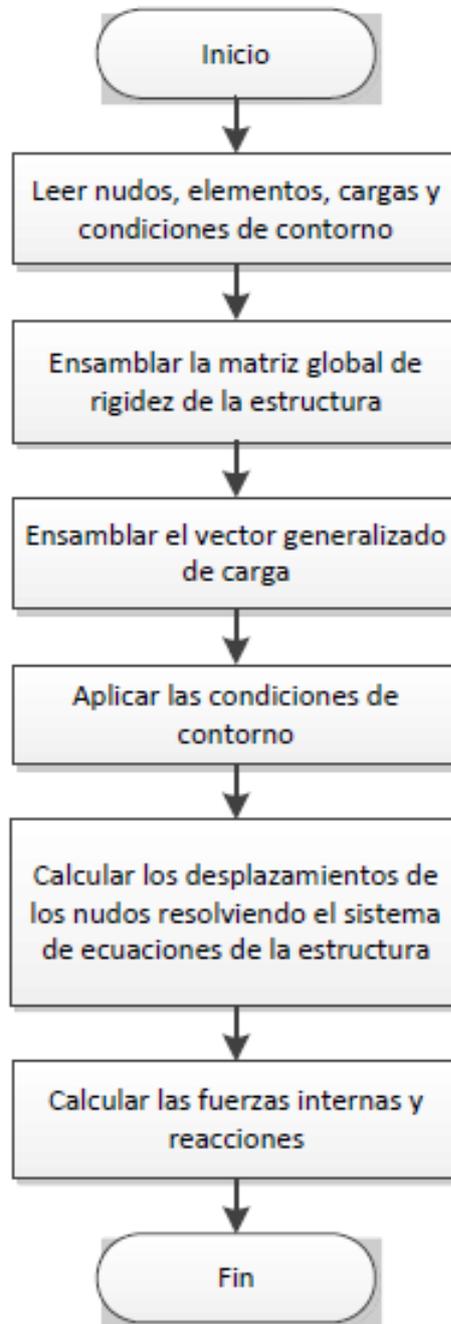


Figura 31. Flujograma análisis por el Método de Elementos finitos (MEF).

Fuente: Autor

4.6.POTENCIALIZACION DEL PROGRAMA

4.6.1.Información General.

4.6.1.1. Variación de la línea de eje

El software posee plantillas con diferentes variaciones del eje en la dirección “X” y “Y”. Cuando el eje se altera, la estructura del puente y su definición paramétrica se actualizan inmediatamente.

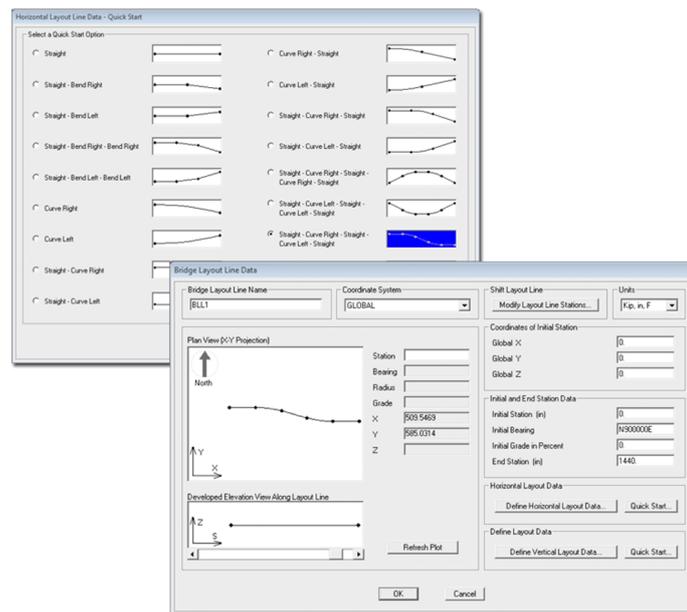


Figura 32. Línea de eje

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.2. Secciones paramétricas del tablero.

CSIBRIDGE permite definir paramétricamente todo tipo de secciones de tableros, desde vigas cajón, vigas "T", vigas prefabricadas "I" y "U", vigas metálicas con tablero en hormigón y vigas de sección variable.

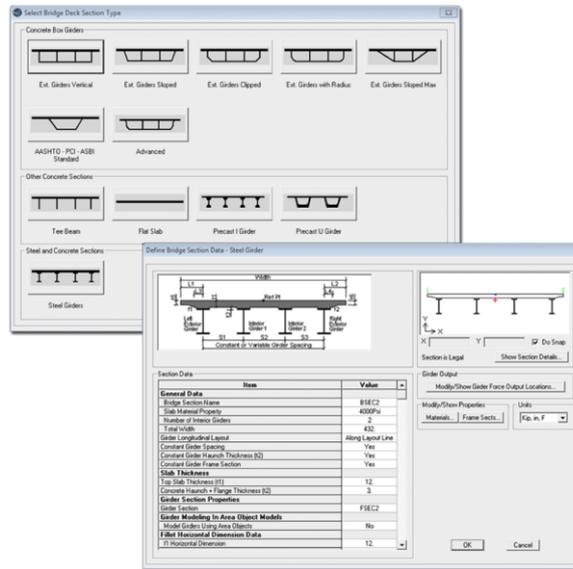


Figura 33. Secciones paramétricas del tablero

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.3. Variaciones paramétricas

Especificación de variaciones verticales u horizontales para el alineamiento e inclinación de la sección de los puentes. La definición paramétrica es bastante útil para reducir el tiempo y optimizar el proceso de modelado.

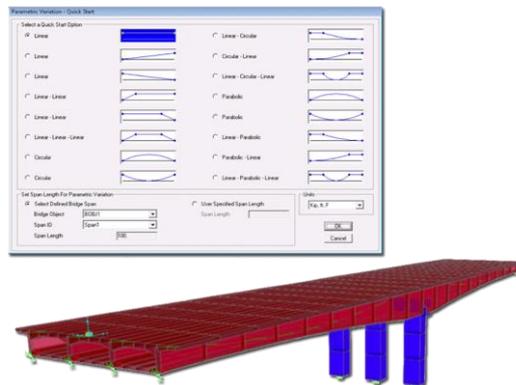


Figura 34. Variaciones Paramétricas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.4. Muelles (springs).

Los muelles consisten en elementos de conexión usados para conectar estáticamente nudos de la estructura al suelo, pueden ser de naturaleza lineal o no lineal. Las opciones de modelado avanzado permiten incluir las cimentaciones en la superestructura, incluyendo pilotes y zapatas.

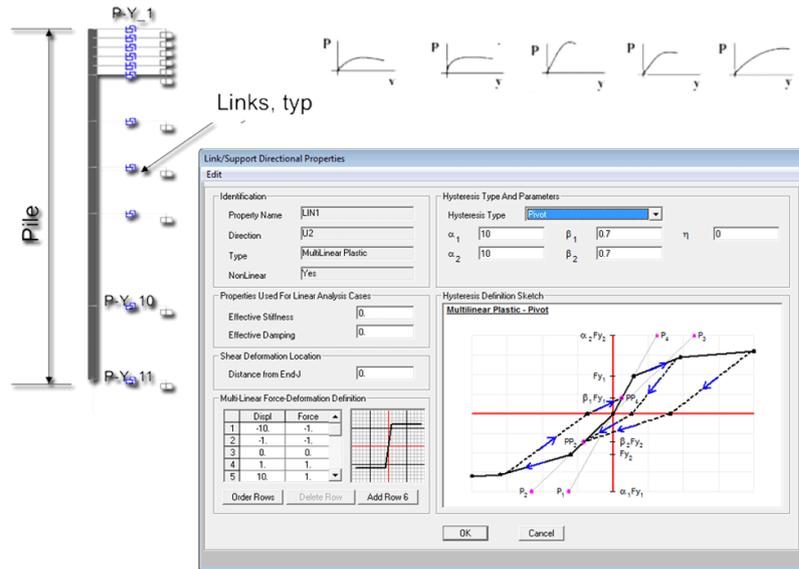


Figura 35. Muelles

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.5. Evaluación de la súper-estructura.

Permite diseñar y evaluar la demanda capacidad de las vigas, en el caso de las vigas de hormigón les evalúa a flexión y corte y en el caso de las vigas metálicas diseña y evalúa a resistencia y a fatiga de la estructura

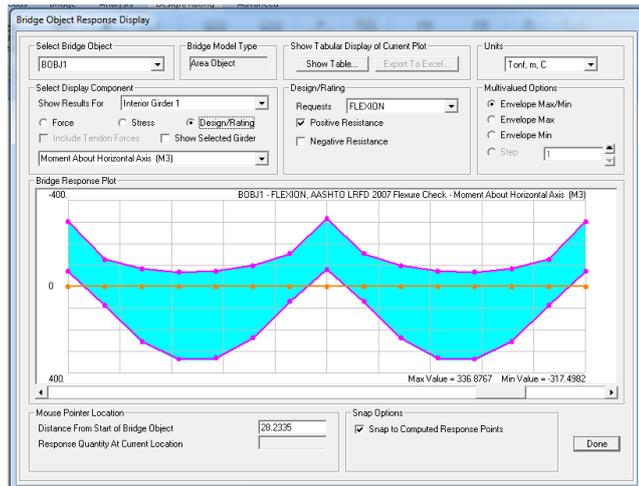


Figura 36. Diseño y evaluación de la súper-estructura.

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.6. Optimización de las vigas metálicas

Esta herramienta tiene como objetivo determinar la acción más adecuada para alcanzar la respuesta estructural deseada.

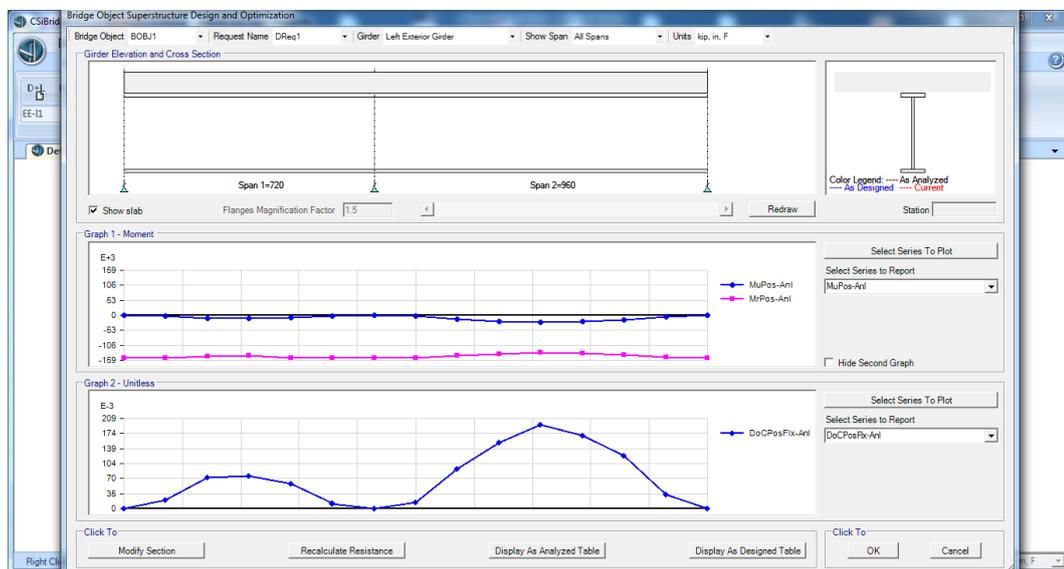


Figura 37. Optimización de las vigas metálicas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.7. Análisis estático no lineal (PUSHOVER).

Las características y funcionalidades de los análisis "PUSHOVER" en CSIBRIDGE incluyen la implementación de la FEMA 356 y la de las rótulas plásticas clásicas o de fibras, basadas en las relaciones de tensión-extensión de los materiales constituyentes. Los elementos de área no lineales permiten al usuario considerar en el análisis "PUSHOVER" el comportamiento plástico de los muros resistentes, losas, chapas de acero y otros elementos finitos de área. Se pueden definir relaciones fuerza-deformación para rótulas de acero y de hormigón armado.

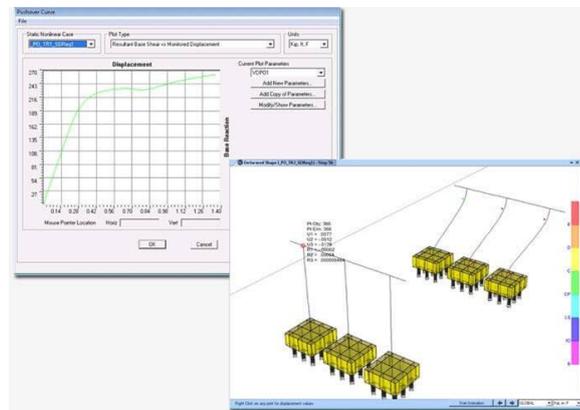


Figura 38. Análisis no lineal (PUSHOVER).

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.8. Análisis dinámico

Los análisis dinámicos de CSIBRIDGE incluyen el cálculo de modos de vibración a través de Ritz o Eigen vectors, análisis de espectros de respuesta y time-history, tanto para comportamiento lineal como no lineal.

4.6.1.8.1. Modal.

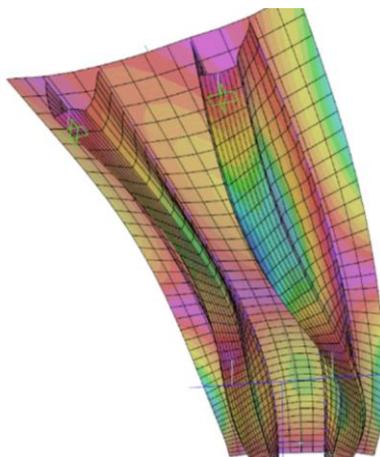


Figura 39. Análisis (MODAL).

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

El análisis modal por “eigen-vector” encuentra los modos de vibración natural de la estructura y puede utilizarse para una mejor percepción del comportamiento de la misma, y también para la superposición modal de los análisis de espectro de respuesta y "time-history modal". El análisis modal por “ritz-vectors” encuentra los mejores modos de vibración para captar el comportamiento estructural en los análisis de espectro de respuesta y "time-history modal", siendo más eficiente que el análisis por “eigen-vector”.

4.6.1.8.2. Análisis por espectro de respuesta

El análisis de espectro de respuesta determina la respuesta estadísticamente más probable de la estructura a un determinado sismo. Este tipo de análisis lineal utiliza los espectros de respuesta basados en los tipos de sismo y condiciones locales. Este método es extremadamente eficiente y considera el comportamiento dinámico de la estructura.

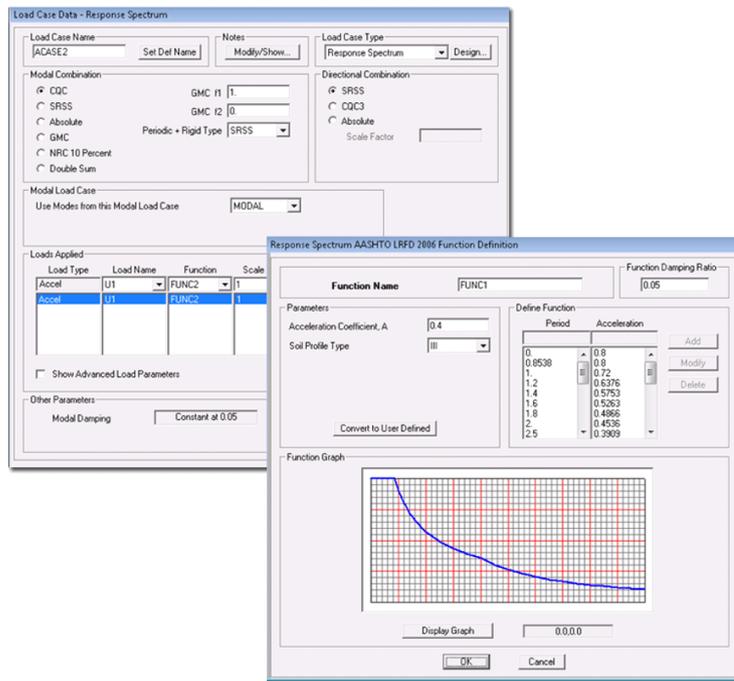


Figura 40.Espectro de respuesta

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.8.3. Análisis temporal no lineal (TIME HISTORY ANALYSIS)

El análisis "time-history" capta detalladamente la respuesta de la estructura a movimientos basales debidos al sismo y a otros tipos de acciones como: explosiones, equipamientos, viento, olas, etc. Los análisis "time-history" no lineales se pueden encadenar a partir de otros tipos de casos no lineales (incluyendo secuencias constructivas), abordando una amplia gama de aplicaciones prácticas.

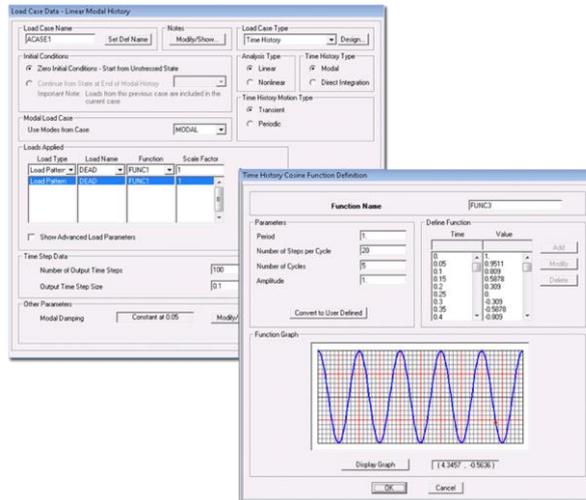


Figura 41. Análisis temporal no lineal (TIME HISTORY ANÁLISIS).

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

4.6.1.9. Análisis de pandeo (BUCKLING).

Los modos de pandeo lineal se pueden obtener para cualquier conjunto de acciones. Los modos de inestabilidad se pueden calcular a partir de la rigidez obtenida al final de análisis no lineales y secuencia constructiva. También es posible realizar análisis no lineales de pandeo considerando grandes deformaciones y no linealidades de los materiales. Se pueden utilizar análisis dinámicos para modelar situaciones de pandeo más complejas, como por ejemplo análisis de pos pandeo.

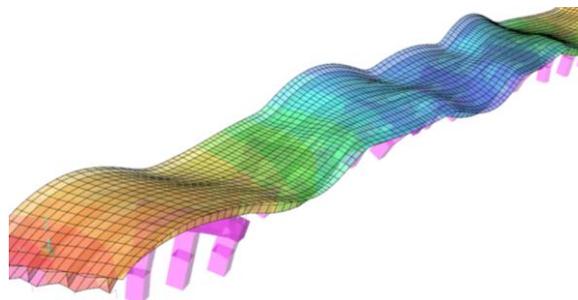


Figura 42. Análisis de Pandeo (BUCKLING).

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN

Luego de haber desarrollado un cálculo manual con su respectiva modelación en el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION, de dos tipos de puentes, es decir: de Hormigón Armado y Mixtos Tablero de Hormigón sobre vigas Metálicas se pudo establecer las siguientes comparaciones.

5.1. PUENTE DE HORMIGÓN

5.1.1. Comparación de resultados con los Momentos Flexionantes

Tabla 21. Comparación de momentos

COMPARACION DE MOMENTOS FLEXIONANTES DE LA VIGA			
Distancia (m)	Momento Calculo manual (Ton-m)	Momento CSIBRIDGE V15.2 (Ton-m)	Error Relativo
11.00	393.30	363.69	7.5%

5.1.2. Comparación de resultados de la fuerza Cortante

Tabla 22. Comparación de Cortante

COMPARACION DE LA FUERZA CORTANTE VIGA INTERIOR			
Distancia (m)	Cortante Calculo manual (Ton-m)	Cortante CSIBRIDGE V15.2 (Ton-m)	Error Relativo
0-22	75.85	70.39	7.2%

5.2. PUENTE MIXTO TABLERO DE HORMIGÓN SOBRE VIGAS METÁLICAS

5.2.1. Comparación de resultados con los Momentos Flexionantes

Tabla 23. Comparación de Momento

COMPARACION DE MOMENTOS FLEXIONANTES DE LA VIGA INTERIOR			
Distancia (m)	Momento Calculo manual (Ton-m)	Momento CSIBRIDGE V15.2 (Ton-m)	Error Relativo
20.00	1015.49	931.15	8.3%

5.2.2. Comparación de resultados de la fuerza Cortante

Tabla 24. Comparación de Cortante

COMPARACION DE LA FUERZA CORTANTE VIGA INTERIOR			
Distancia (m)	Cortante Calculo manual (Ton-m)	Cortante CSIBRIDGE V15.2 (Ton-m)	Error Relativo
0-40	103.75	99.17	4.4%

En el puente de Hormigón Armado se obtuvo un error relativo con respecto al momento flector de 7.5% y al cortante de 7.2%, mientras que en el puente Mixto (Tablero de Hormigón con Vigas Metálicas) se tiene un error con respecto al momento de 8.3% y al cortante de 4.4%, esto se debe a las consideraciones que se realizan en el cálculo manual, ya que este se analiza de forma general y en tramos con grandes longitudes, generando tal diferencia con respecto a la modelación en el software, que emplea el método de elementos finitos obteniendo resultados más precisos.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Para el diseño de puentes, el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION y el Ecuador emplean los parámetros establecidos en las normas internacionales, AASHTO LRFD BRIDGE y la AISC quienes se encuentran acorde al lugar de origen, ocasionando que las consideraciones de diseño sean diferentes a la situación que se vive en el país.
- Al realizar el cálculo de forma manual y la modelación en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION de los dos tipos de puentes, se determinó que no existe mayor variación en cuanto a diseño, siendo el cálculo del software más preciso debido al uso de elementos finitos y a la discretización de cada elemento.
- Todos los parámetros antes mencionados han permitido obtener una idea general del software CSIBRIDGE V15.2.0 VERSIÓN EVALUACIÓN de manera clara y sencilla.

6.2.RECOMENDACIONES

- Antes de realizar una modelación en el software realizar un pre diseño de la estructura tomando en cuenta los parámetros máximos y mínimos de las normas
- Se sigan creando guías de aprendizaje que sirvan en el manejo de los programas actualizados de la carrera de Ingeniería Civil, lo cual permitirá formar profesionales competitivos.
- Establecer normas específicas para el diseño de puentes en el Ecuador, ya que esto permitirá realizar un análisis, diseño con datos y coeficientes más acertados ya que estos estarán basados en las características propias de la zona.

CAPITULO VII

7. PROPUESTA

7.1.TITULO DE LA PROPUESTA

“MANUAL PARA MODELAR PUENTES DE HORMIGON ARMADO Y MIXTOS (TABLERO DE HORMIGON CON VIGAS METALICAS), EMPLEANDO EL SOFTWARE CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN”

7.2.INTRODUCCION

CSI BRIDGE es lo último creado en herramientas informáticas para modelar, analizar y diseñar la estructura de un puente, El diseño AASHTO LRFD viene incluido en el programa con sus respectivas combinaciones de carga.

Es un programa versátil y productivo, además permite rapidez y facilidad en el diseño y adaptación del acero a las losas de hormigón, CSIBRIDGE ofrece una selección de plantillas para iniciar rápidamente un nuevo modelo. Esto es un buen punto de partida para la creación de un modelo que posteriormente se puede modificar, también permite a los usuarios editar los datos del modelo en una vista de tabla que simplifica la tarea de hacer cambios en el modelo. Las tablas son fácilmente exportables e importables desde Microsoft Excel y Microsoft Access.

Una vez analizada toda la información recopilada se procedió a poner en práctica estos conocimientos para obtener un manual para modelar puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas), empleando el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN.

7.3.OBJETIVOS

7.3.1. Objetivo General

- Elaborar un manual para modelar puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas), empleando el software CSIBRIDGE V15.2 VERSIÓN EVALUACIÓN ”

7.3.2. Objetivos Específicos

- Indicar los comandos que se emplean para modelar puentes de hormigón armado y mixtos (tablero de hormigón con vigas metálicas)
- Describir de forma clara el funcionamiento de cada uno de los comandos
- Desarrollar un ejemplo de aplicación del manual

7.4.FUNDAMENTACION CIENTIFICA –TECNICA

7.4.1. Características del software CSIBRIDGE V15 VERSION EVALUACION .2²³

CSIBRIDGE.- Software integrado para el análisis estructural, sísmico, diseño y evaluación de los puentes.

²³COMPUTERS & STRUCTURES. INC



Figura 43. Presentación del CSIBRIDGE

Fuente: COMPUTERS & STRUCTURES. INC

- Programa enfocado en puentes, emplea el método de elementos finitos con el motor de cálculo del SAP2000; es decir presenta gran flexibilidad para modelar cualquier estructura.
- Contiene las opciones utilizadas en el SAP2000, incluidos los comandos dedicados a puentes.
- Crea automáticamente las combinaciones de carga para el máximo, para el factor mínimo y por último crea para la envolvente.
- Genera transparencia y seguridad al ingeniero diseñador, al poseer los modelos de análisis con recursos a todos los elementos de SAP2000
- Permite modificar de forma genérica los modelos paramétricos y ampliar cualquier elemento finito u otros elementos adicionales

- Presenta un único modelo para todos los análisis y elementos estructurales, es decir; (sub-estructura, súper-estructura, aparatos de apoyo y cimentaciones)
- Creación de modelos de barras, shell o sólidos a partir de las mismas definiciones paramétricas.
- En la súper-estructura genera de forma automática las mallas.
- Posee plantillas para puentes de voladizos sucesivos y puentes colgantes dando mayor facilidad al modelar.
- En puentes modelados con elementos tipo Shell y sólidos al igual que en el proceso de dimensionamiento de la súper-estructura emplea gran variación en la determinación de los esfuerzos.
- Permite la entrada de cargas paramétricas independientes de los elementos finitos
- Contiene un sin número de vehículos basados en diferentes normativas internacionales para crear las cargas móviles.
- Realiza el cálculo de superficies de influencia en los carriles para obtener las respuestas más desfavorables
- Calcula de forma automática la fuerza centrífuga y de frenado o aceleración.
- Admite variaciones paramétricas en la geometría de la sección transversal del tablero a lo largo de los vanos.

- Contiene Bridge Wizard para consulta y edición rápida de todas las propiedades paramétricas del puente.

7.4.1.1. Fiabilidad del Programa

- Realiza un análisis geométrico no lineal
- Muestra elementos sólidos, barras, pretensados y elementos shell no lineales
- Contiene elementos específicos para modelar comportamientos de contacto, rigidez multi-lineal, fricción y aisladores de base
- Excelente en análisis dinámicos, secuencia constructiva, pretensado y secuencia de análisis
- Solvers de 32 y 64 bits con algoritmos de factorización de matrices rápidos y eficientes para modelos de grandes dimensiones

7.4.1.2. Compatibilidad con otros programas y formatos

- Edición interactiva del modelo a través del Excel y archivos de texto
- Exportación e importación de archivos AutoCAD
- Exportación e importación de archivos IFC
- Importación y cálculo de modelos elaborados en SAP2000
- Exportación de reportes de cálculo para Word

7.4.1.3. Dimensionamiento de la superestructura y subestructura

- Dimensionamiento de la súper-estructura y sub-estructura a través de las normativas
- Americanas, Europeas, Canadienses, Rusas, Indias, entre otras.
- Creación de combinaciones automáticas basadas en las normativas utilizadas para dimensionamiento

7.4.1.4. Otras herramientas avanzadas

- Optimizador estructural para determinación de las acciones óptimas en la estructura en función de la respuesta deseada
- Acceso a través del API para creación de pre y pos-procesadores

7.5.DESCRIPCION DE LA PROPUESTA

El manual consta de la descripción de los comandos más empleados en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSIÓN EVALUACIÓN posteriormente a ello se procede a indicar los pasos a seguir para la modelación y evaluación de un puente de hormigón armado

Mediante el empleo de una plantilla predefinida del software se modela, evalúa y optimiza un puente mixto (tablero de hormigón con vigas metálicas)

Además se crea una animación con el vehículo en movimiento y se indica de forma secuencial el diseño a sismo, el cual es aplicable para todo tipo de puentes.

Finalmente para mayor entendimiento se realiza la modelación de la superestructura del puente Matus-Aulabug ubicado en el cantón Penipe, empleando el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN, el cual es un ejemplo representativo del uso del manual, ubicado en el **Anexo 9.1**

7.6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

7.6.1. Comandos del CSIBRIDGE V15 VERSION EVALUACION

- El Menú “**ORB**” contiene: Nuevo, Abrir, Guardar, Guardar como, Importar, Exportar, Imprimir, Reportar, Animación, Configuraciones y Lenguaje.

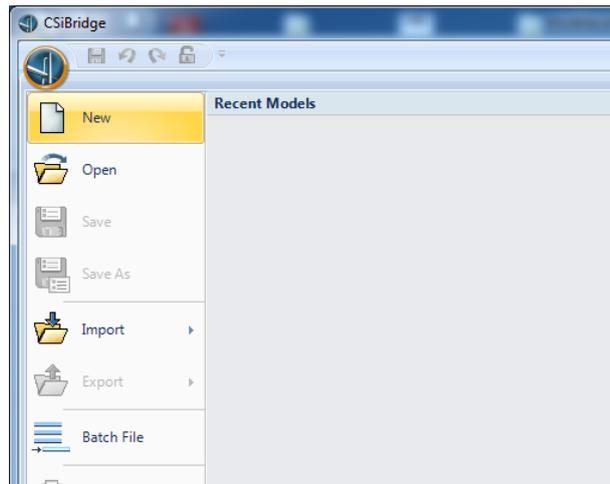


Figura 44. Menú "ORB"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El Menú “**HOME**” contiene El Asistente de Puentes “Bridge Wizard”, Vista-Snap, Selección, Opciones rápidas de los resultados del análisis.

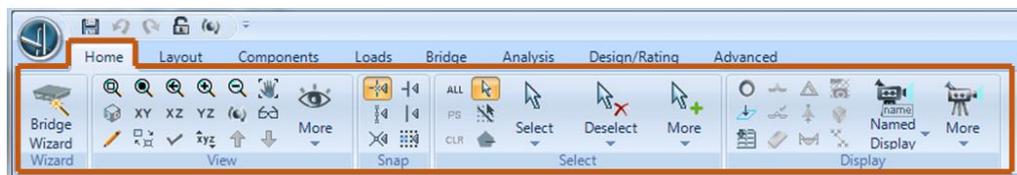


Figura 45. Menú "HOME"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El Menú “**LAYOUT**” presenta opciones para definir la línea base y los carriles

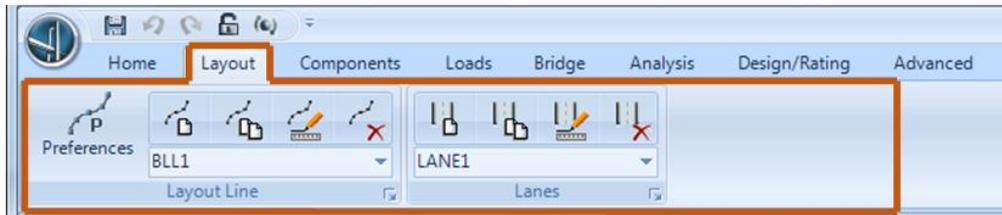


Figura 46. Menú "LAYOUT"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El Menú “**COMPONENTS**” permite definir las Propiedades de los Materiales con la definición de la Súper-estructura “**Deck Sections**” (Tablero, vigas, diafragmas) y de la Sub-estructura “**Bearings**” (Estribos, Fundaciones Pilas, conexiones y tipos de apoyo)



Figura 47. Menú "COMPONENTS"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El Menú “**LOADS**” comprende la definición de Vehículos, Patrones de Carga, Funciones de Espectros, Asignaciones de Cargas.

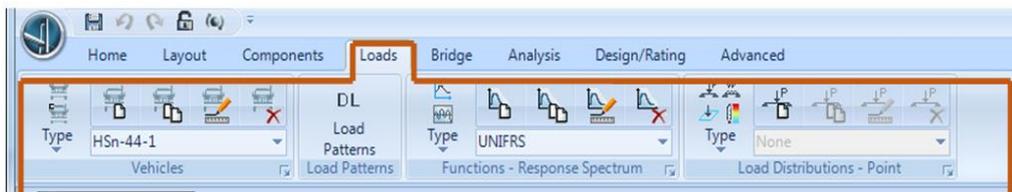


Figura 48. Menú "LOADS"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El Menú “**BRIDGE**” contiene los Objetos de los Puentes, Cargar datos definidos al puente

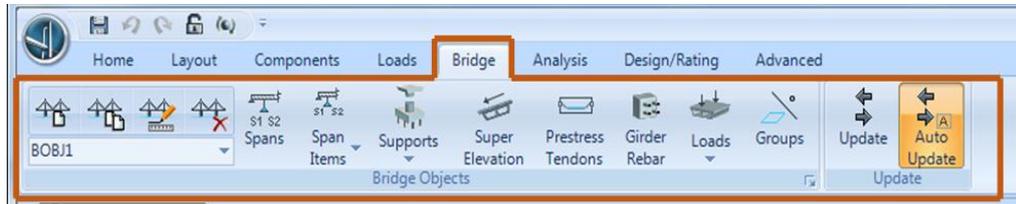


Figura 49. Menú "BRIDGE"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El Menú “**ANALYSIS**” presenta todos los Casos de Carga, el Análisis del modelo y Modifica la geometría no deformada.

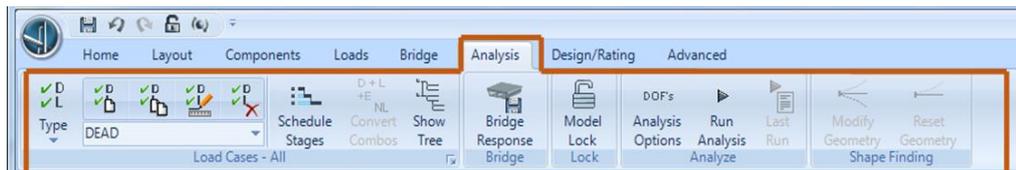


Figura 50. Menú "ANALYSIS"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El Menú “**DESIGN/RATING**” contiene las Combinaciones de Carga, Diseño de la Súper estructura, Diseño Sísmico y la Capacidad de Carga.

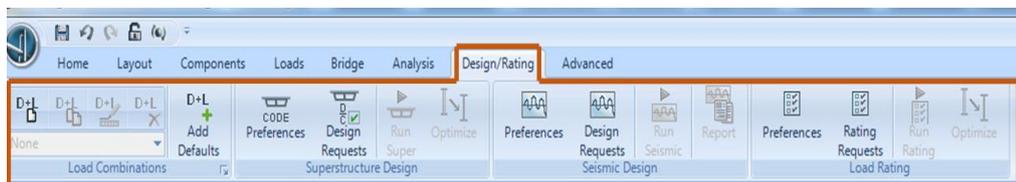


Figura 51. Menú "DESING/RATING"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El Menú “ADVANCED” permite Editar, Definir, Dibujar, Asignar, Asignar Cargas, Analizar, Diseñar elementos y Herramientas.

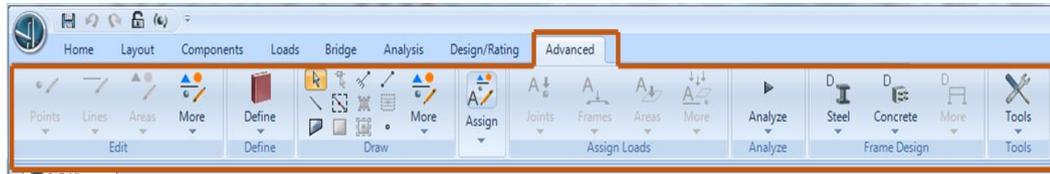


Figura 52. Menú "ADVANCED"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2. Pasos generales para la modelación de un puente de hormigón armado

- Selecciono las unidades a trabajar en la parte inferior derecha de la ventana de inicio.

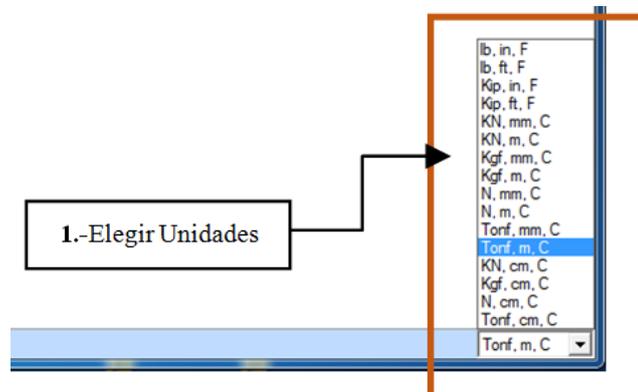


Figura 53. Ventana de trabajo y elección de unidades

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. En el icono indicado se elige las unidades de trabajo

- Ir al menú “ORB” dar clic en “New model” y elegir la plantilla más acorde del puente a modelar o dar clic en “Blank” e ingresar cada una de las características del puente a modelar, verificando siempre que se esté trabajando en las unidades requeridas.

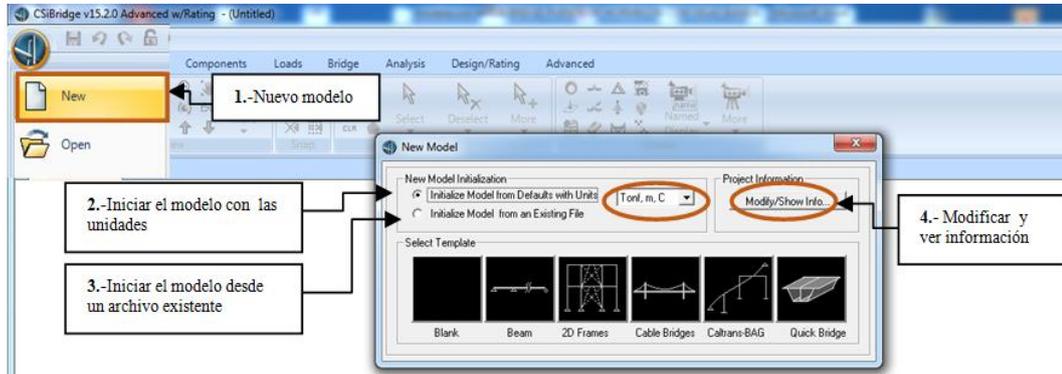


Figura 54.Selección de la plantilla a trabajar

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Item	Data
1	Company Name*
2	Client Name*
3	Project Name*
4	Project Number*
5	Model Name*
6	Model Description
7	Revision Number*
8	Frame Type
9	Engineer
10	Checker
11	Supervisor
12	Issue Code
13	Design Code

Figura 55.Información general del proyecto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Permite crear un nuevo modelo
2. Al hacer clic en esta opción toda la modelación trabajara en las unidades indicadas
3. Parte la modelación con un archivo ya existente
4. Al elegir esta opción se abrirá una ventana en la cual se puede ingresar información general del proyecto como se muestra en la figura 55

7.6.2.1. Modelación con la plantilla en Blanco (Blank)

- Se despliega esta ventana en donde se elige el camino deseado para ingresar los datos del puente ya sea por “**Bridge Wizard**” o por cada uno de los menús del CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN



Figura 56. Ventana donde se encuentra el "Bridge Wizard"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Esta opción permite ingresar los parámetros del puente de forma directa

- Al hacer clic en “**Bridge Wizard**” se abre la siguiente ventana en donde se puede ingresar cada uno de los datos tanto de la super-estructura como de la sub-estructura

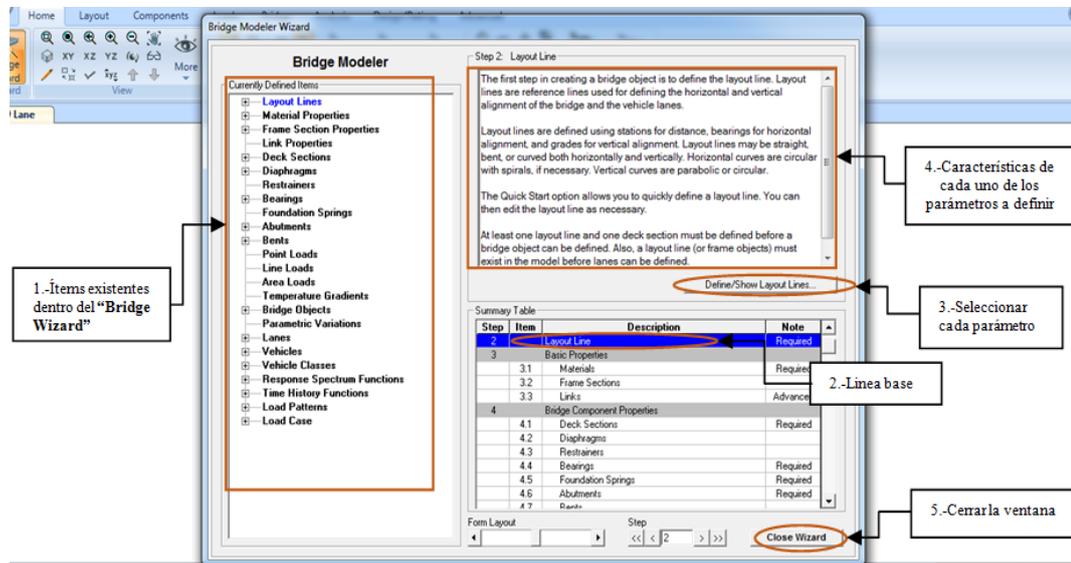


Figura 57. Ventana del "Bridge Wizard"

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Visualizar los ítems que contiene el “**Bridge Wizard**”
2. Seleccionar un parámetro del puente
3. Crear un parámetro del puente
4. Una vez seleccionado un parámetro del puente en esta opción de encuentra una descripción con sus respectivas características del ítem a definir.
5. Luego de definir todos los elementos del puente cerrar el “**Bridge Wizard**”

Secuencia de “Bridge Wizard”

- Definir la Alineación Horizontal y Vertical del Puente
- Definir las Propiedades Básicas de los Materiales y Secciones
- Definir las características específicas del Puente (Sección de la Losa, Diafragmas, Restricciones, Asientos, Fundaciones entre otras cosas)
- Desde los pasos 5 hasta el 7 definir los objetos del puente, esto después de haber definido la geometría en los pasos anteriores.
- Dibujar y asignar las propiedades a los objetos del puente.
- Desde los pasos 9 hasta el 13 definir los parámetros básicos del análisis (Líneas, vehículos, casos de carga y opciones de salida).

7.6.2.1.1. Utilizando los iconos que presenta el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.1. Definición de la línea base (Layout)

- Se inicia dando clic en “Layout” + “New Layuot line” donde se ingresará la línea base del puente

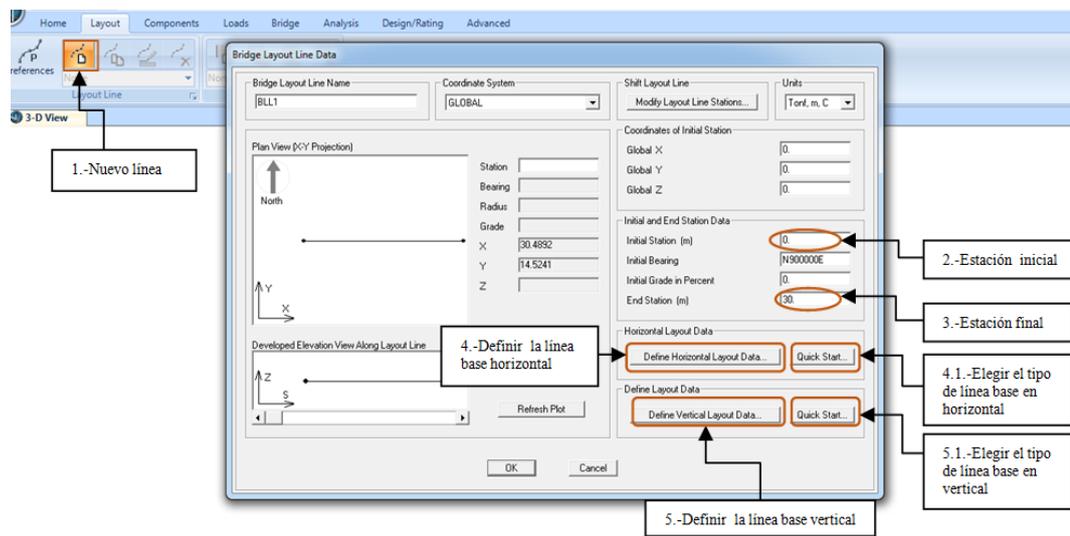


Figura 58. Ventana para definir la línea base del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Crear la línea base
2. Especificar la estación inicial de la línea base
3. Ingresar la longitud del puente
4. Configurar la línea base horizontal
 - 4.1. Seleccionar una plantilla de la línea base horizontal
5. Configurar la línea base vertical
 - 5.1. Elegir la plantilla acorde a la forma vertical del puente

- Si la línea base horizontal o vertical no es recta dar clic en “**Define Horizontal Layout Data**” o “**Quick start**”, se despliega esta ventana en donde se puede seleccionar el tipo de línea base tanto en horizontal como en vertical.

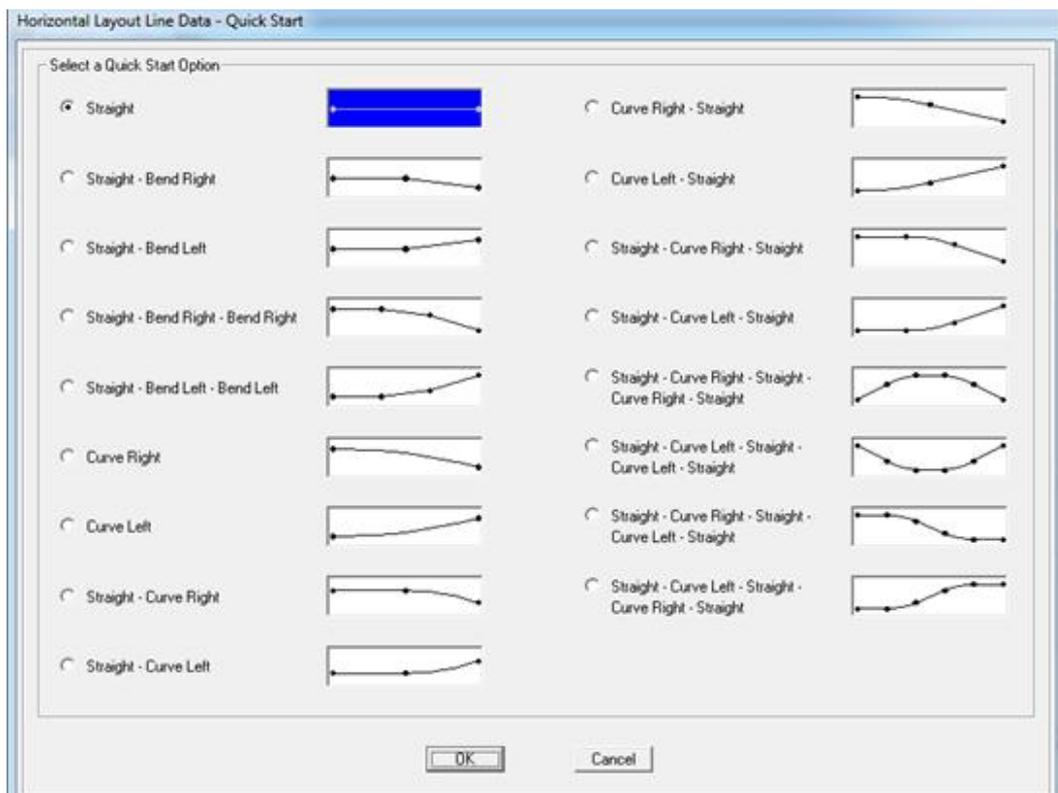


Figura 59. Selección de la línea base

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez seleccionada la línea base dar clic en “Ok ” y se activa los demás iconos

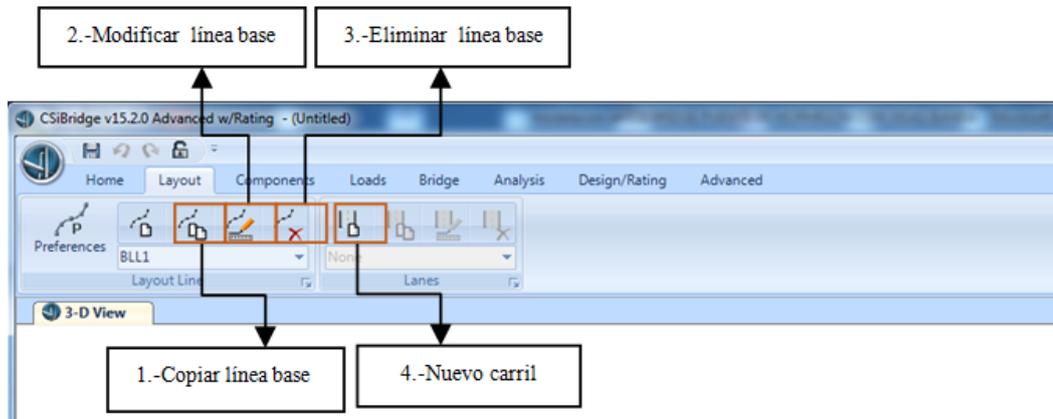


Figura 60. Ventana para modificar, copiar y eliminar la línea base

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Se activa la opción de crear una copia de la línea base
2. Se puede modificar la línea base creada
3. Permite eliminar la línea base creada
4. Una vez definida la línea base se activa la definición de los carriles

7.6.2.1.1.2. Definición de los carriles (Lanes)

- Seleccionamos nuevo carril “**New lanes**” e ingresamos cada uno de los datos señalados en la siguiente imagen tanto para cero metros como para la longitud total del puente a modelar.

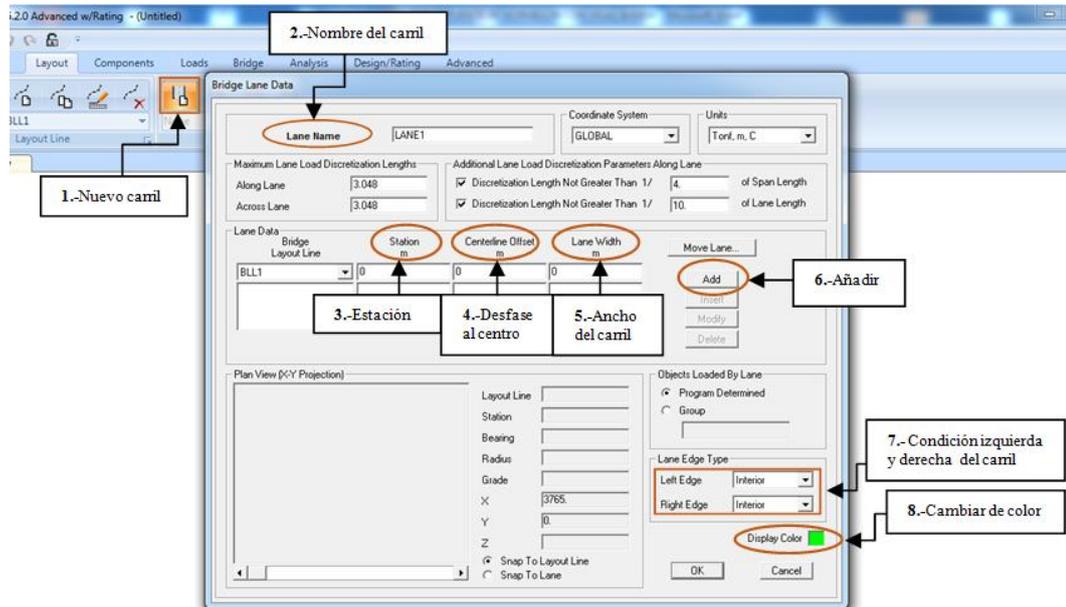


Figura 61. Ventana para ingresar las dimensiones de los carriles

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Crear un nuevo carril
2. Escribir el nombre del carril
3. Ingresar los datos del primer carril a cero y a la longitud total del puente.
4. Insertar la distancia desde el eje del puente hasta el centro del carril a ingresar, este valor es positivo y negativo de acuerdo a la ubicación del carril.
5. Se debe ingresar el valor del ancho del carril
6. Luego se debe añadir todos estos datos
7. Condición del carril indica: que si elegimos la opción interior el vehículo circula a través de todo el ancho del carril mientras que si se elige exterior significa que el vehículo circulará a una distancia de 0.30 m del borde del carril ya sea en el lado izquierdo o derecho
8. Cambiar el color del carril

- Para poder visualizar los carriles ir a “Home” + “More”+“Show Lanes”

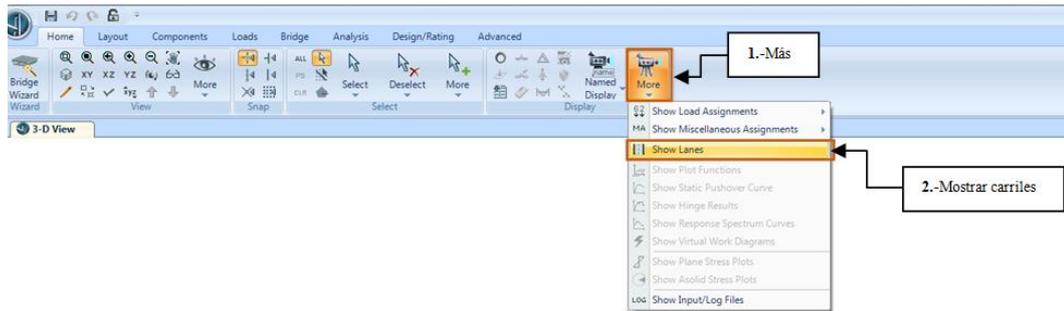


Figura 62. Ventana para ver los carriles

Fuente: CSIBRIDGE V15

Procedimiento de la ventana

1. Hacer clic en “More” para buscar la opción de visualizar los carriles
2. Seleccionar la opción de mostrar carriles

- Elegir los dos carriles y dar clic en “Show lane width” y seleccionar en “Ok”

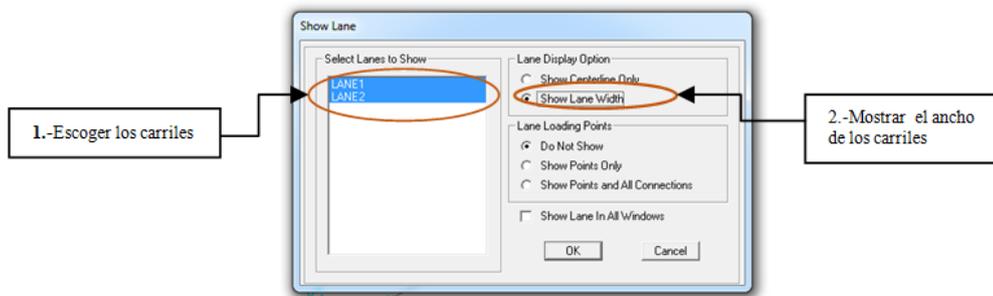


Figura 63. Ventana para seleccionar los carriles

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Elegir los carriles que se desee observar
2. Luego escoger la opción mostrar el ancho de los carriles

- Se puede observar los carriles

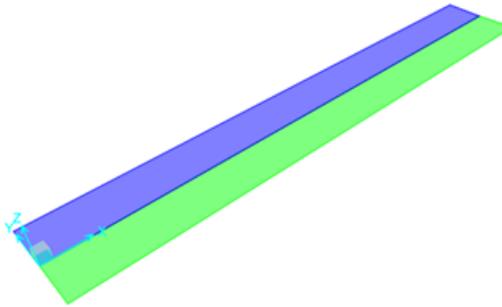


Figura 64. Ventana del diseño de los carriles

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.3. Definición de las propiedades de los materiales

- Define en el menú “**Components**”, las propiedades de los materiales y las dimensiones de la Super-estructura como de la Sub-estructura; se aconseja trabajar de izquierda a derecha

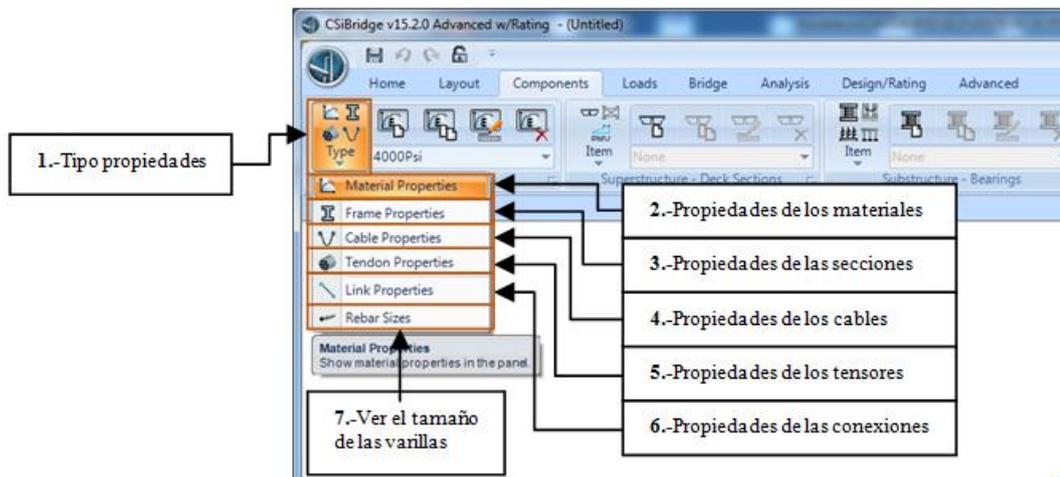


Figura 65. Ventana de las propiedades de los materiales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Dar clic en “**Type**”, se abren las propiedades que se pueden seleccionar y modificar de acuerdo a los materiales que se empleen en el puente.
 2. Al seleccionar esta opción, el programa crea automáticamente tres tipos de materiales: uno para el hormigón y dos para el acero en vigas metálicas, por ende se debe modificar las propiedades o crear un nuevo material a emplear.
 3. Se debe configurar las propiedades de las secciones a utilizar para la modelación, ya sea de los estribos, pilas, cimentaciones.
 4. Establecer las propiedades de los cables.
 5. Configurar las propiedades de los tensores
 6. Definir las propiedades de las secciones
 7. Definir el tamaño de las varillas a emplear en el hormigón
- Al dar clic en “**Material Properties**” se puede modificar las propiedades del hormigón a utilizar.

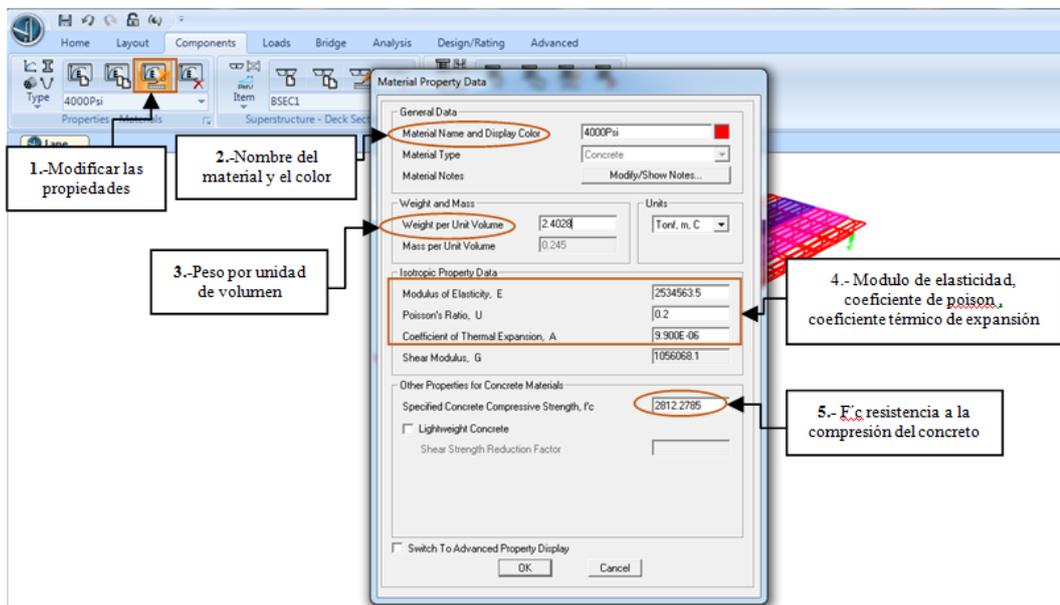


Figura 66. Propiedades de los materiales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Seleccionar la plantilla creada automáticamente dar clic en modificar las propiedades.
2. En la ventana como primer paso se procede a cambiar el nombre y el color del material.
3. Establecer el peso específico del hormigón.
4. Escribir los valores del módulo de elasticidad, el coeficiente de poisson y el coeficiente térmico de expansión del hormigón a utilizar.
5. Editar el valor de la resistencia a la compresión del hormigón tomando en cuenta las unidades en las que se está trabajando.

7.6.2.1.1.4. Definición de la Super-estructura

- Dimensionar la Super-estructura para lo cual se debe dar clic en “New Section” y se escoge el tipo de puente.

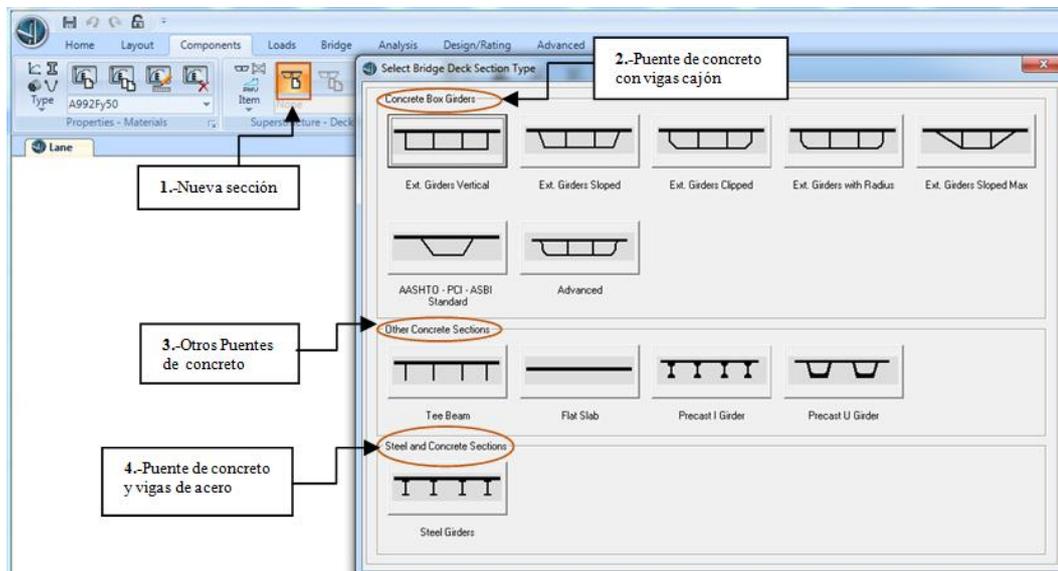


Figura 67. Ventana para seleccionar el tipo de puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Definir una nueva sección del puente
2. Indica que se puede escoger las plantillas de puentes de concreto con vigas cajón
3. Elegir otro tipo de puentes de concreto.
4. Seleccionar puentes de concreto con vigas metálicas

- Luego de seleccionar la plantilla del puente llenar todas las dimensiones del tablero y sus vigas

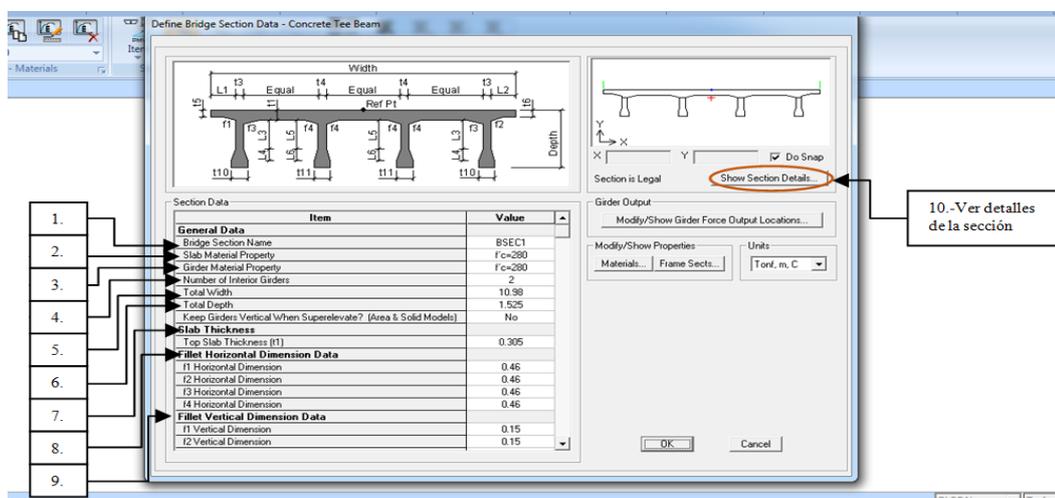


Figura 68. Dimensionamiento del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Nombre de la sección del puente
2. Propiedades del material de la losa
3. Propiedad del material de las vigas
4. Número de vigas interiores
5. Ancho total
6. Profundidad
7. Espesor de la losa

8. Dimensión horizontal del filete
9. Dimensión vertical del filete
10. Esta opción permite observar los detalles de la dimensiones ingresadas

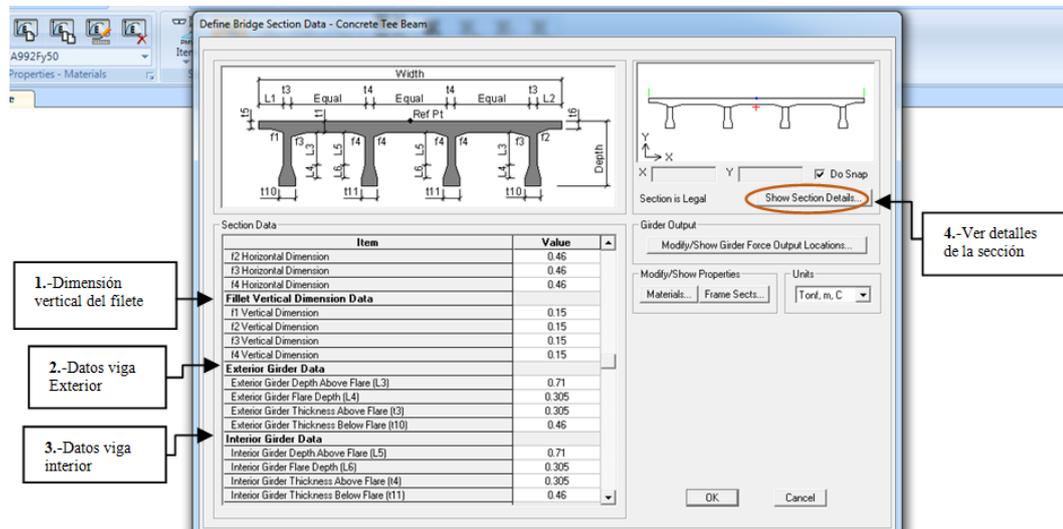


Figura 69. Dimensionamiento de las vigas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

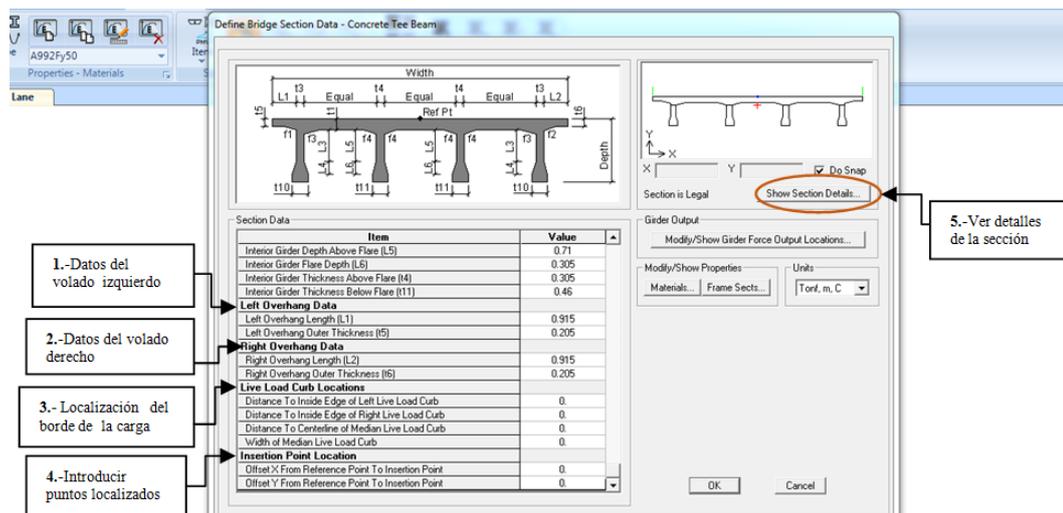


Figura 70. Dimensionamiento de los volados

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al hacer clic en **“Show section details”** se observa todas las características del puente las cuales pueden ser modificadas

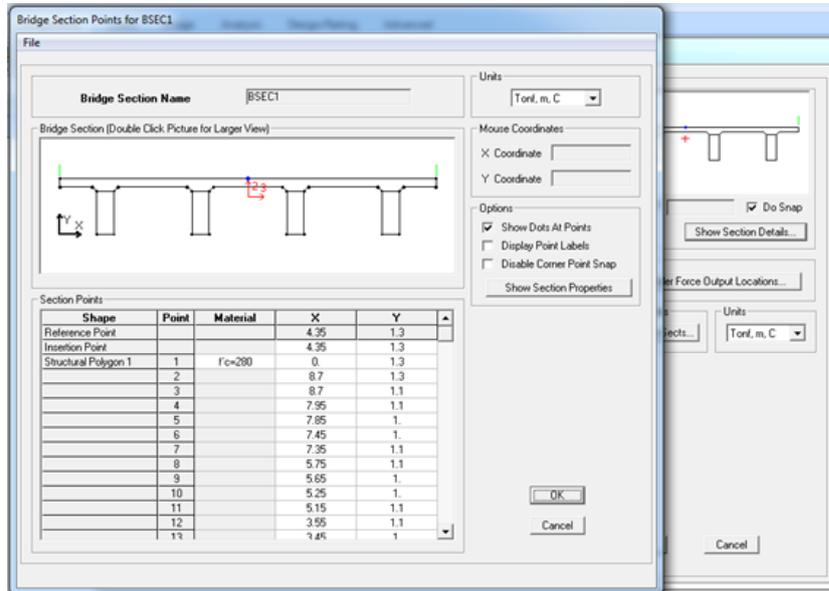


Figura 71. Detalles del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Continuar con la definición de los diafragmas hacer clic en **“Items”+“Diaphragms” + “New diaphragms”**

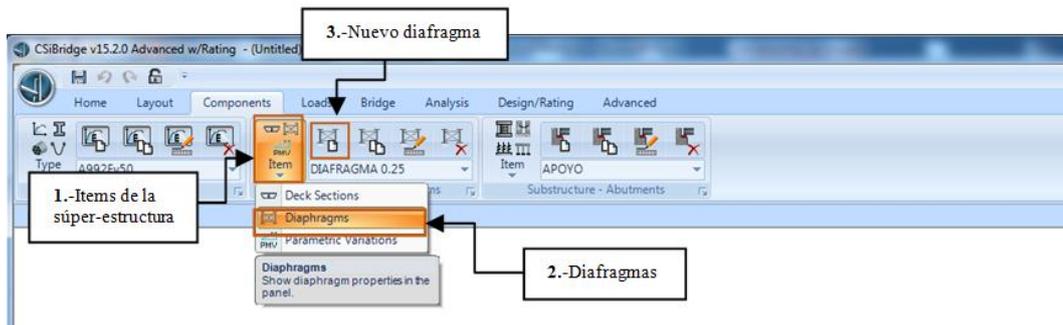


Figura 72. Ventana para definir los diafragmas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Hacer clic en “ **Items**” elegir la opción a definir
 2. Seleccionar la opción diafragmas en la cual se crea la opción para definir los mismos.
 3. Dar clic en nuevo diafragma que permita ingresar sus características
- Establecer las características del diafragma es decir su espesor y el tipo de material.

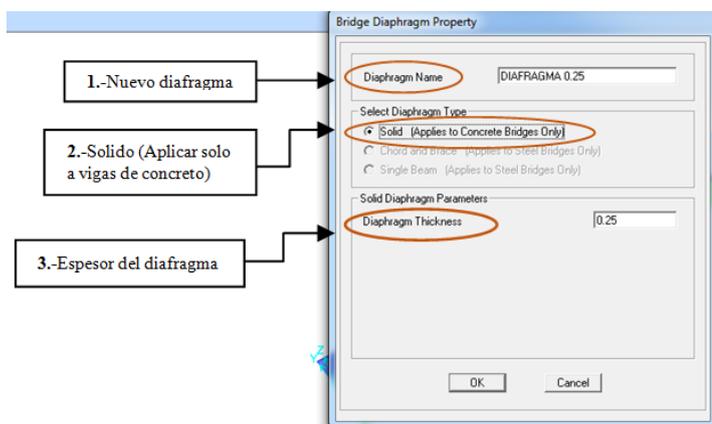


Figura 73. Características de los diafragmas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Si el puente posee una variación de forma longitudinal dar clic en “**Parametric Variations**” + “**New Parametric Variations**” de forma ordenada como se indica en la figura 74.

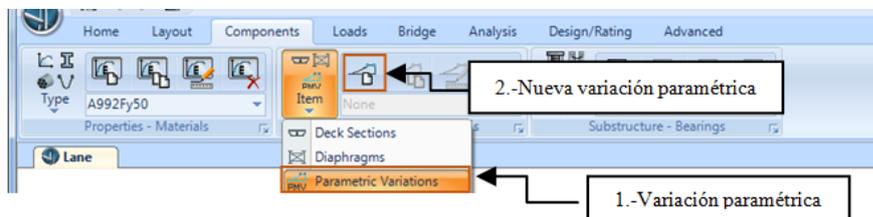


Figura 74. Ventana para definir la variación paramétrica

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La variación paramétrica parte del centro, es decir definir en la izquierda y derecha del puente.

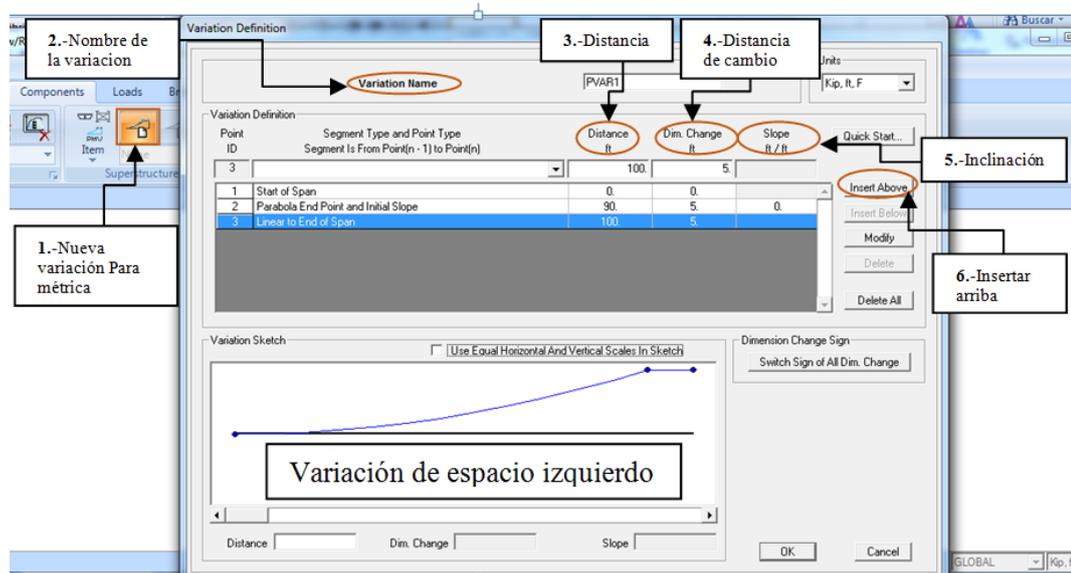


Figura 75. Dimensionamiento de la variación paramétrica izquierda

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Se inicia con dar clic la nueva variación paramétrica
2. Ir a la definición de la variación paramétrica
3. Insertar el valor de la distancia horizontal en la cual cambia la forma del puente.
4. Ingresar el valor de la distancia de cambio del margen izquierdo tomando en cuenta que parte desde el centro.
5. Valor de la inclinación de acuerdo a la forma que se desee tenga el puente.
6. Elegir a opciones de insertar arriba abajo, modificar y eliminar la variación.

- La variación paramétrica derecha se la define siguiendo el mismo procedimiento descrito en la figura 76.

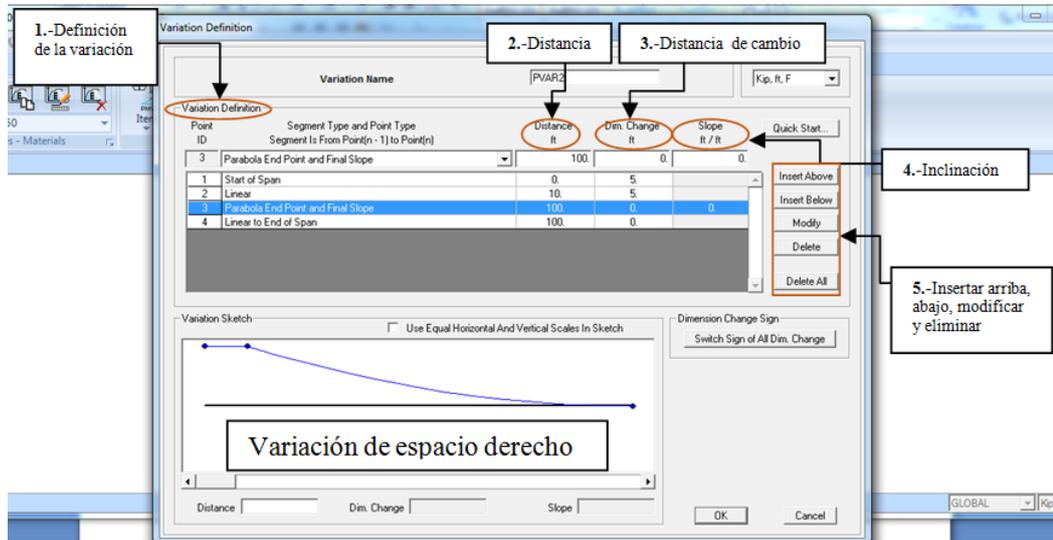


Figura 76. Dimensionamiento de la variación paramétrica derecha

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.5. Definición de la Sub-estructura

- Definir los apoyos fijo o móvil dar clic en “Items” seleccionar la opción “Bearings” + “New bearings”, en el orden indicado en la figura 77.

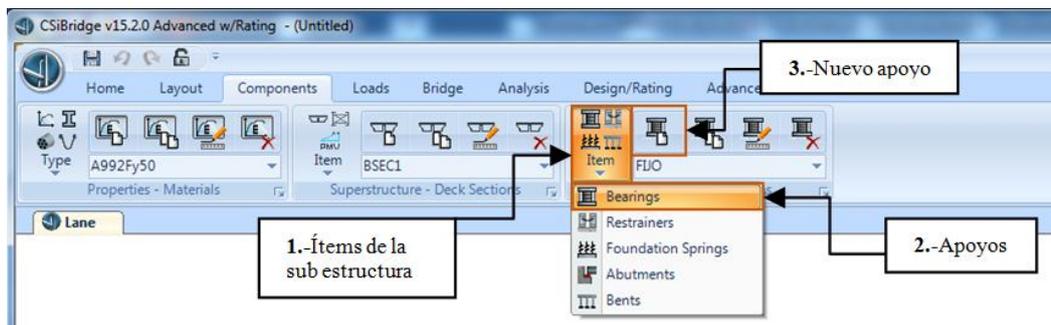


Figura 77. Crear los apoyos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Configuración del Apoyo fijo, se define fijo a todos los parámetros indicados en la figura 78, ya que restringe todas las traslaciones y rotaciones posibles.

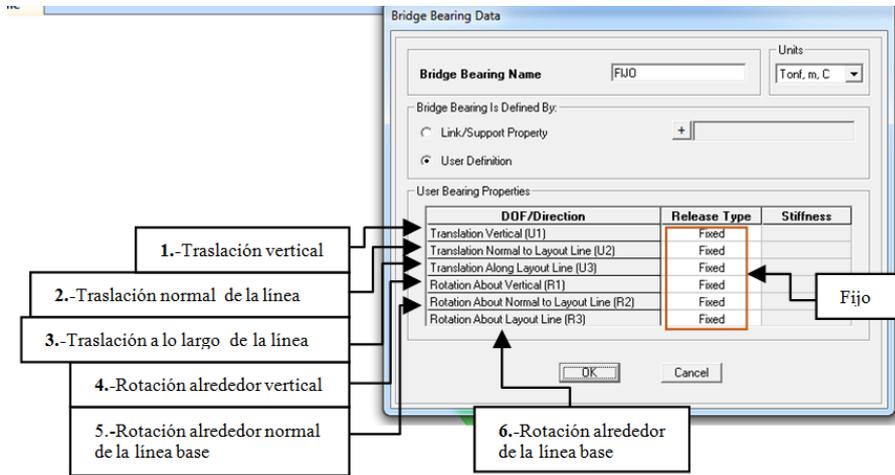


Figura 78. Configuración del apoyo Fijo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Configuración del apoyo móvil, en la cual se libera la traslación en “X” y todas las rotaciones.

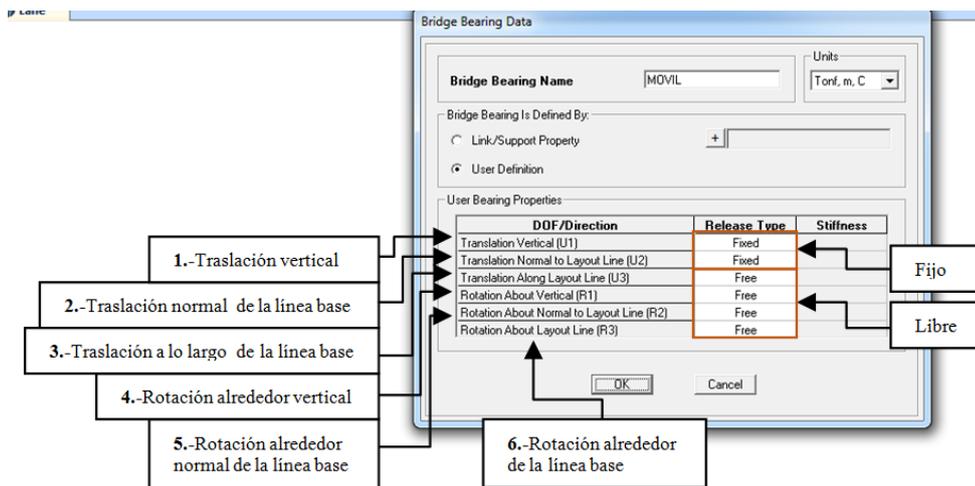


Figura 79. Definición del apoyo móvil

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Para crear un tipo de resortes de fundación o cimentación elegir la opción “**Foundation Springs**”+ “**New foundation springs**” y definir como empotrada la cimentación, es decir restringido todas las traslaciones y rotaciones.

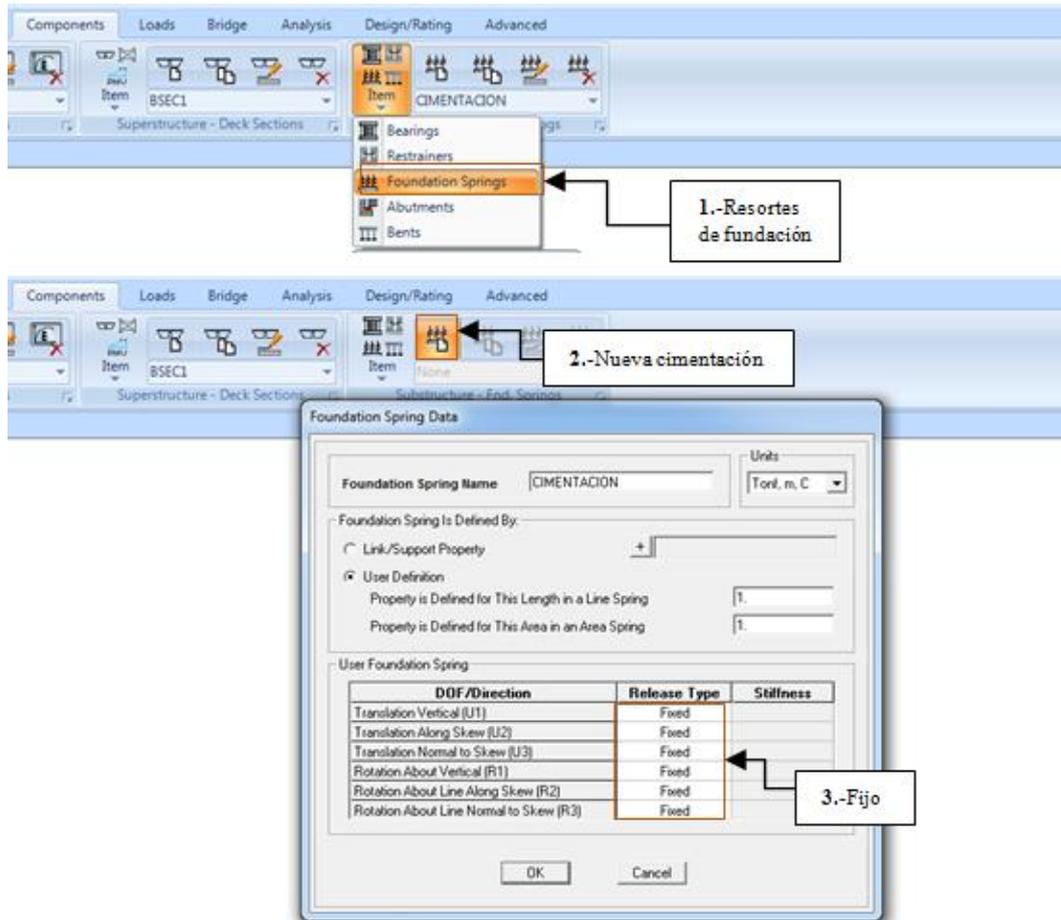


Figura 80. Definición de la cimentación

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Definición de los Estribos dar clic en “**Abunments**” + “**New Abunments**” y se elige si la estructura se asienta sobre una cimentación o una vigueta para activar la última opción se debe añadir una sección.

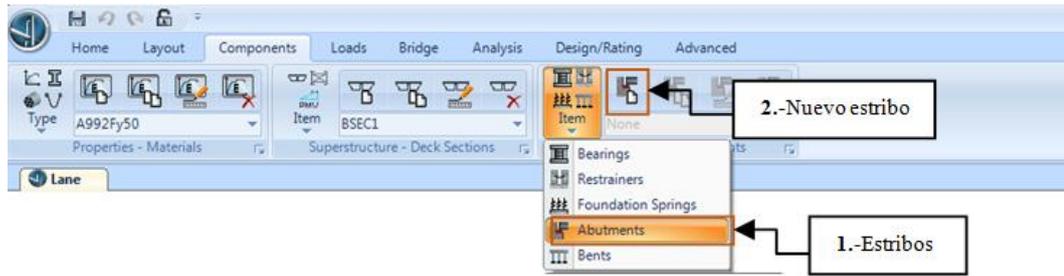


Figura 81. Elegir los estribos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

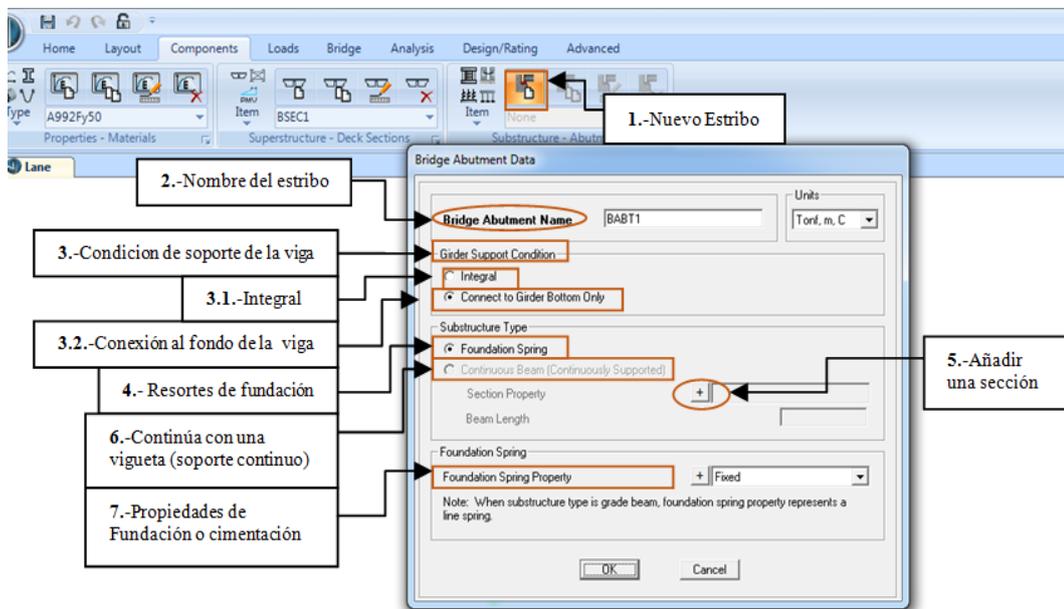


Figura 82. Definición de las características de los estribos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Hacer clic en nuevo estribo
2. En la ventana que se abre ubicar el nombre del estribo
3. Elegir la condición de soporte de la viga

- 3.1. Esta opción indica que el estribo se encuentra integrado a la viga
 - 3.2. En la siguiente opción se refiere a la presencia de una conexión al fondo de la viga
 4. Se debe seleccionar el tipo de sub-estructura con la cual se requiere modelar el puente, con resortes de fundación o con la opción siguiente.
 5. Para que se active la opción de que la viga se asienta sobre un soporte continuo primero se debe añadir una sección con sus respectivas dimensiones
 6. Luego de creada la sección 5 se activa automáticamente la opción que la viga se asiente sobre un soporte continuo o vigueta.
 7. Permite definir las propiedades de la cimentación del estribo
- Para añadir una sección hacer clic en el icono “+” ubicado en la opción 5 de la figura 83, y se abrirá la siguiente ventana en la cual se escoge añadir nueva propiedad.

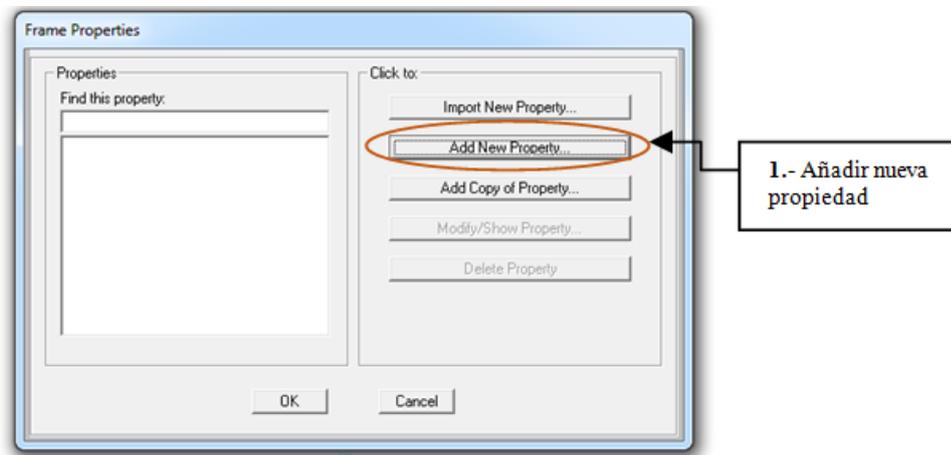


Figura 83. Añadir una nueva sección

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Elegir el tipo de material a emplear y escoger la forma de la sección que tiene la vigueta

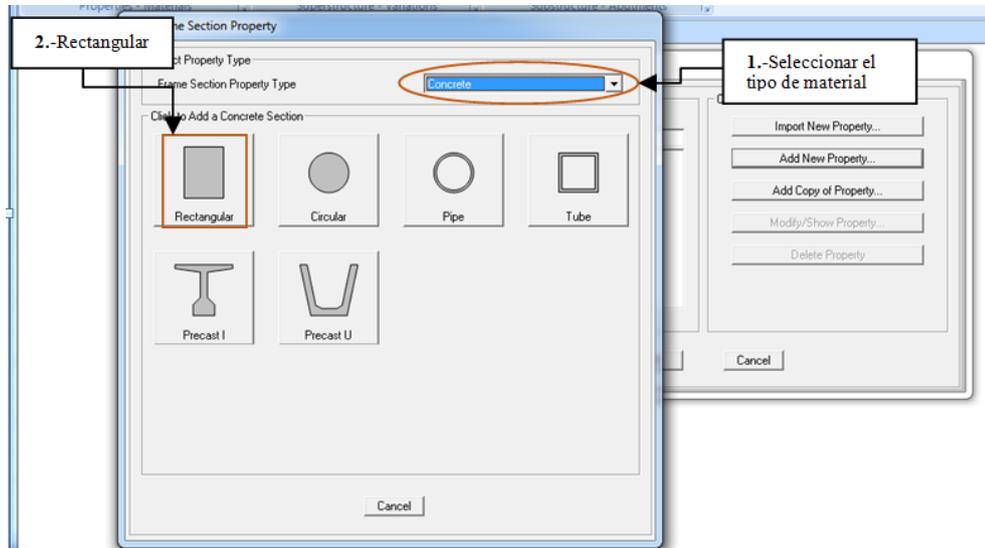


Figura 84. Selección del material

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al hacer clic en la sección se abre la ventana que se encuentra a continuación en la cual se introduce las dimensiones del elemento.

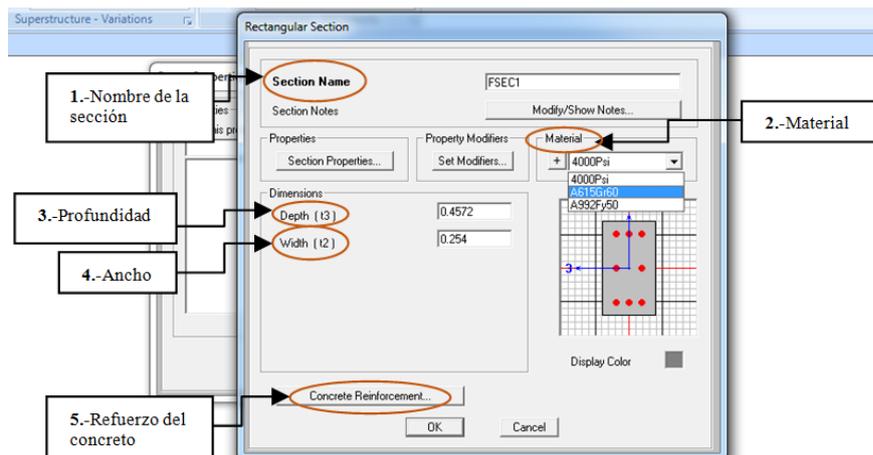


Figura 85. Dimensiones de la sección

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Colocar el nombre de la sección rectangular escogida
2. Indicar las propiedades del material que va hacer usado en la sección
3. Ingresar el valor de la profundidad de la sección
4. Introducir la dimensión del ancho. de la sección
5. Hacer clic en refuerzo de concreto para elegir si es una viga o una columna

- Al elegir la opción tipo columna se debe configurar los siguientes parámetros

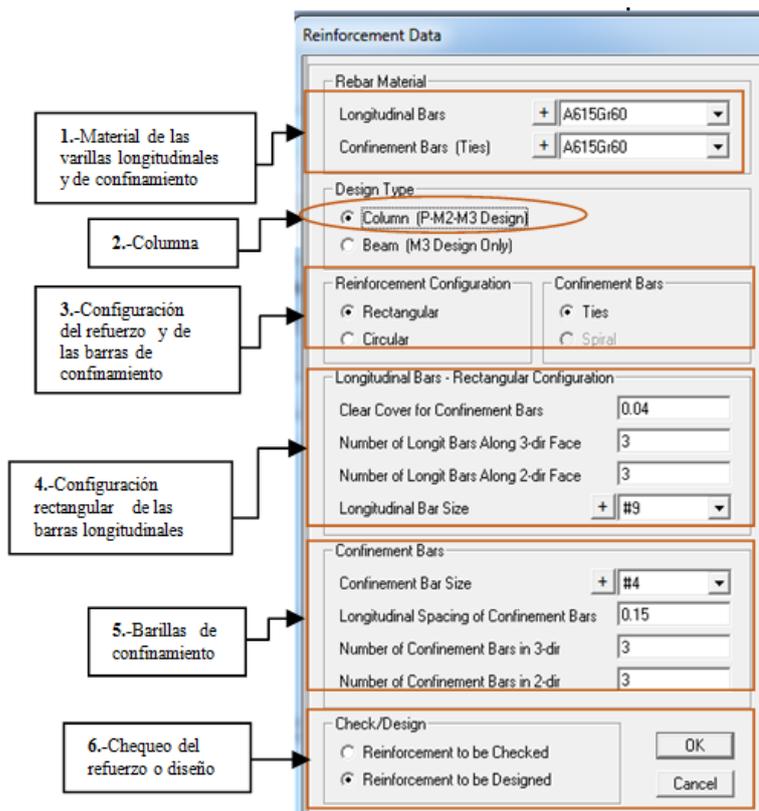


Figura 86. Características de una columna

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al seleccionar la opción viga se debe configurar los siguientes parámetros que se muestran a continuación

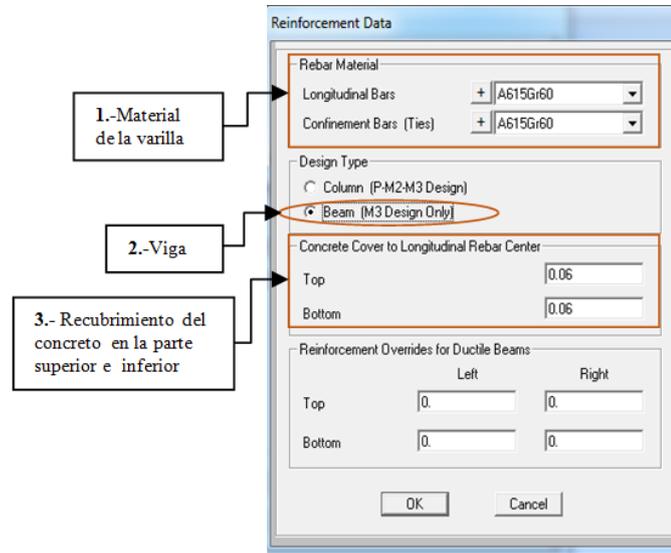


Figura 87.Características de una viga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez introducidos los datos de la sección se activa la opción “**Continuous Beam (Continuously Supported)**” y se actualizan los datos con la sección definida.

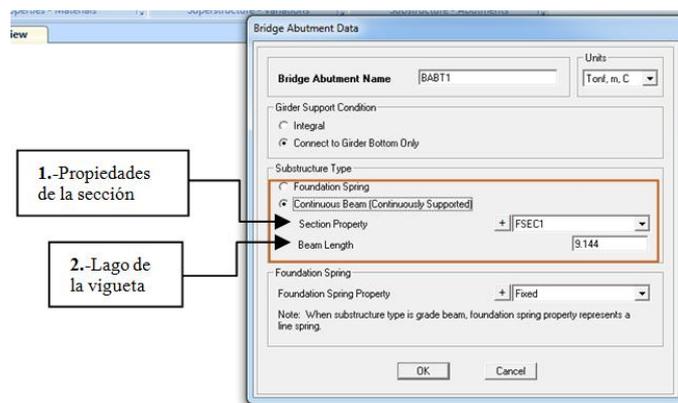


Figura 88. Configuración de los elementos del estribo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Una vez activada la opción de soporte mediante una viga continua automáticamente aparecerá el nombre de la sección anteriormente definida
2. Se debe ingresar la longitud de la vigueta continua; es decir el ancho del estribo

- Para la definición de los pilares dar clic en “Bents” + “New bents”

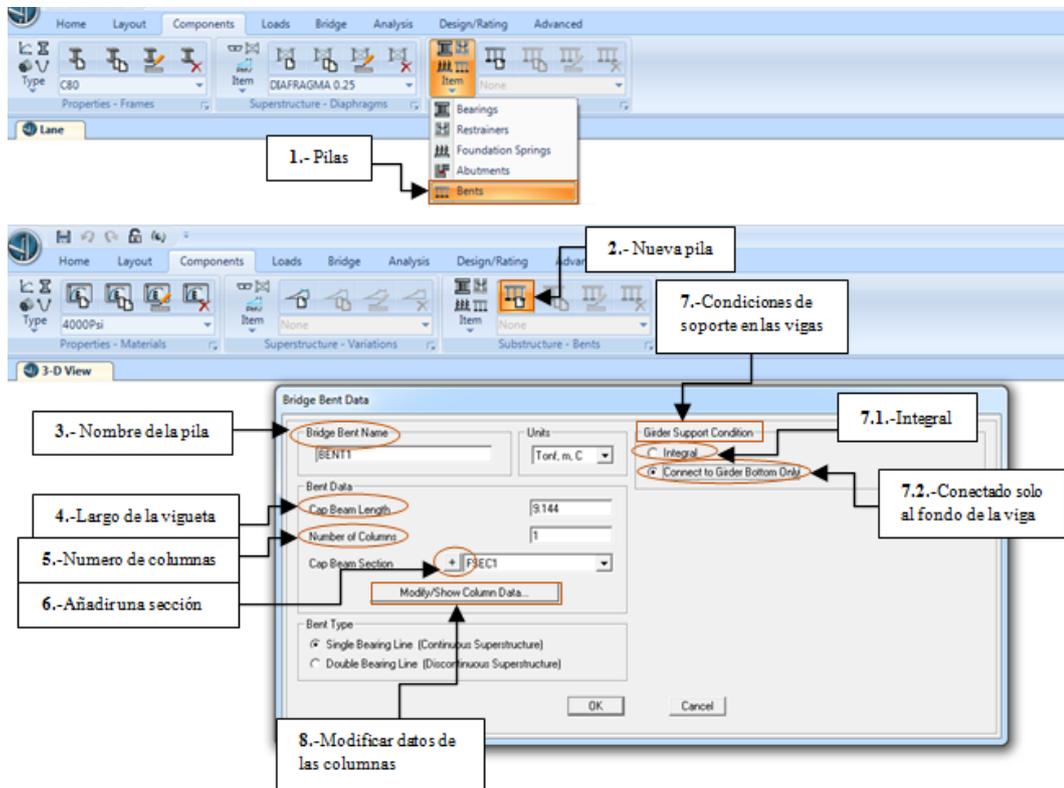


Figura 89. Definición de los pilares

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Ir al menú ítems de la sub-estructura y elegir pilas

2. Crear una nueva pila y aparecerá la ventana de la figura 89
3. Primero se inicia modificando en nombre de la pila
4. Insertar la longitud de la vigueta
5. Colocar el número de columnas que posee la pila
6. Añadir una sección para la vigueta de la pila siguiendo el mismo proceso de las figuras 83-84-85-86-87.
7. Elegir las condiciones de soporte en las vigas
 - 7.1. Trabajar de forma integral la viga con la pila
 - 7.2. Encontrarse conectada la pila solo al fondo de la viga
8. Modificar los datos de las columnas

- Para modificar los datos de las columnas hacer clic sobre tal opción y aparecerá la ventana que se muestra en la figura 90.

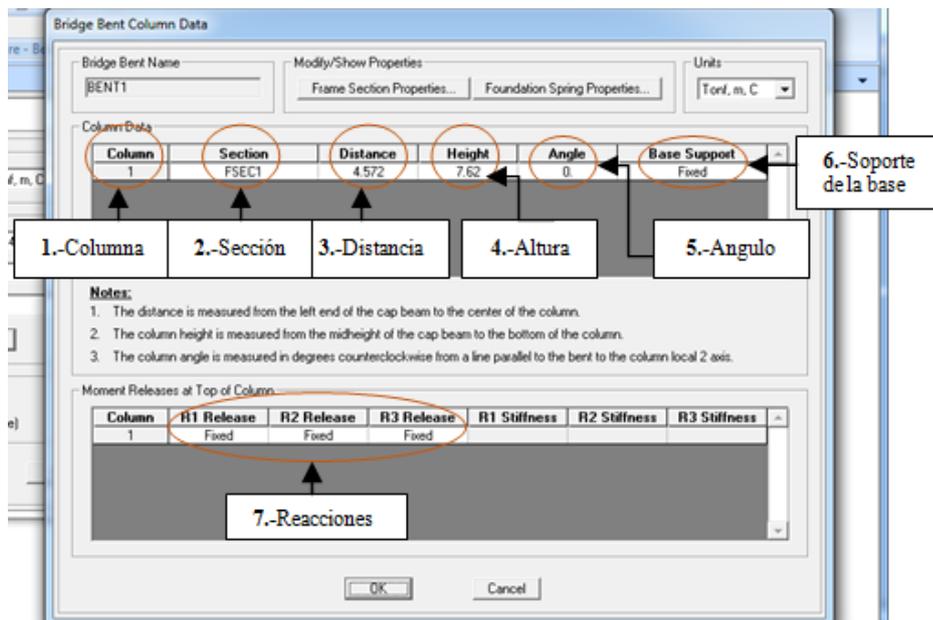


Figura 90. Modificar las pilas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Se elige la columna a modificar
2. Ubicar la sección creada para las columnas
3. Ingresar la distancia a la que se encuentra cada una de las columnas en todo el ancho del puente.
4. Insertar la altura de las columnas que conforman la pila
5. Ingresar el valor del ángulo de la columna seleccionada
6. Definir la condición en la que se encuentra el soporte de la base ya sea fijo o libre
7. Ubicar las condiciones en la que se encuentra cada una de las reacciones

7.6.2.1.1.6. Definir el patrón de cargas

- Ir al menú “**Loads**” elegir el icono de “**Load Patterns**” y añadir las cargas a emplear en el puente.

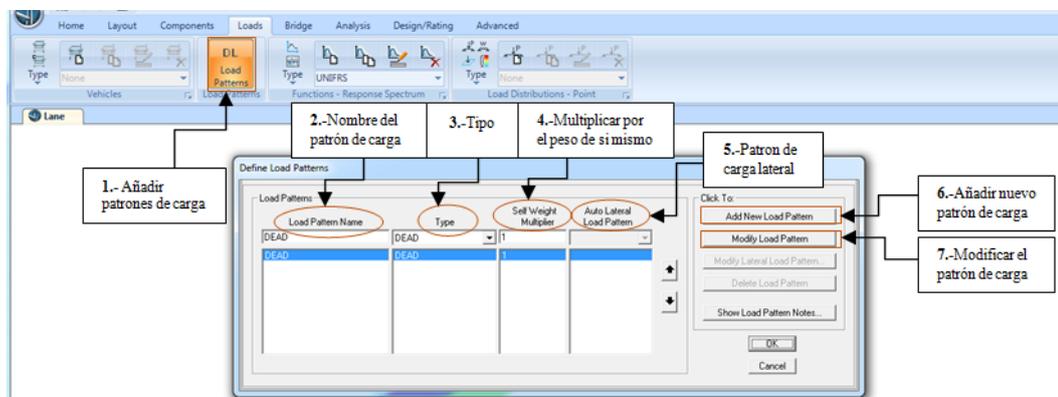


Figura 91. Crear los patrones de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Hacer clic en añadir un nuevo patrón de carga
2. Colocar el nombre del patrón de carga

3. Elegir el tipo de carga que va a ser aplicada, por ejemplo la carga muerta (DEAD), viva peatonal (PEDESTRIAN LL), carpeta asfáltica (WEARING SURFACE), etc.
4. Permite definir si la carga es multiplicada por sí mismo, con un valor de 1 y 0 para las cargas que no se aplique el peso propio
5. Este patrón de carga se emplea cuando se aplica cargas laterales o de sismo.
6. Permite añadir un nuevo patrón de carga
7. Concede modificar los patrones de carga creados

7.6.2.1.1.7. Definir el vehículo de diseño

- Para definir un vehículo de diseño dar clic en “Type” + “Vehicles” + “New Vehicle” y aparecerán las siguientes ventanas en las cuales se elige el vehículo tipo que transitará por el puente.

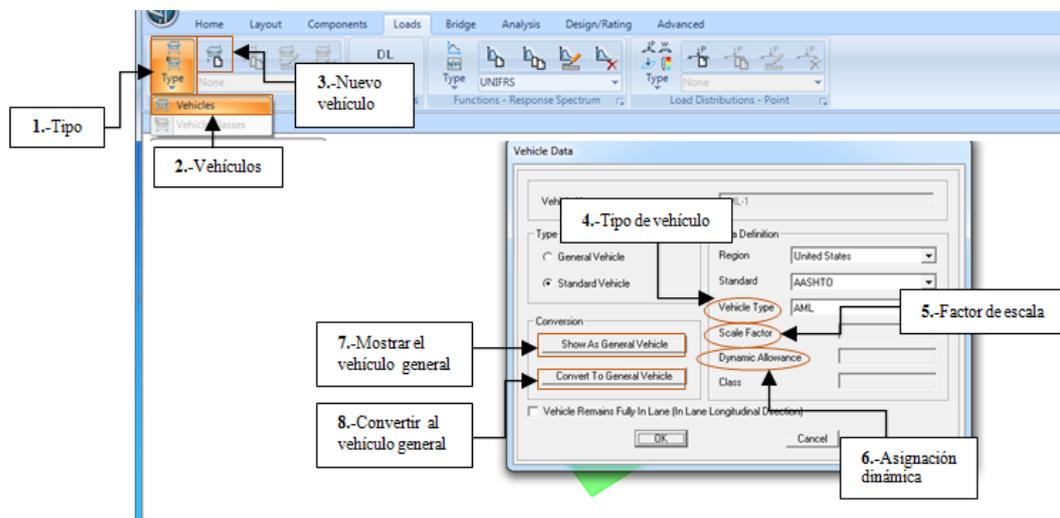


Figura 92. Selección del vehículo de diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Ir al menú tipo
 2. Hacer clic en la opción vehículos
 3. Se activa la opción de nuevo vehículo
 4. Elegir el tipo de vehículo que circulará sobre el puente
 5. Se crea automáticamente el factor de escala el cual también se le puede modificar
 6. También permite ingresar el valor de la carga dinámica
 7. Esta opción permite observar las características del vehículo tipo
 8. Permite modificar, añadir, insertar y eliminar las características del vehículo elegido
- Al seleccionar la opción de convertir al vehículo en general se abre la siguiente ventana en la cual se puede visualizar y modificar las características del vehículo tipo.

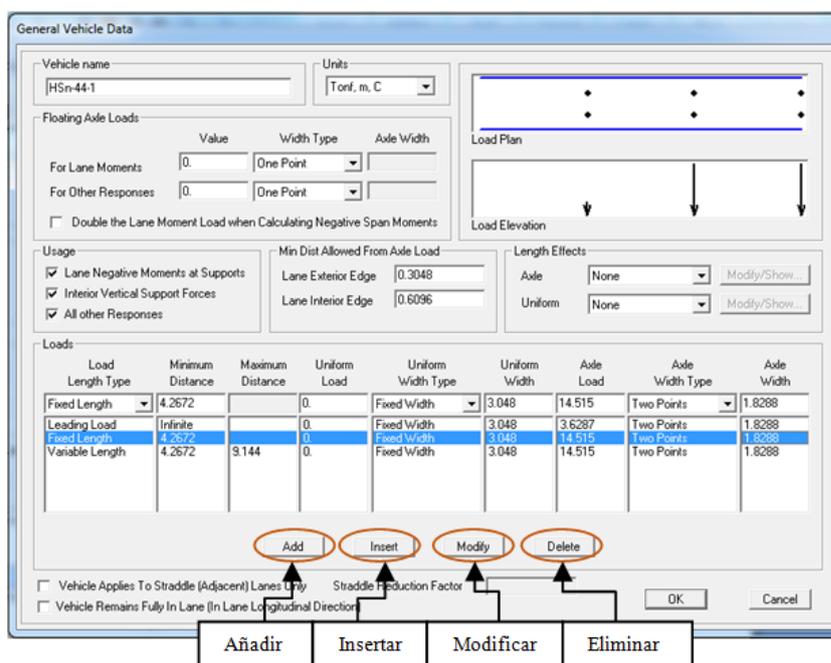


Figura 93. Selección del vehículo de diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego vamos a crear la clase de vehículos y seleccionamos los vehículos anteriormente ingresados dando clic en **“Vehicle Classes”**.

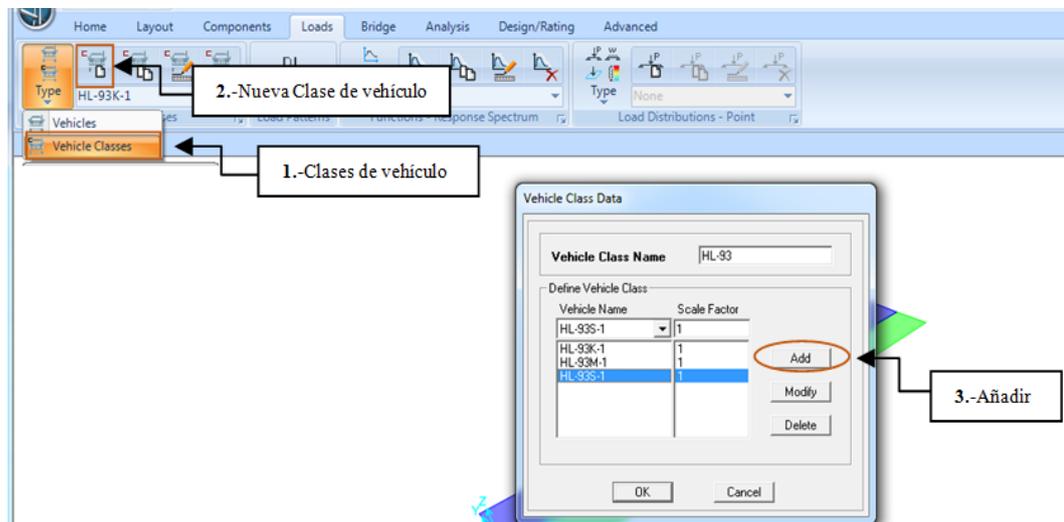


Figura 94. Crear la clase de vehículos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Ir al menú tipo y elegir la opción de clase de vehículo
2. Hacer clic en nueva de clase de vehículo
3. Es crear una clase de vehículos que abarca a todos aquellos que circularan a través del puente y que han sido definidos anteriormente.

7.6.2.1.1.8. Definición de las cargas aplicadas sobre el puente

- Hacer clic en **“Type”** seleccionar la carga que será aplicada sobre el puente

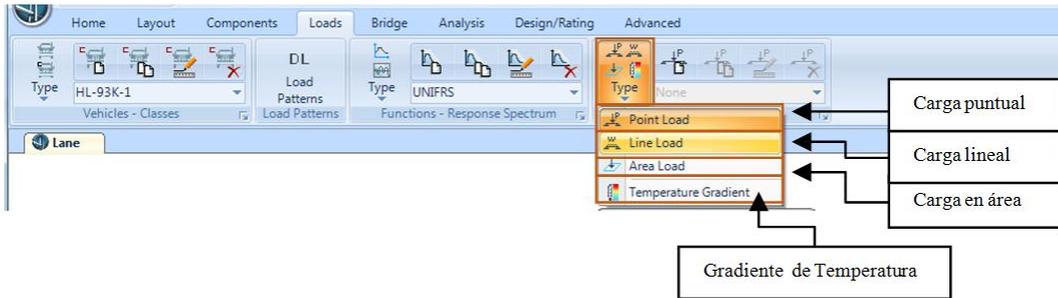


Figura 95. Seleccionar las cargas del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Ejemplo definición de una carga lineal seleccionar **“Line Load”** en la figura 59 y elegir **“New Line Load”**, en donde se abre la siguiente ventana que permite configurar los parámetros de la carga lineal

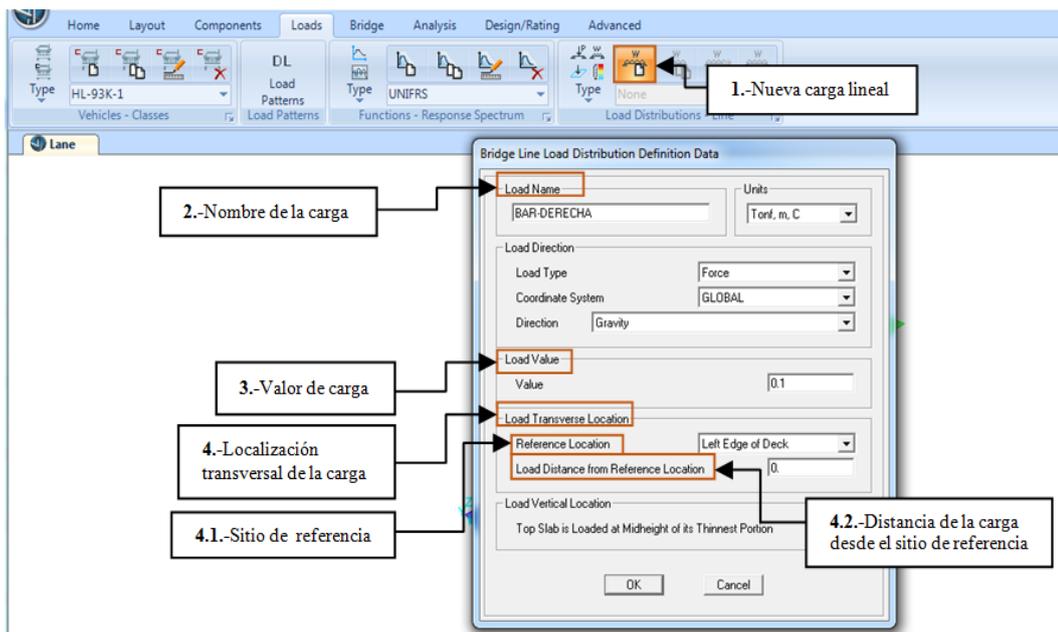


Figura 96. Configuración de la carga lineal

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Dar clic en la nueva carga lineal
 2. Escribir el nombre con el que se identifica la carga lineal
 3. Ingresar el valor de la carga de acuerdo a las unidades que se emplean
 4. Elegir la localización transversal de la carga
 - 4.1. Identificar el sitio de referencia de la carga ya sea el margen derecho o izquierdo del puente
 - 4.2. Ingresar la distancia de la carga desde el sitio de referencia.
- Definición de una carga distribuida que genere esfuerzos sobre el puente; dar clic en “Area Load” + “New Area Load” y se llena los valores en la ventana que aparece a continuación.

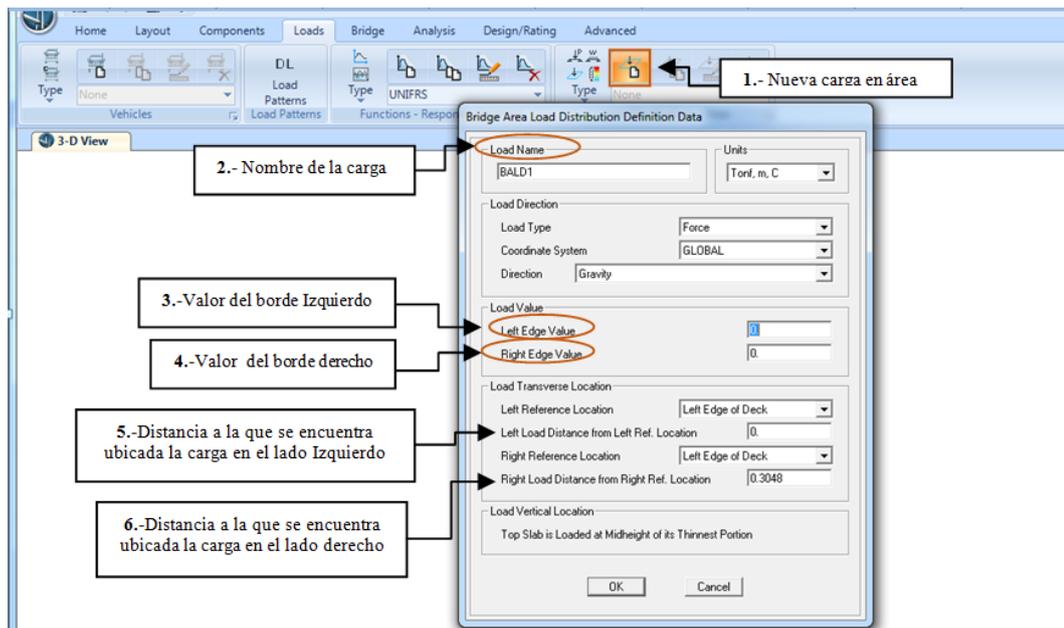


Figura 97. Configuración de la carga en área

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Hacer clic en nueva carga en área
2. Colocar le nombre de la carga

3. Ingresar el valor de la carga en el borde izquierdo
4. Ingresar el valor de la carga en el margen derecho
5. Ingresar el valor de la distancia izquierda que tiene la carga en área
6. Ingresar el valor de la distancia a la que se encuentra ubicada la carga en aérea a la derecha

7.6.2.1.1.9. Definición del Objeto Puente

- Definir todos los parámetros del puente en el icono “New Bridge Object” donde se puede configurar las propiedades de los elementos, soportes, refuerzo de las vigas, entre otros.

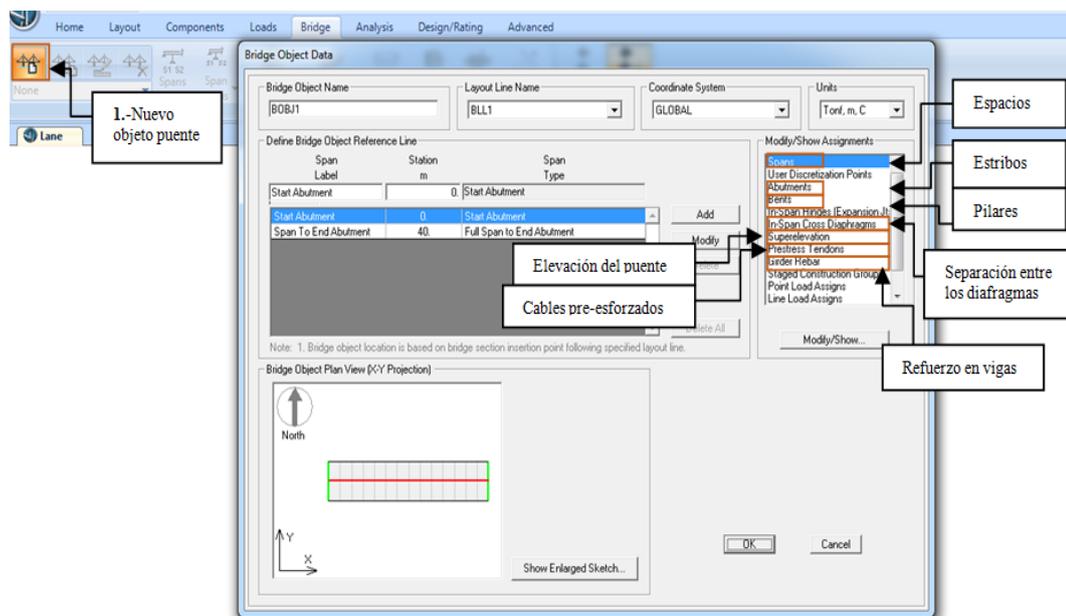


Figura 98. Ventana inicial del objeto puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- a. Hacer clic en “Span” permite definir si hay un cambio de sección entre dos o más tramos o una variación paramétrica

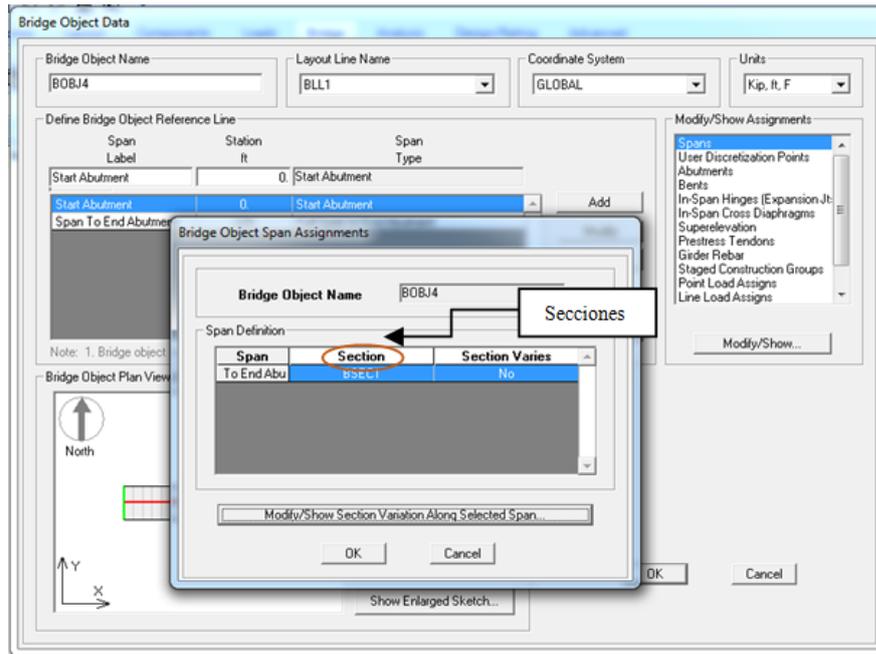


Figura 99. Definición de los tramos del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- b. Dar clic en “Abunments” define las propiedades de los estribos del inicio y del final

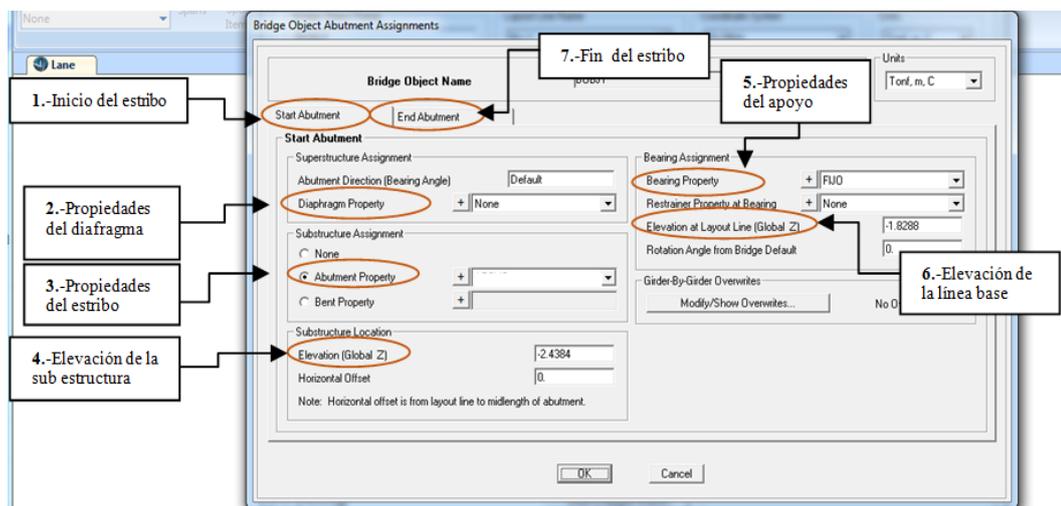


Figura 100. Definir las características de los estribos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Ir al estribo del inicio del puente
2. Definir si en el estribo del inicio se encuentra un diafragma
3. Elegir la sección que se a creado del estribo
4. Ingresar la altura descendente desde la línea base hasta la ubicación del estribo por lo general se adopta la altura total de la viga más el espesor de la losa y más cinco centímetros adicionales por el apoyo.
5. Determinar las propiedades del apoyo
6. Elevación descendente desde la línea base hasta la ubicación del apoyo
7. En esta opción se configura el estribo ubicado al fin del puente con los mismos cambios anteriormente descritos

c. Dar clic en “**Bents**” define las propiedades y secciones de la pila

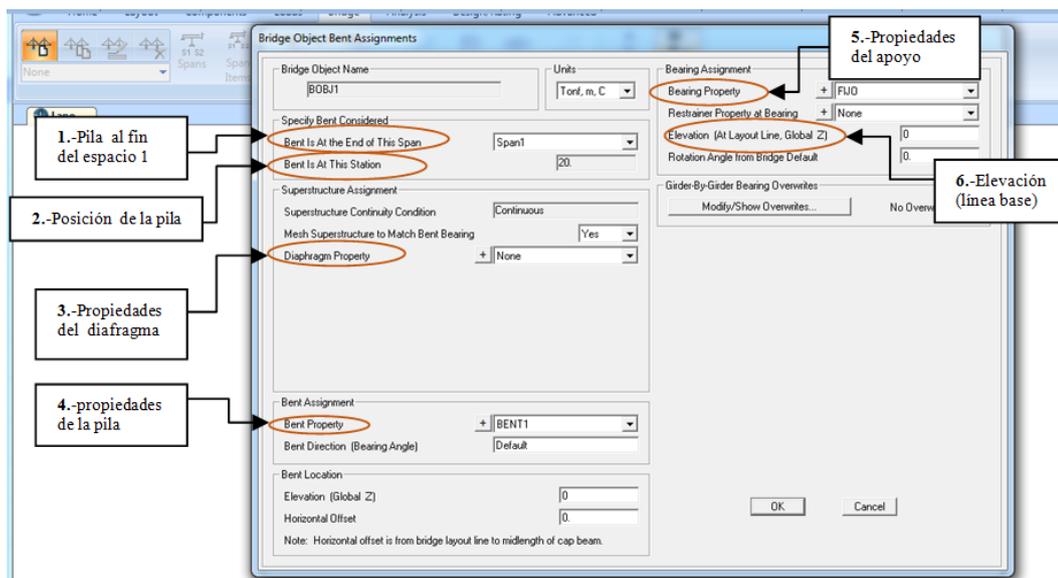


Figura 101. Definir las características de la pila

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Ingresar la ubicación de la pila esta puede ser después del tramo uno o dos, etc.
2. Indicar la posición a la que se encuentra la pila
3. Determinar si se encuentra un diafragma en el recto de la pila
4. Elegir la sección creada para la pila con sus respectivas propiedades
5. Definir las propiedades del apoyo
6. Indicar la ubicación descendente a la que se encuentra el apoyo de la pila desde la línea base del puente.

- d. Dar clic en **“In Span Cross-Diaphragm”** definir la separación de los diafragmas y hacer clic en **“Add”** o añadir tomado en cuenta que deben ser colocados a una distancia con respecto al inicio de cada tramo estos pueden ser de hormigón o metálicos.

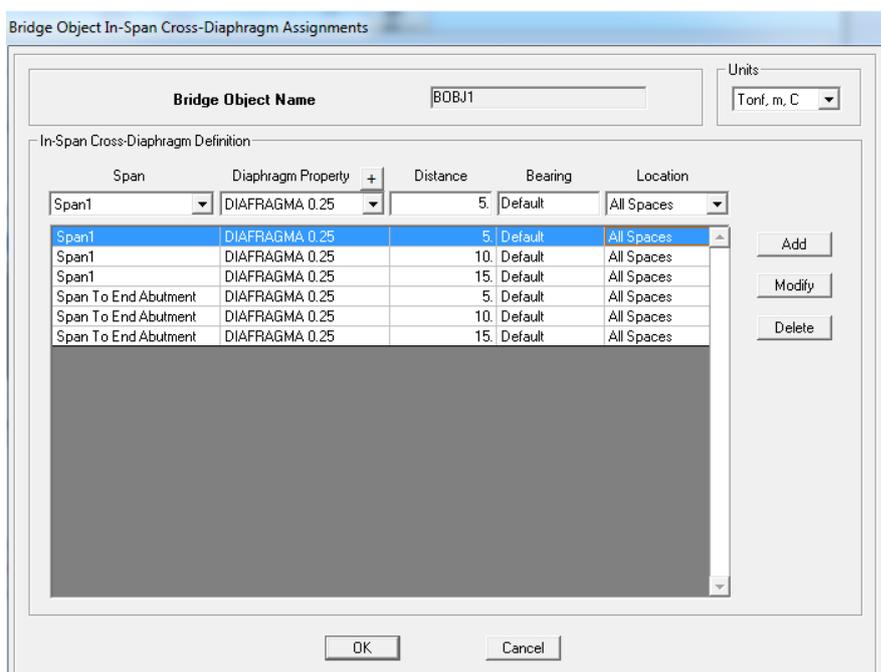


Figura 102. Espaciamiento de los diafragmas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- e. Dar clic en “Superelevation” para ingresar la elevación constante en porcentaje del Puente con respecto a su eje transversal

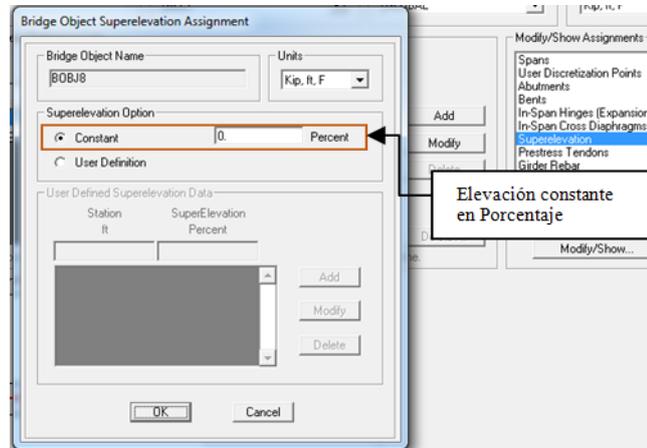


Figura 103. Elevación del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- f. Dar clic en “Girder Rebar” permite definir el refuerzo longitudinal y transversal por cada viga.

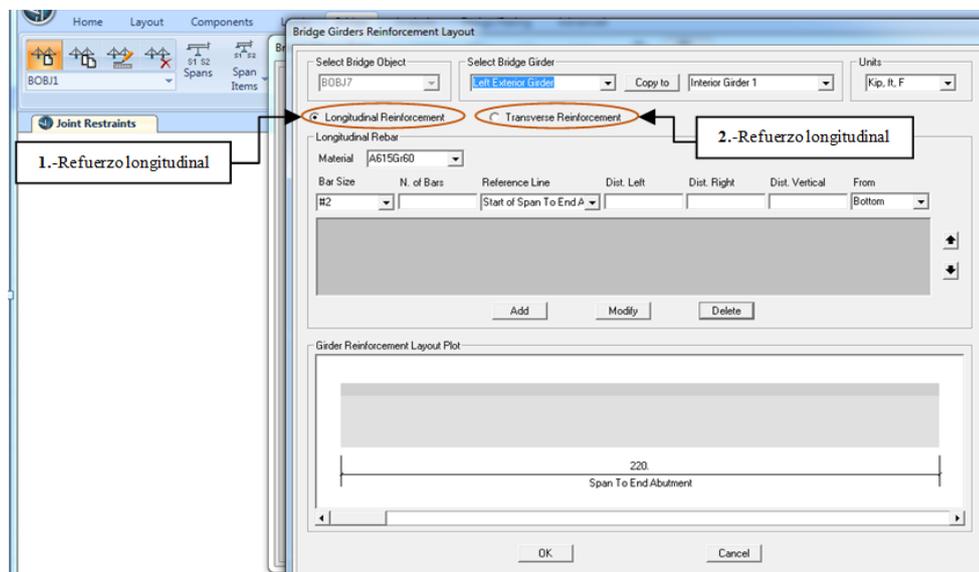


Figura 104. Configuración del refuerzo longitudinal y transversal

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.10. Actualizar el modelo estructural

- Una vez definido los parámetros del puente seleccionar la siguiente opción **“Update”** y seleccionar **“Update as Area Object Model”**.

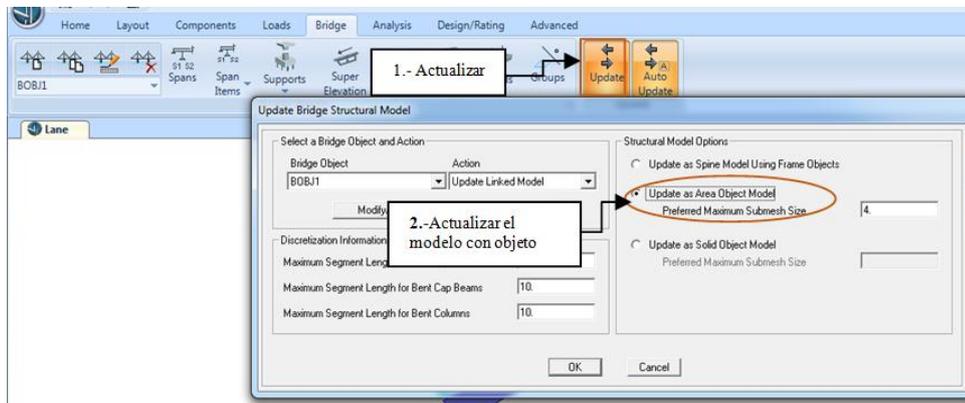


Figura 105. Definir las opciones del modelo estructural

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.11. Designación de la variación paramétrica

- Si anteriormente se estableció una variación paramétrica es necesario designarlas en cada uno de los espacios del puente, para ello dar clic en el icono **“Spans”** y dar doble clic en **“Section Varies”**.

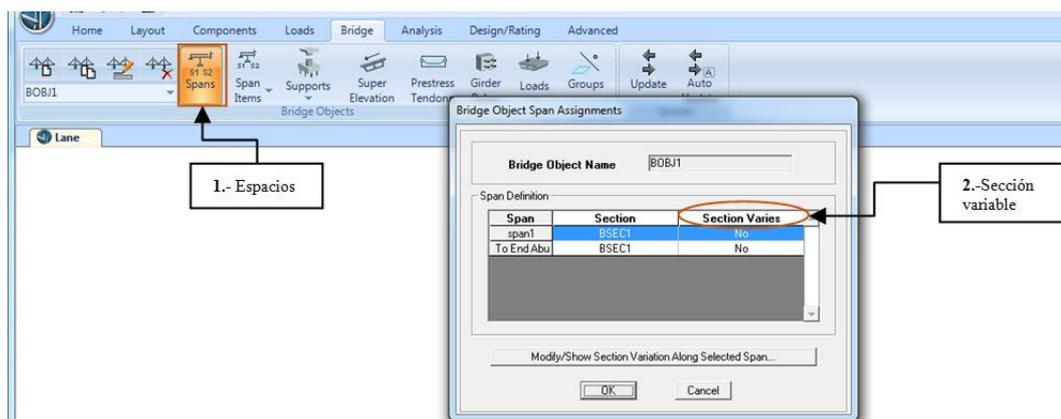


Figura 106. Configuración en los tramos del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la ventana que se muestra a continuación seleccionar la opción “Total Depth” y elegir las variaciones creadas de acuerdo a los tramos del puente.

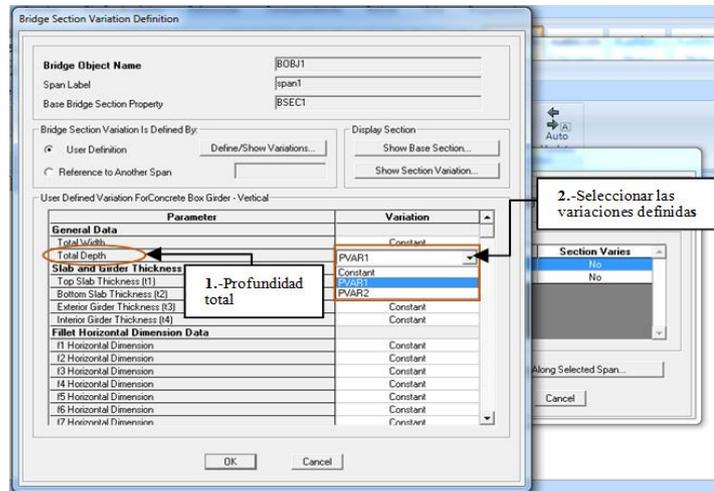


Figura 107. Definición de la variación parametrica en toda la profundidad

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.12. Visualizar las características del puente

- Para poder visualizar las características del puente ir al menú “Home” + “View” y seleccionar la opción “Extrude View”+ “Apply all Windows” + “Ok”, según el orden mostrado en la figura 108.

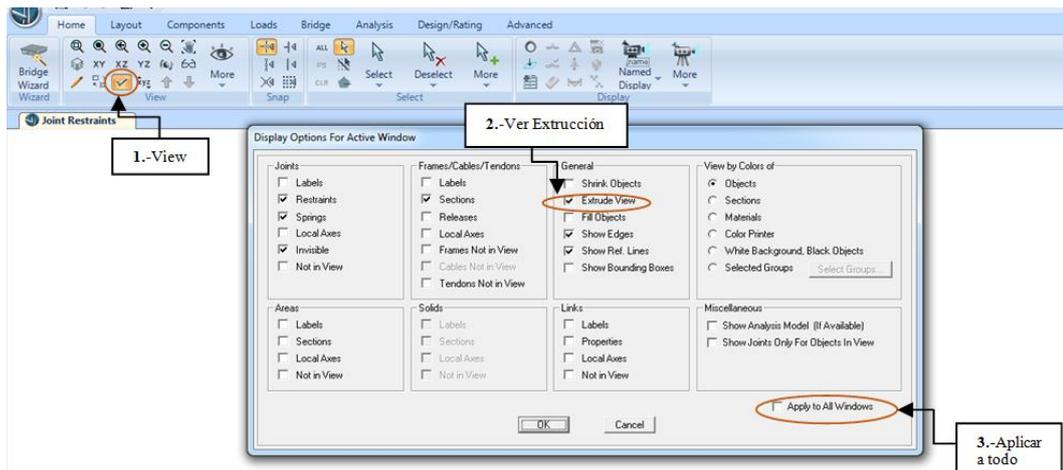


Figura 108. Ver las secciones definidas en el puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.13. Asignación carga móvil

- Asignar una carga vehicular al puente, ir al menú “Analysis” dar clic en la opción “Type” y elegir la carga “Moving Load”

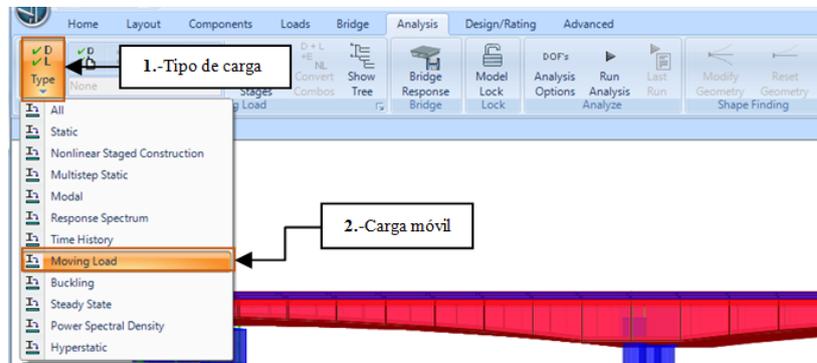


Figura 109. Ubicación de la carga móvil

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente ventana configurar la carga de los vehiculos tipo de acuerdo al orden indicado.

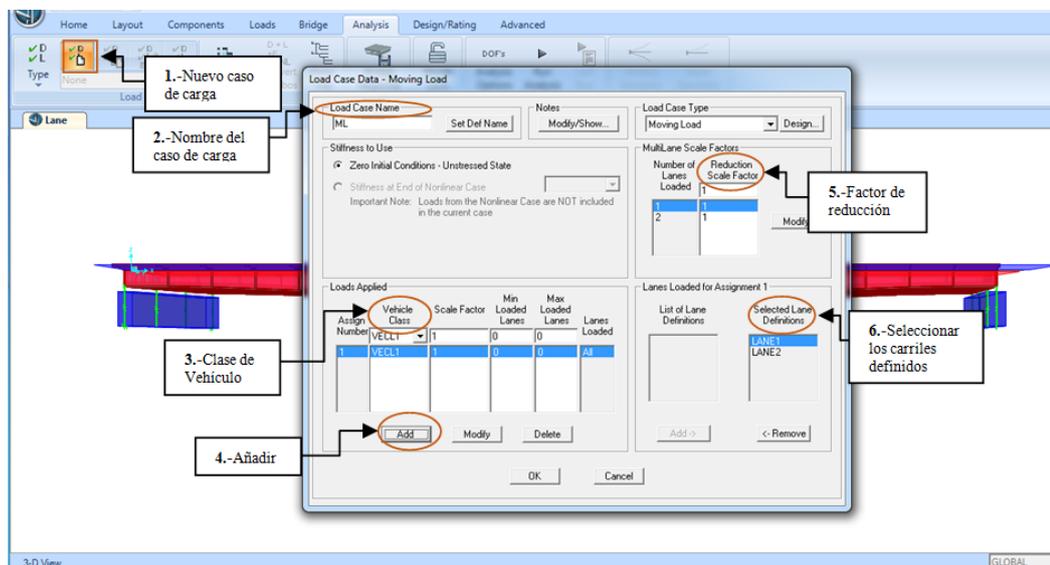


Figura 110. Asignación de la carga móvil

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Dar clic en nuevo caso de carga
2. Darle un nombre al caso de carga
3. Elegir la clase de vehículo creado
4. Añadir la clase de vehículo
5. Ingresar el factor de reducción de acuerdo con el número de carriles que se encuentra especificado en la tabla 4 Factores por presencia múltiple de sobrecargas.
6. Seleccionar todos los carriles definidos ya que sobre ellos se aplicaran los vehículos tipo creados anteriormente.

7.6.2.1.1.14. Definición de las combinaciones de carga

- Definir las combinaciones de carga, dar clic en “**Desing/Rating**” y hacer clic en el icono señalado para añadir un combo + “**Add New Combo**”, añadir los casos de carga con sus respectivos factores.

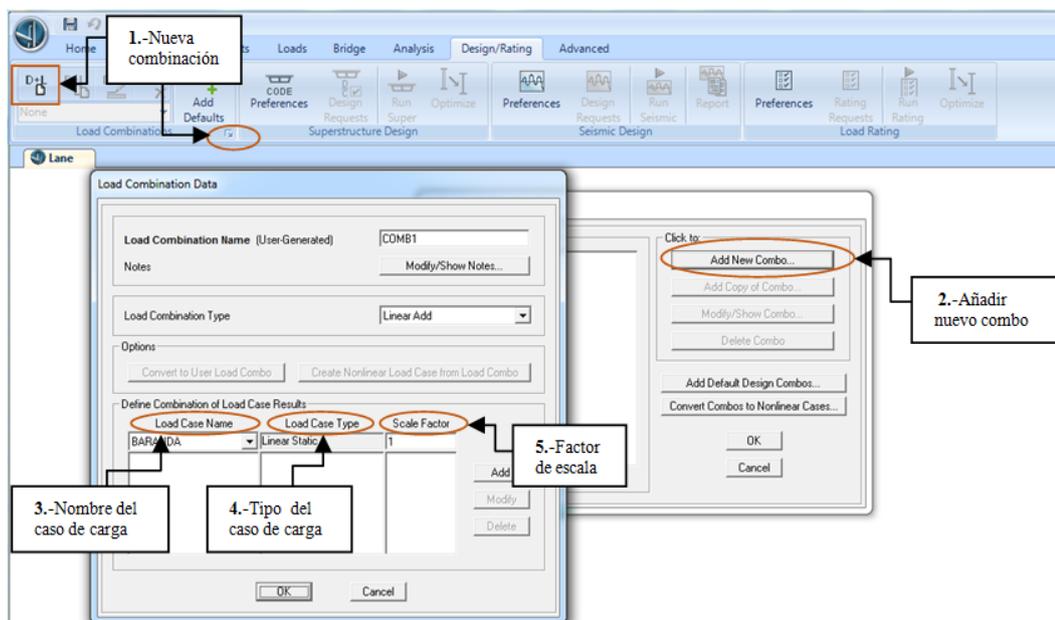


Figura 111. Asignación de las combinaciones de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Hacer clic en nueva combinación de carga
 2. Añadir un nuevo combo de diseño
 3. Elegir todos los casos de carga que intervienen en el combo de carga
 4. Indicar el tipo de caso de carga
 5. Colocar el factor de escala por cada caso de carga a emplear en la combinación, una vez creados todos los parámetros añadir al combo
- Crear automáticamente los combos de carga dar clic en “Add Defaults” y aparecerá la siguiente ventana donde se debe seleccionar “Bridge Desing”, se pueden observar los combos establecidos por el programa los cuales pueden ser modificados copiados y borrados.

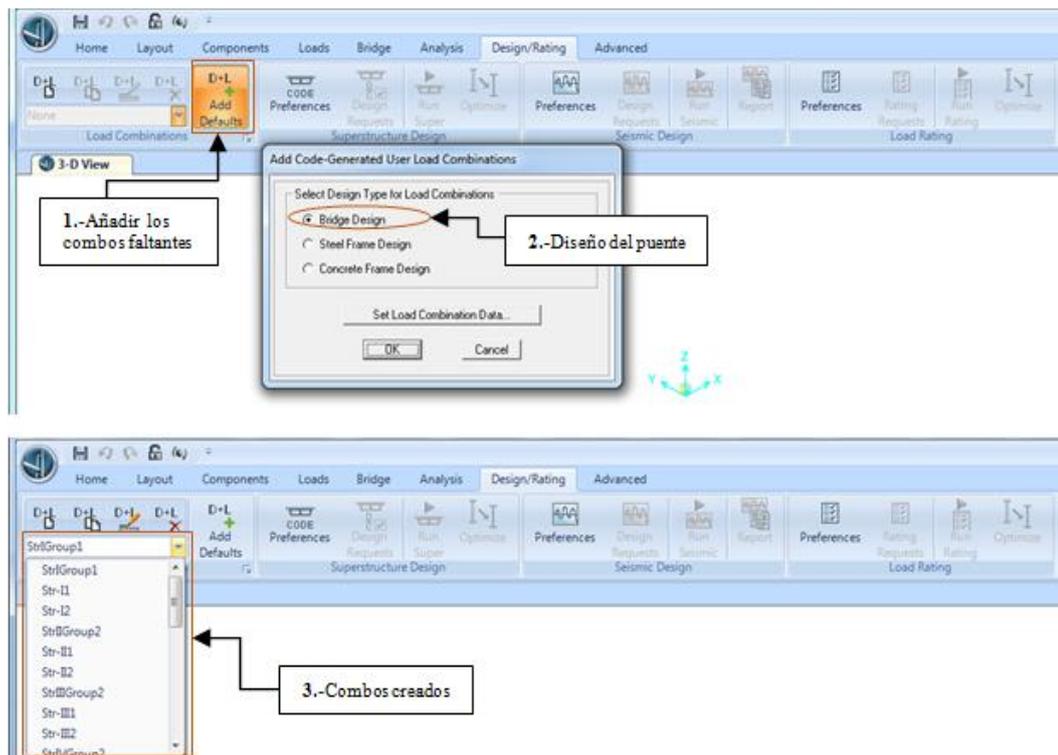


Figura 112. Crear combos automáticamente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.15. Llenar los objetos del puente

- Para llenar los objetos ir al menú “Home”, dar clic en “Display Options” y elegir la opción “Fill Objects”.

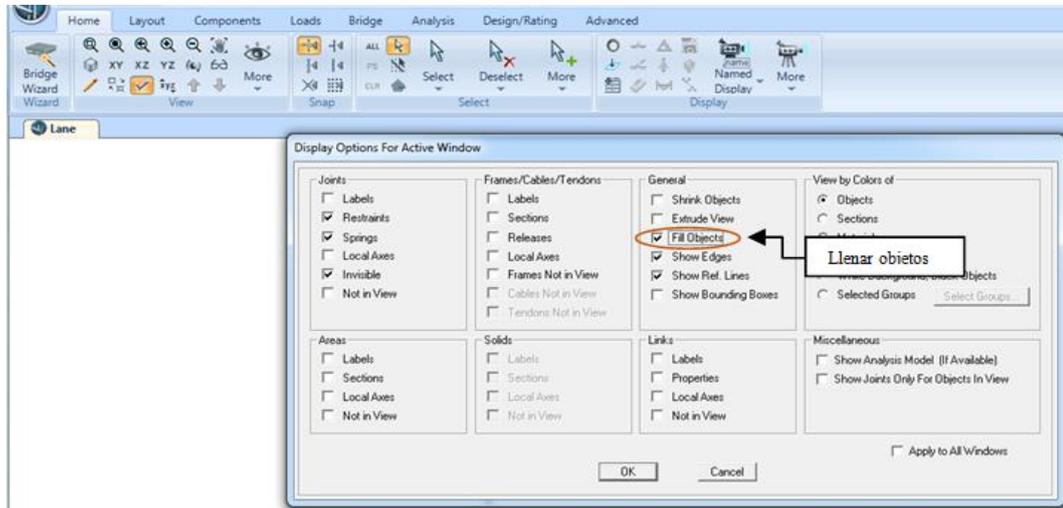


Figura 113. Ventana para llenar los objetos del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.16. Observar las cargas que se aplican sobre el puente

- Visualizar las cargas que se aplican sobre el puente, ir al menú “Bridge” dar clic en “Loads” y elegir los tipos de carga designadas anteriormente, estas deben ser aplicadas en toda la longitud del puente.

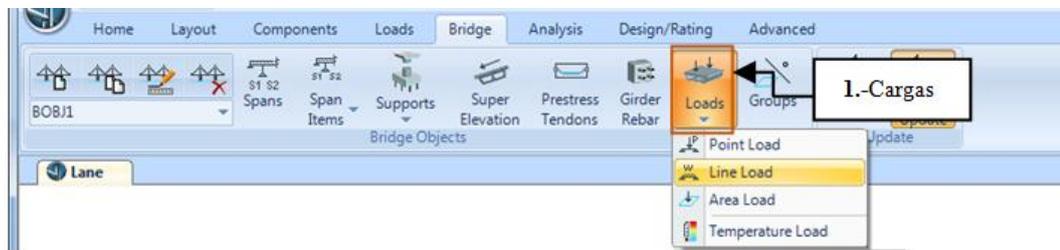


Figura 114. Seleccionar la carga asignada

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Escogemos las cargas antes definidas como ejemplo elegir la carga lineal y añadir al puente.

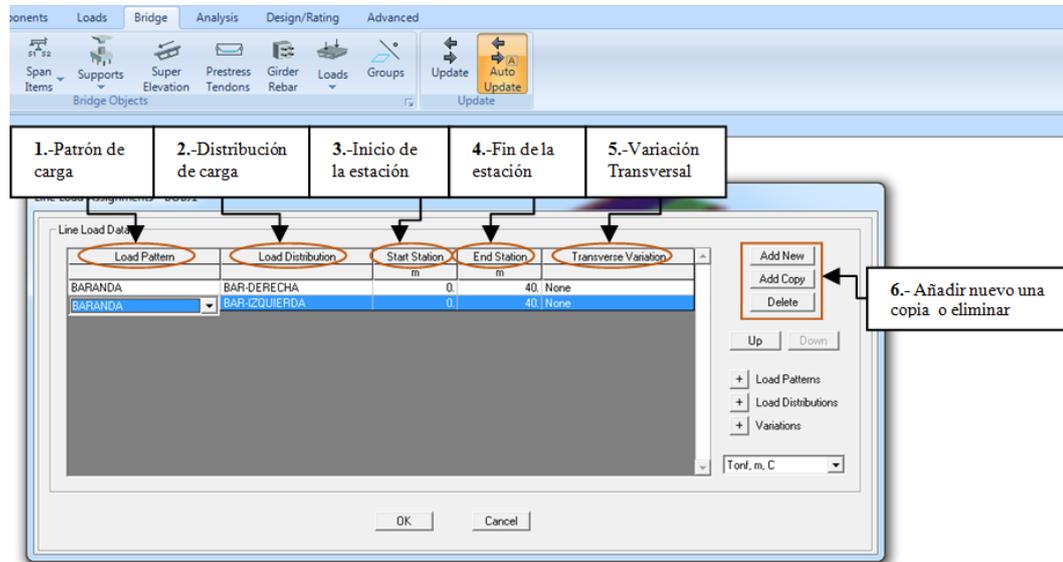


Figura 115. Selección de las cargas lineales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. En la siguiente ventana se debe elegir el patrón de carga definido anteriormente
 2. Elegir la distribución de la carga
 3. Ingresar el valor donde inicia la carga
 4. Insertar el valor donde finaliza la carga
 5. Indicar si existe una variación transversal
 6. Añadir cada una de las cargas mediante las opciones de añadir nuevo, una nueva copia o eliminar y existe un error.
- Luego ir al menú “**Home**” + “**Display**” escoger la opción “**Show Bridge Loads**”, elegir el patrón de carga que se desea visualizar dar “**Ok**”.

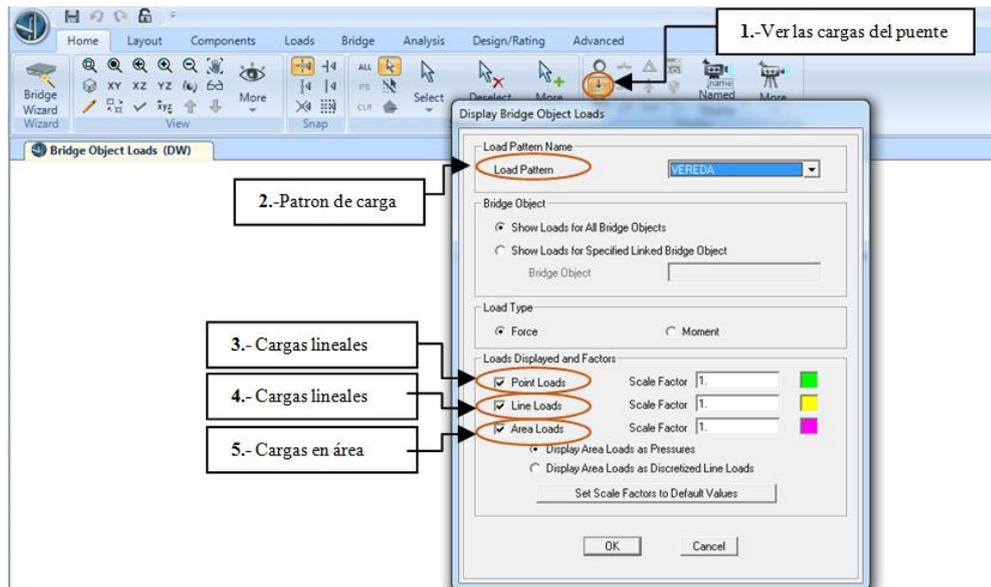


Figura 116. Ventana para elegir la carga a observar

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego de haber elegido el patrón de carga al hacer clic en “ok” se abre esta ventana en la cual se puede visualizar en donde aplicara la carga en el puente

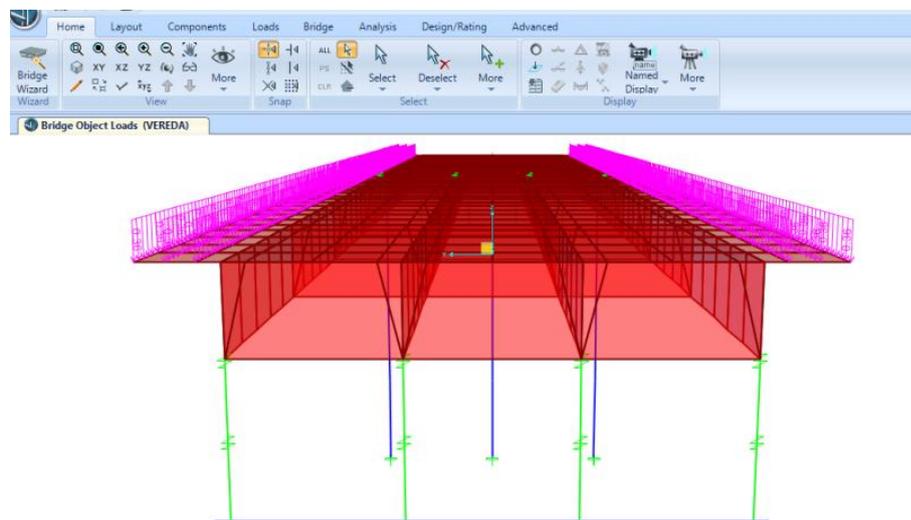


Figura 117. Visualización de la carga seleccionada

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.17. Vista en 3D

- Para tener una vista en **3D** ir al menú **“Home”**, seleccionar el icono **“More”** y elegir la vista en 3D

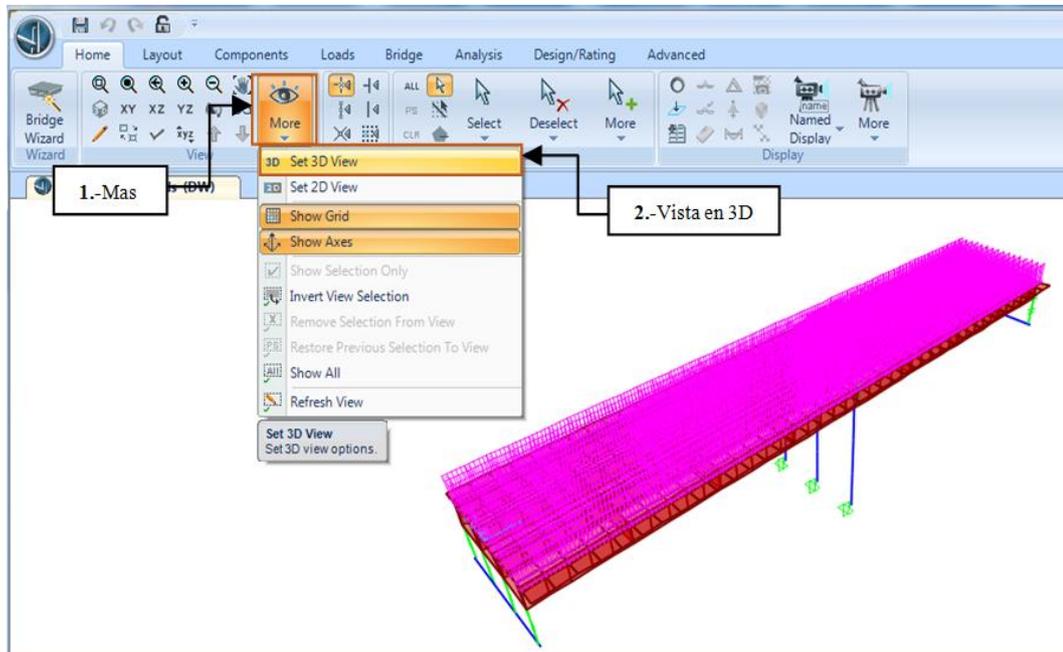


Figura 118. Vista en 3D

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.18. Análisis del puente

- Realizar el análisis del puente; ir al menú **“Analysis”** dar clic en **“Run Analysis”** + **“Run Now”**, para analizar el modelo con todas las cargas que debe soportar el puente.

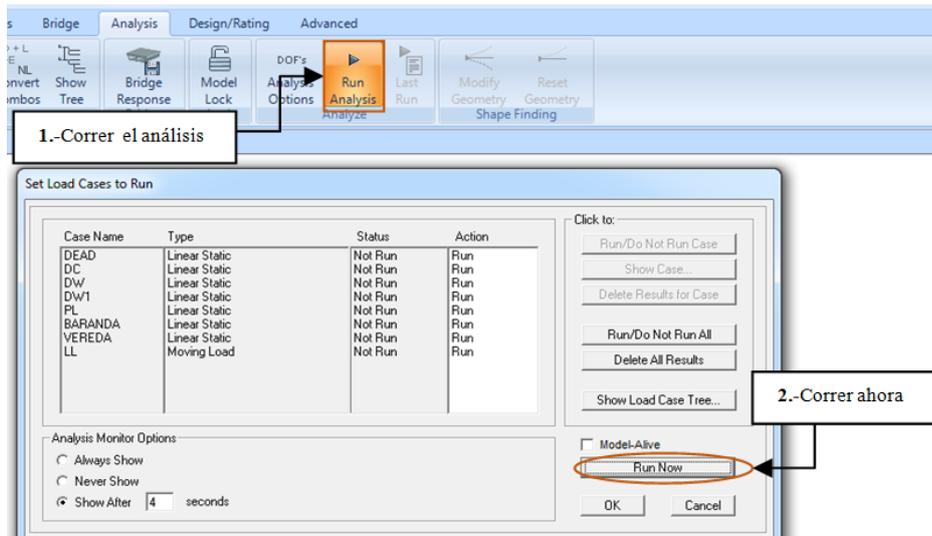


Figura 119. Correr el programa

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.19. Deformada del puente, control de deflexión y cálculo del acero de refuerzo.

- Luego de completarse el análisis aparecerá la deformada del puente: dar clic en “Start Animation” se observa una animación del comportamiento del tablero frente a las solicitaciones de carga.

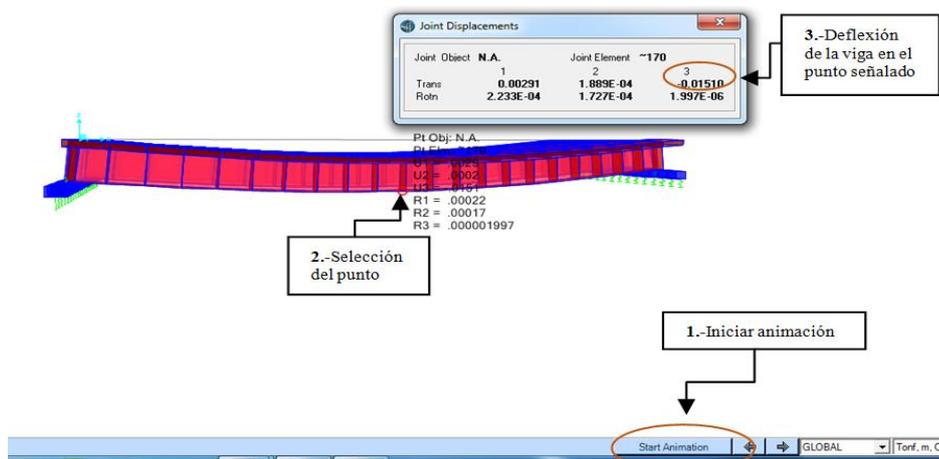


Figura 120. Ver deformada de la estructura

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Si se desea ver la animación se debe hacer clic en iniciar animación
2. Seleccionar un punto donde se desee ver la deflexión y dar clic derecho para ver más detallado todos los datos.
3. La deflexión longitudinal se la observa en la opción 3 indicada en la figura 120 la cual permite comparar con los parámetros máximos y mínimos de deflexión establecidos por la AASHTO LRFD

- Para observar la deformación de cada una de las cargas ir al menú “Home” dar clic en el icono “Show Deformed Shape”

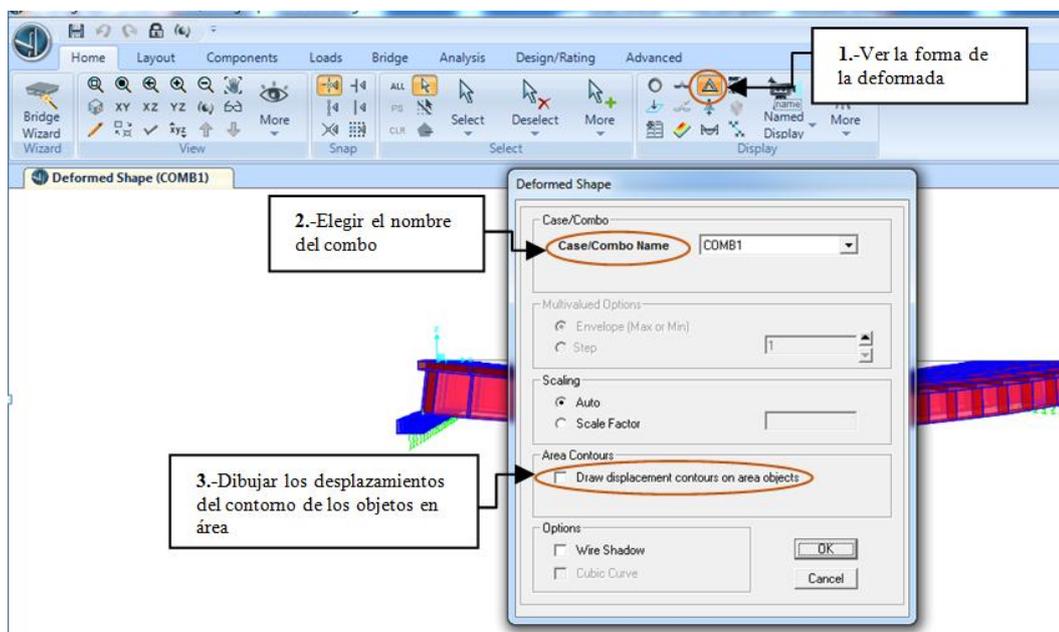


Figura 121. Deformada por carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Dar clic en ver la forma de la deformada

2. Elegir el nombre del combo creado y aparecerá la deformada con respecto al combo seleccionado.
3. Seleccionar esta opción si se desea dibujar el contorno con respecto al eje Z como se muestra en la figura 122 y elegir la opción eje vertical

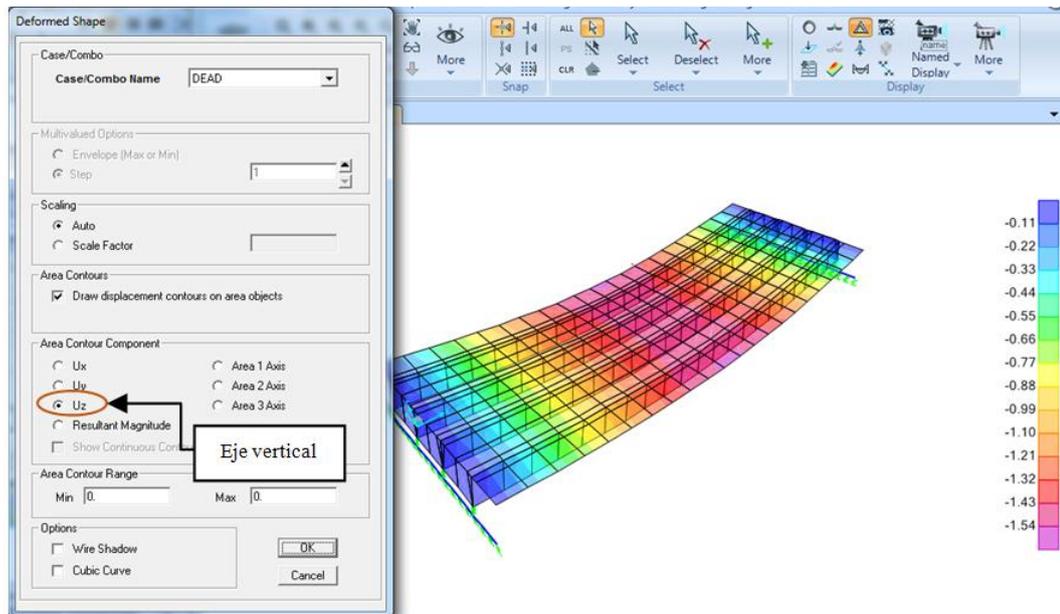


Figura 122. Deformada con respecto al eje Z

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.20. Influencia de las cargas vivas

- Ver la influencia de las cargas vivas en el puente ir al menú **“Home”** dar clic en icono **“Show Influence Line/Surface”** configurar la ventana de acuerdo a los valores que se requiera y hacer clic en **“Ok”**.

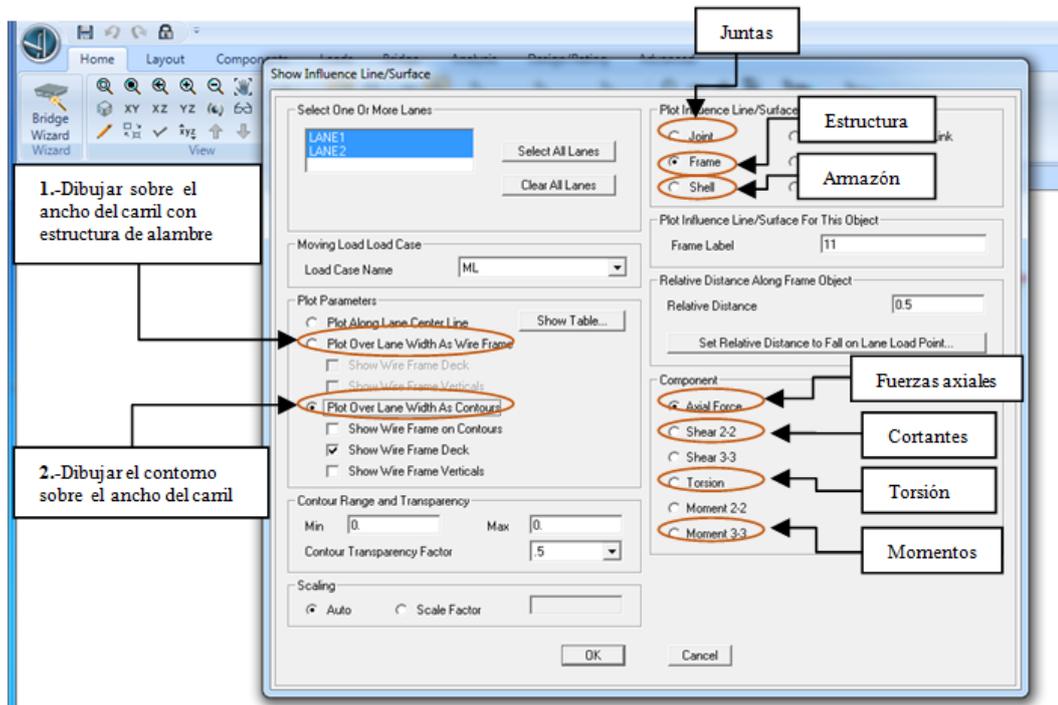


Figura 123. Influencia de las cargas vivas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez configurada la ventana se puede observar los valores de influencia de las cargas vivas en los carriles.

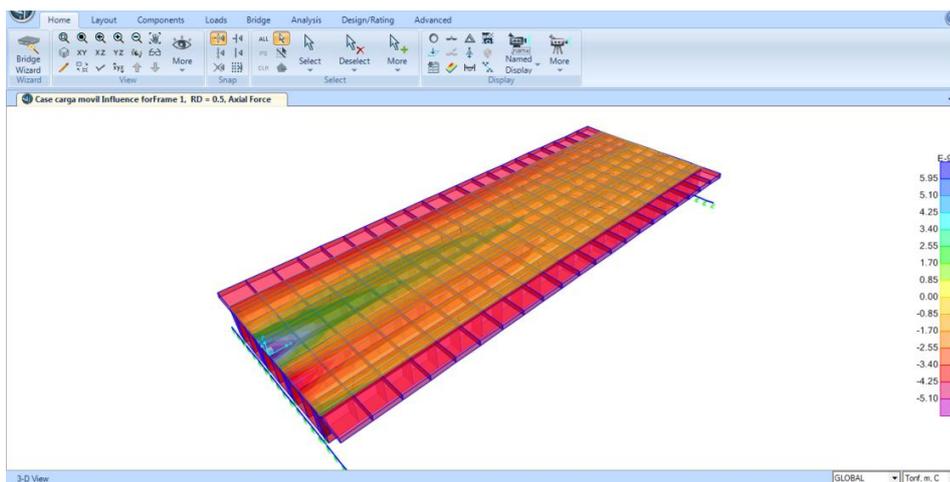


Figura 124. Ver la influencia de cargas en el puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Para determinar el Acero de refuerzo seguir los pasos que se describen en la figura 125

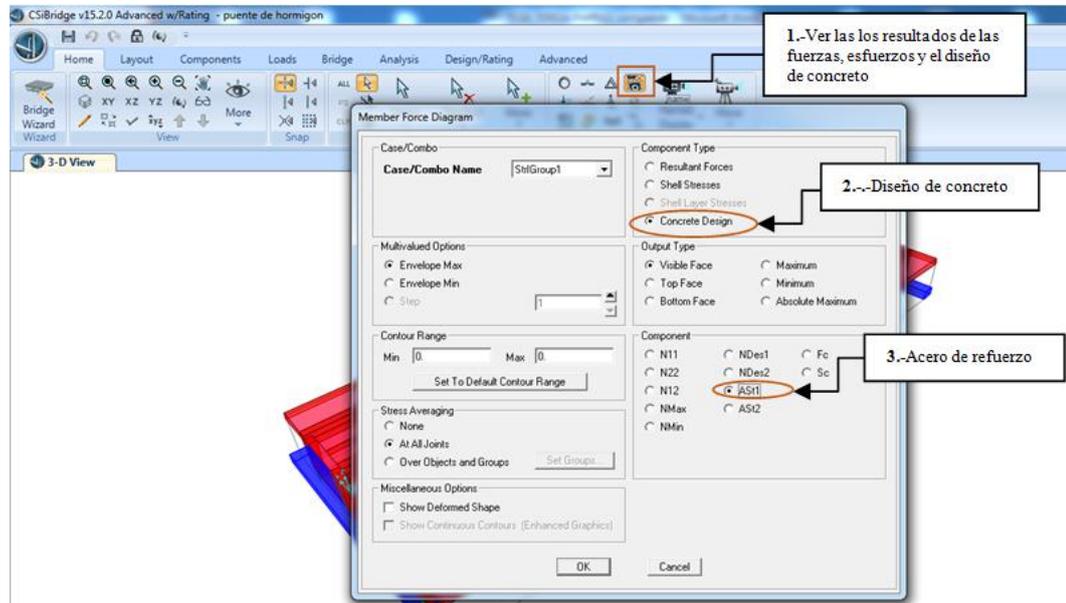


Figura 125.Configurar la ventana para el diseño del acero de refuerzo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego de configurar la ventana acercarse el cursor a las vigas que se desee conocer el Acero de Refuerzo como se muestra a continuación.

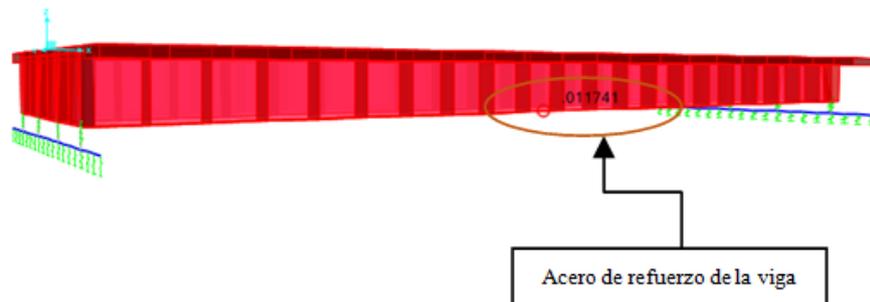


Figura 126. Ver el acero de refuerzo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.21. Momentos, cortantes y axiales

- Visualizar los momentos dar clic “**Show Bridge Superstructure Forces/Stresses**” se abrirá la ventana que aparece en la figura 127 la cual debe ser configurada de acuerdo a los valores que se requiera.

1. Momentos

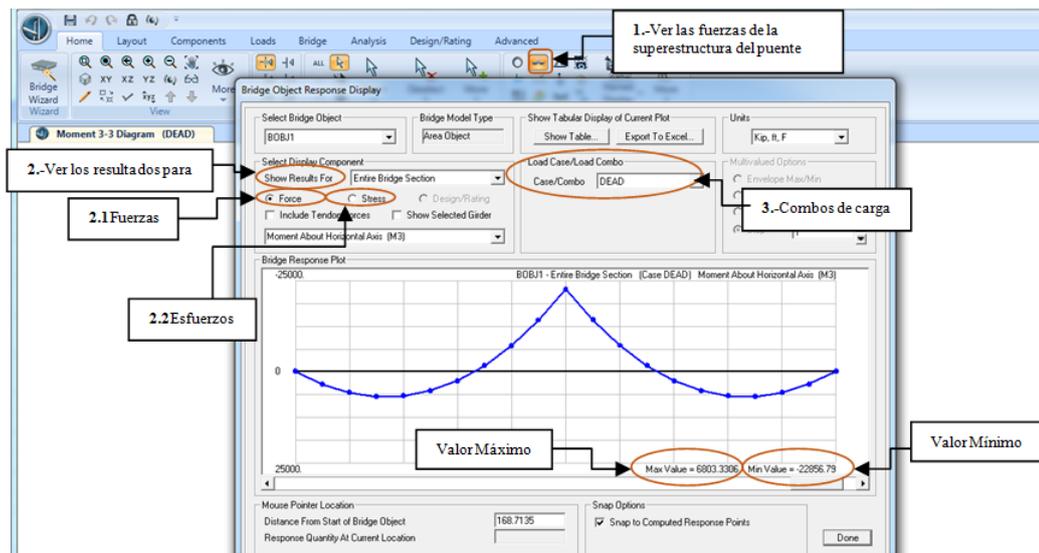


Figura 127. Diagrama de Momentos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Hacer clic en ver las fuerzas de la superestructura del puente
2. Seleccionar la opción de ver los resultados y elegir el elemento estructural del que se desee ver los resultados
 - 2.1. Elegir el literal de fuerzas y se podrá ver los resultados de fuerzas en la pantalla inferior la cual proporciona valores máximos y mínimos
 - 2.2. De la misma forma al elegir los esfuerzos sus valores se graficarán en la parte inferior de la ventana
3. También permite indicar el combo de carga que se desee aplicar al puente y obtener los valores tanto de fuerzas como de esfuerzos

2. Cortantes

Se los puede observar al hacer clic en la opción que se muestra en la figura 139 donde permite elegir la grafica de momentos “**moment**”, cortantes “**shear**”, axiales “**axial**” y torsión “**torsión**”.

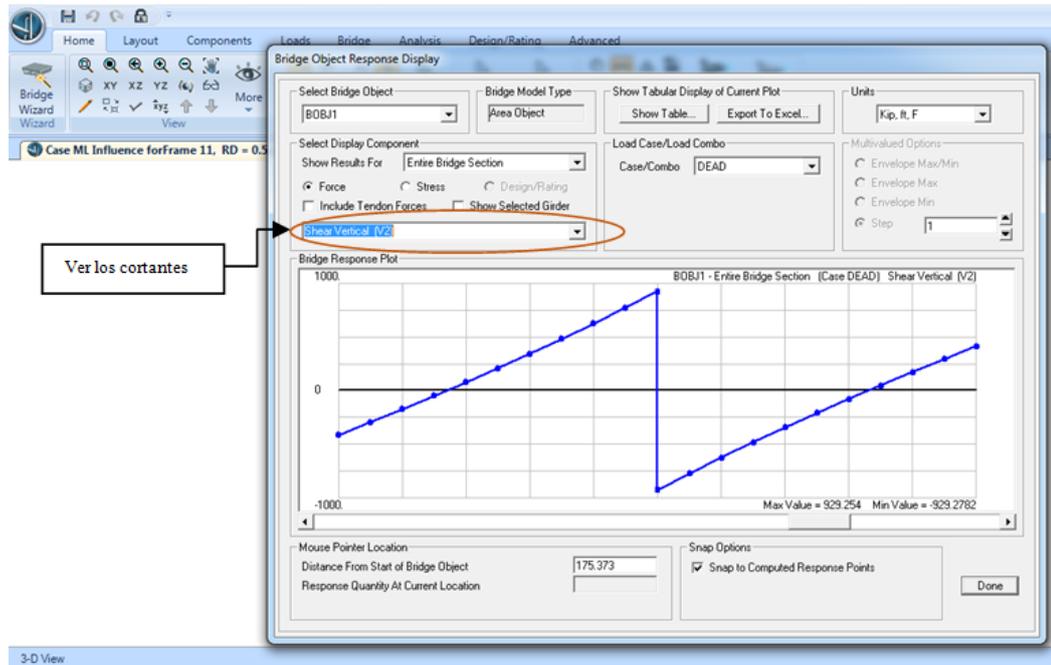


Figura 128. Diagrama de cortante

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.22. Diseño y Evaluación del puente

- Elegir las combinaciones de carga con las cuales se trabajara dentro del diseño y evaluación

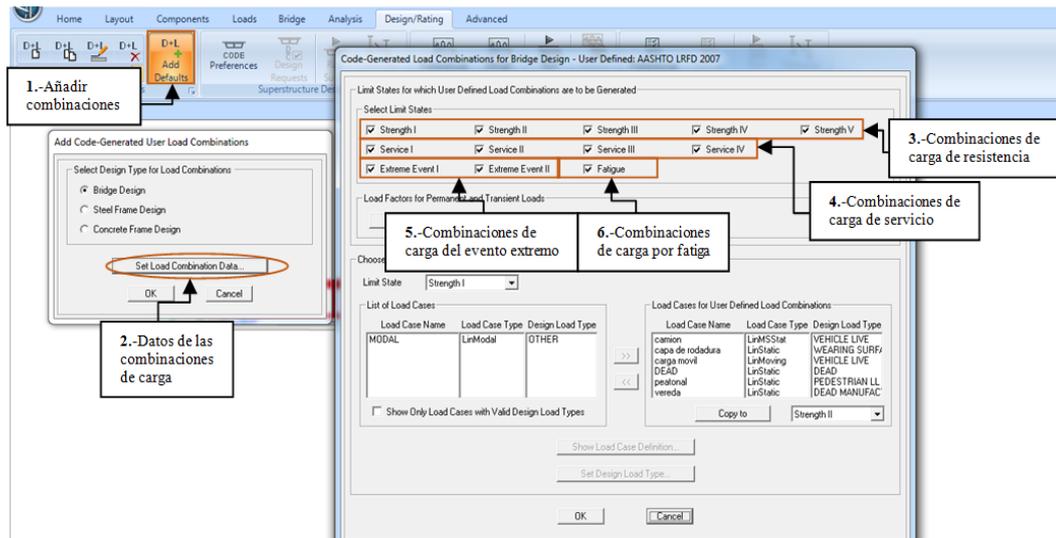


Figura 129. Combinaciones de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Hacer clic en **“Añadir combinaciones”** y elegir la opción **“Diseño del Puente”**
2. Seleccionar la opción **“Datos de las combinaciones de carga”** en la cual se puede elegir las combinaciones de carga a emplear en el diseño de puentes.
3. Elegir cualquiera de las 5 combinaciones de resistencia, su descripción se encuentra especificada en la norma AASHTO LRFD
4. Se puede también elegir una combinación de servicio la cual este más acorde al diseño
5. Seleccionar las combinaciones de carga del evento extremo si el diseño se lo realiza a sismo
6. Elegir la combinación de cargas por fatiga por lo general se lo aplica a los puentes con vigas metálicas.

- Elegir el código con el que se está trabajando en el programa de acuerdo a lo especificado en la figura 130.

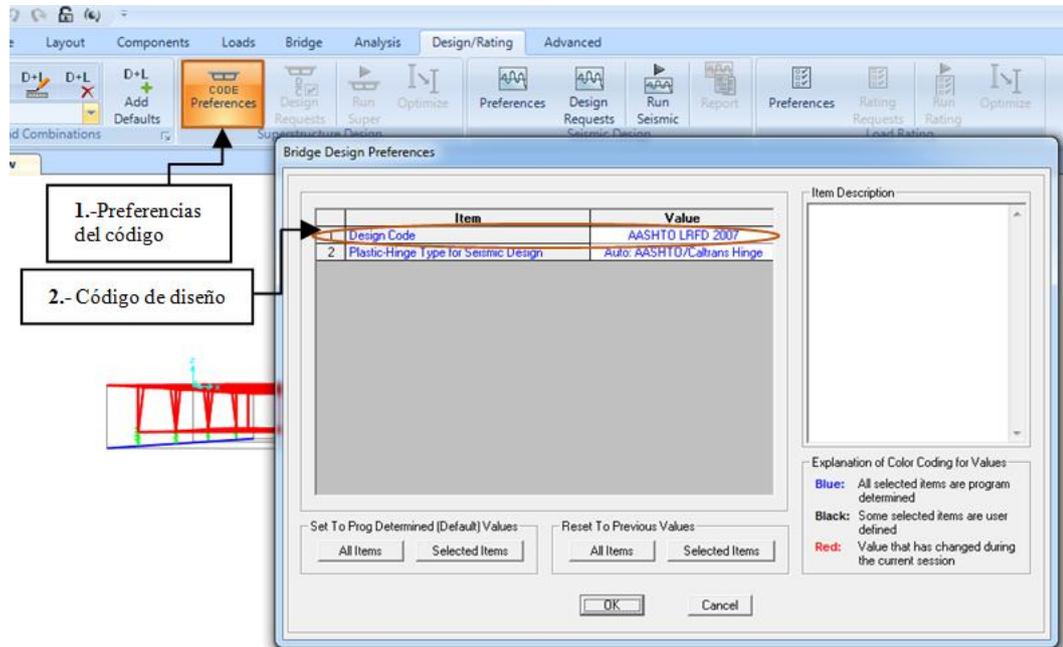


Figura 130. Código de diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Realizar una solicitud de diseño al puente; en donde se evalúa la demanda/capacidad del mismo

Flexión

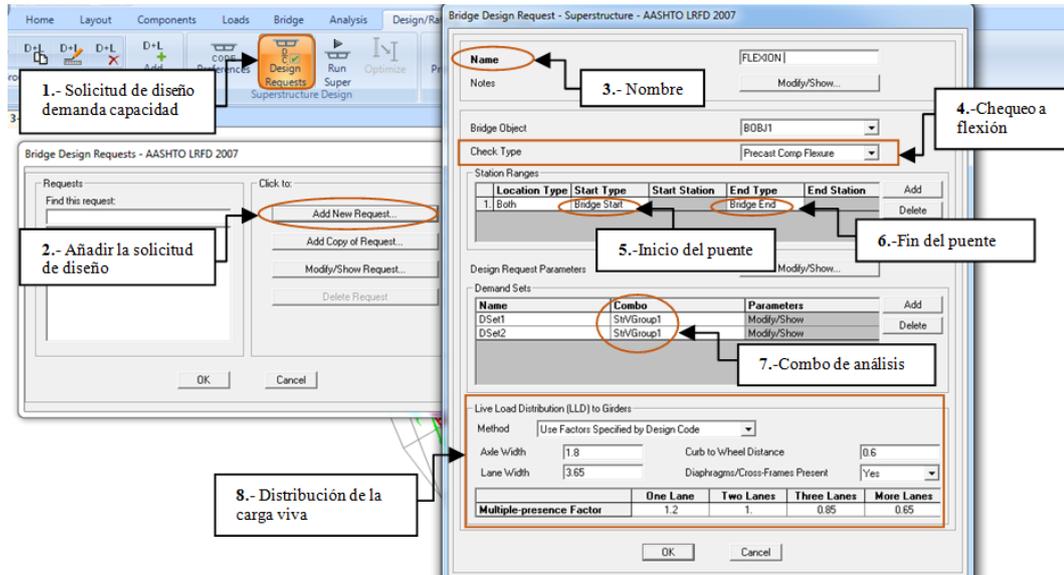


Figura 131. Solicitud de diseño a flexión

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Dar clic en solicitud de diseño demanda/capacidad
2. Elegir añadir una solicitud de diseño
3. Indicar el nombre de la solicitud
4. Luego seleccionar el chequeo a flexión de las vigas
5. Seleccionar el tramo del puente a evaluar en este caso es desde el inicio
6. Decir donde finaliza el diseño y evaluación del puente
7. Escoger la envolvente de las combinaciones de carga que se desee enviar a evaluar
8. Por último indicar la distribución de la carga viva, esto se lo realiza seleccionando el método a emplear en este caso es utilizando los factores del código de diseño dentro del cual se ingresa: el ancho del vehículo, el ancho del carril, la separación entre los vehículos.

Corte

- El proceso de la solicitud de diseño es igual a la anterior a diferencia del paso 4 en la cual se elige la opción del chequeo por corte.

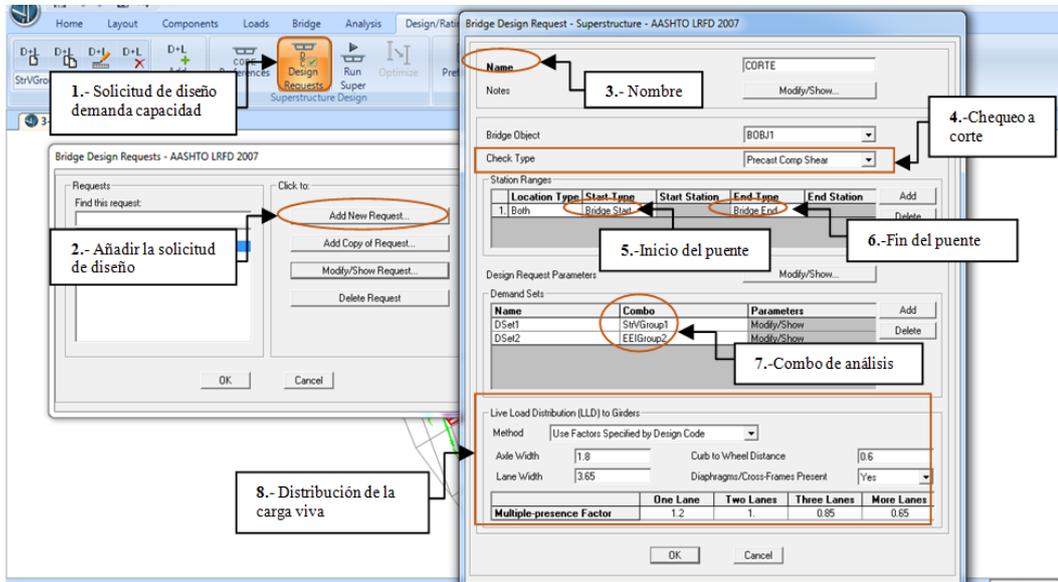


Figura 132. Solicitud de diseño a corte

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se envía a diseñar la superestructura tanto a corte como a flexión como se especifica en la figura 133.

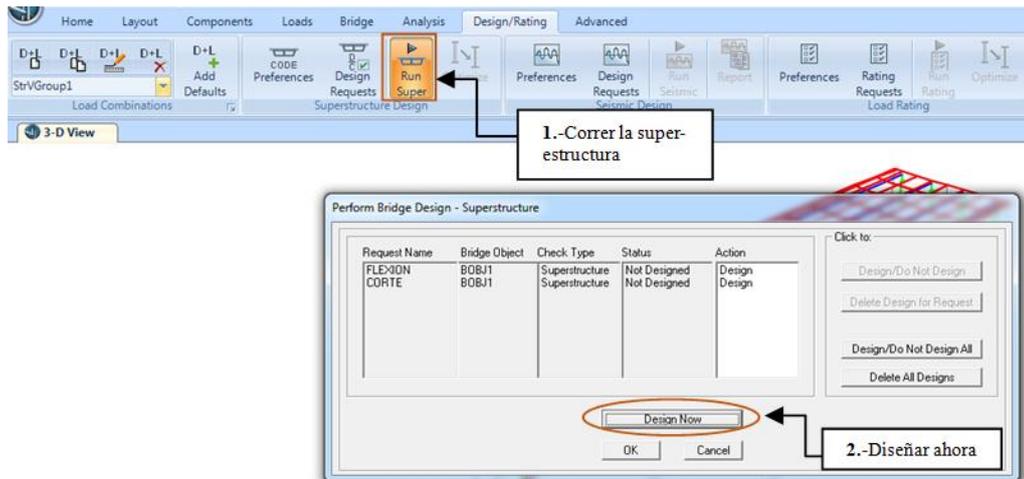


Figura 133. Enviar a diseñar

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego de correr el diseño aparece la siguiente ventana en la cual se debe chequear si el acero de refuerzo colocado en las vigas es el suficiente para resistir el momento.

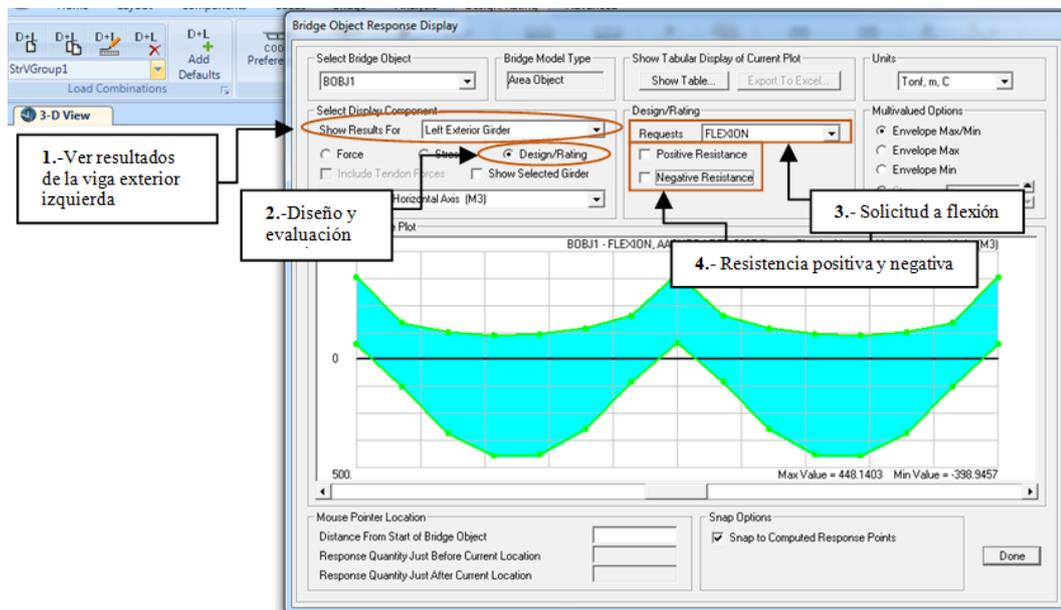


Figura 134. Ventana después de enviar a diseñar

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se puede observar que al seleccionar la resistencia positiva, se grafica una línea de color tomate; la cual nos indicara si la viga resiste a flexión, es decir si esta línea se encuentra más arriba del diagrama de momento indica que el acero en la viga es suficiente, el mismo análisis se realiza para la resistencia negativa

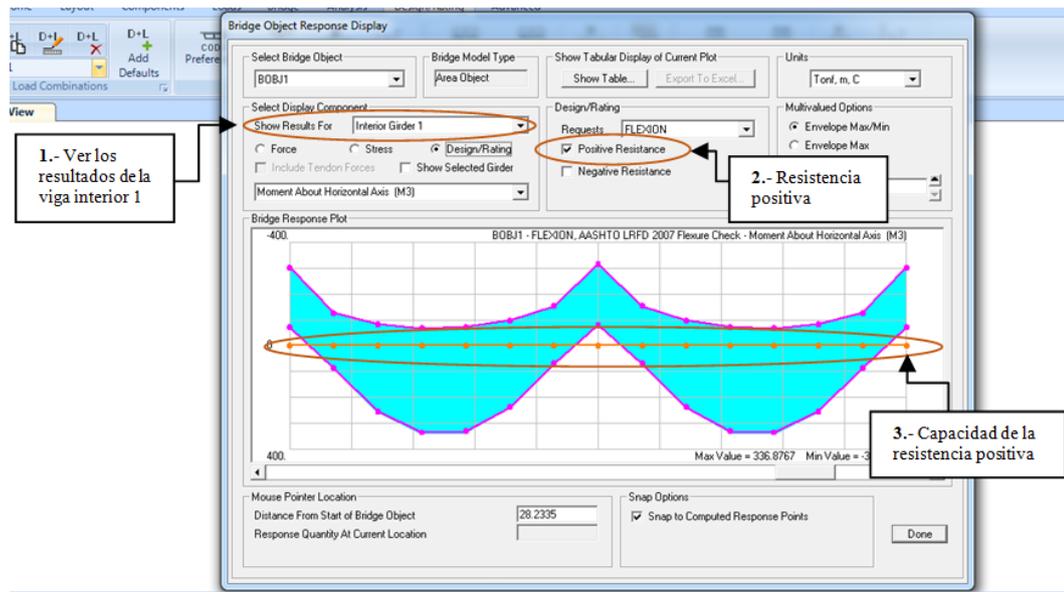


Figura 135. Evaluación de la resistencia positiva a flexión

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Se inicia al escoger ver los resultados de la viga interior 1
2. Seleccionamos la resistencia positiva
3. Se grafica la capacidad de la resistencia positiva de la viga, en este caso se grafica en cero; porque no contiene ningún acero de refuerzo longitudinal que resista la flexión, por lo cual para poder chequear se debe ingresar las varillas y volver analizar el modelo.

- Desbloquear el candado para poder añadir las varillas de las vigas

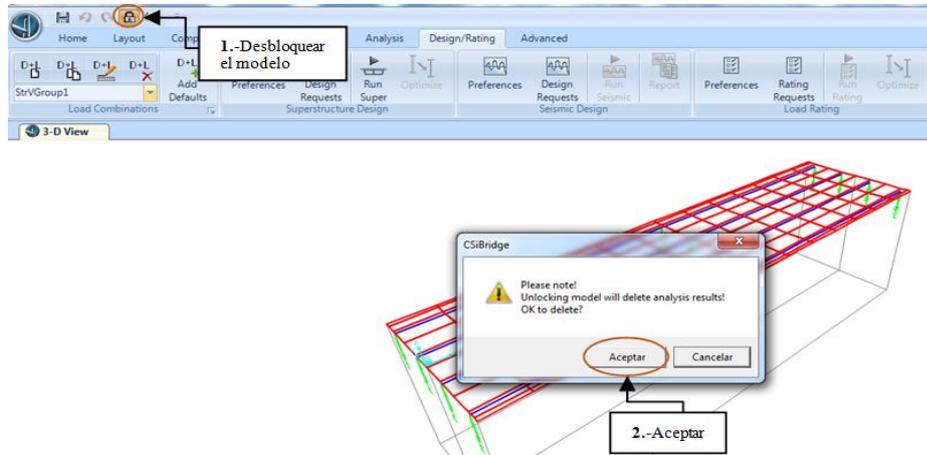


Figura 136. Desbloquear el modelo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Ingresar las varillas de forma longitudinal como se observa en la figura 137

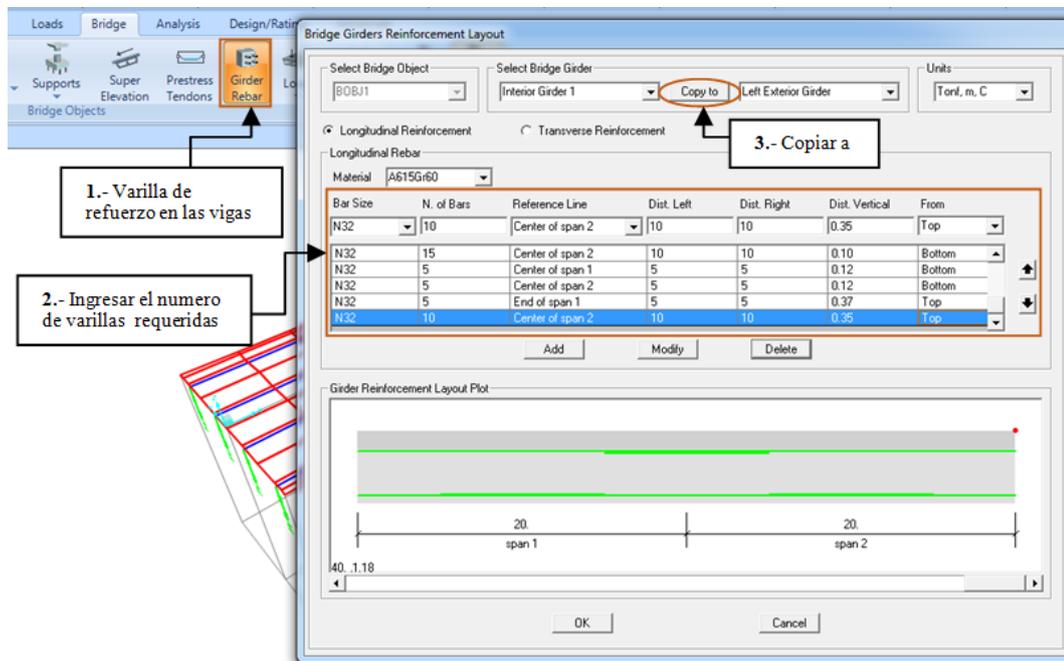


Figura 137. Añadir refuerzo longitudinal en las vigas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se vuelve a analizar el modelo y a diseñar la superestructura

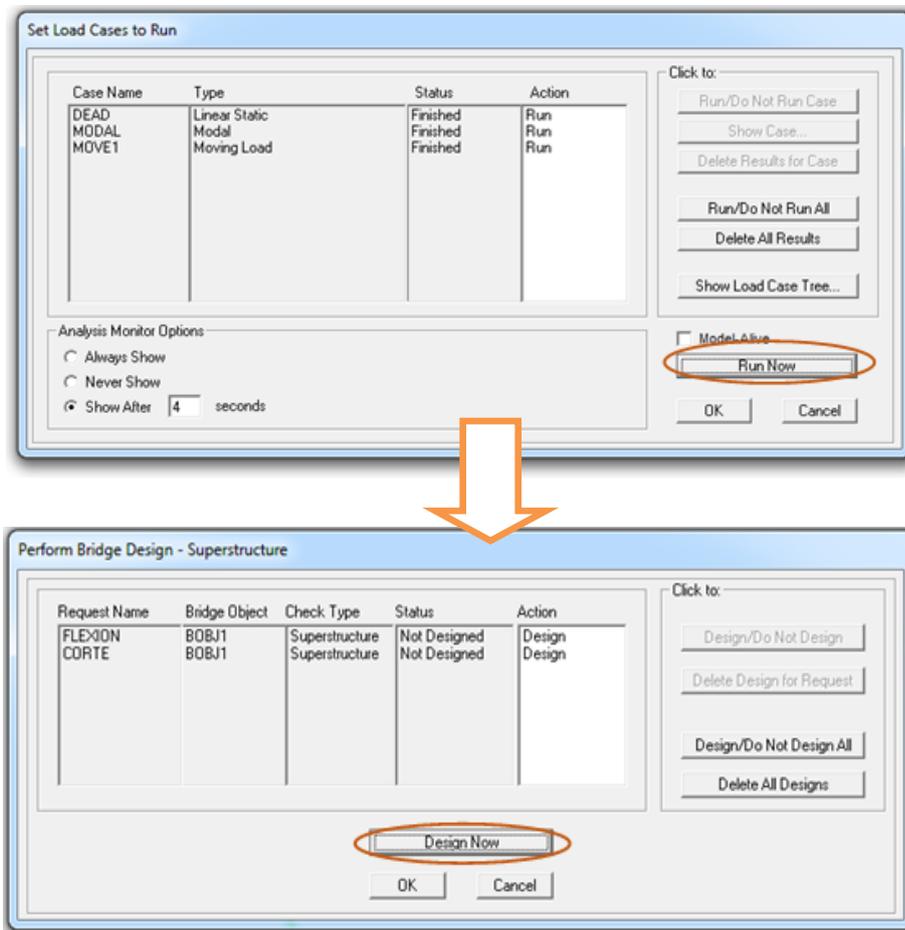


Figura 138. Analizar y Diseñar el modelo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego del diseño se abre la siguiente imagen en la cual, se puede observar que el acero de refuerzo colocado en las vigas en la parte inferior cubre el momento positivo en la viga exterior izquierda.

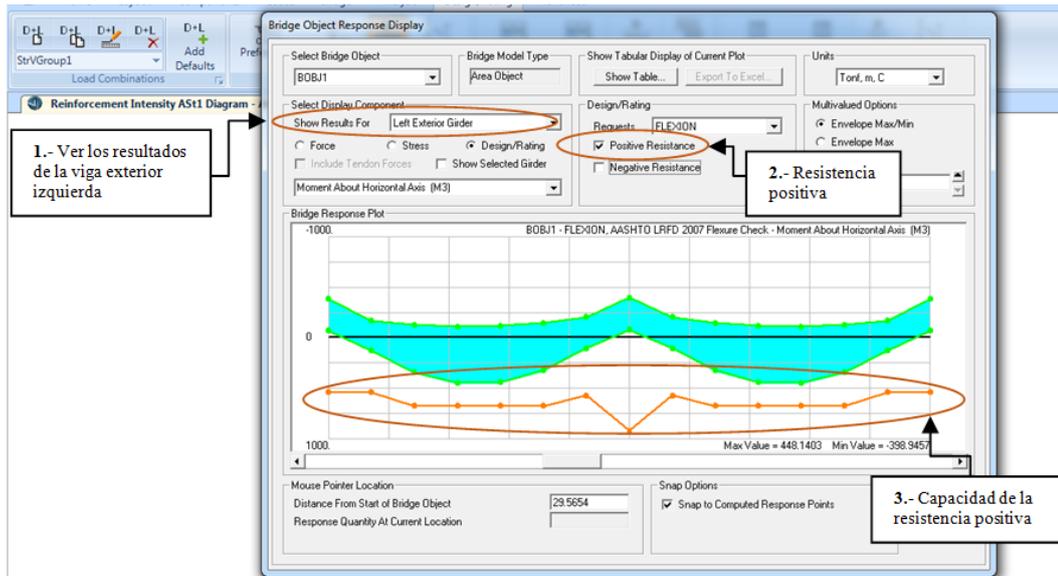


Figura 139. Evaluación a flexión de la viga con la resistencia positiva

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Ahora se observa con respecto al momento negativo que el acero de refuerzo colocado en la viga es insuficiente por lo cual se debe agregar más acero de refuerzo en los costados y en el centro de la viga

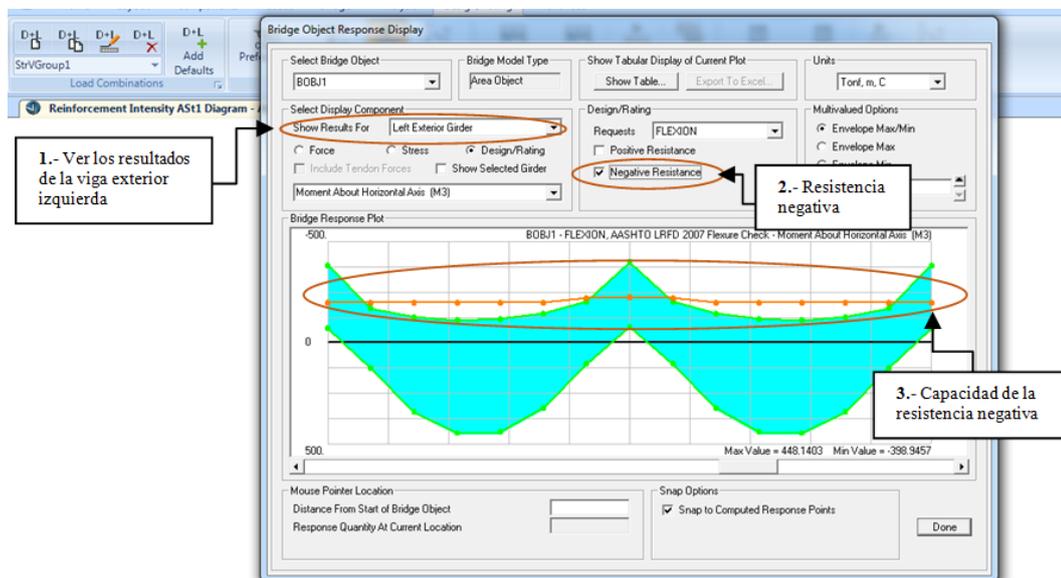


Figura 140. Evaluación a flexión de la viga con la resistencia negativa

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Con respecto a corte se realiza el mismo análisis tomando en cuenta en esta ocasión debe variar la altura de la viga o se debe aumentar los estribos.

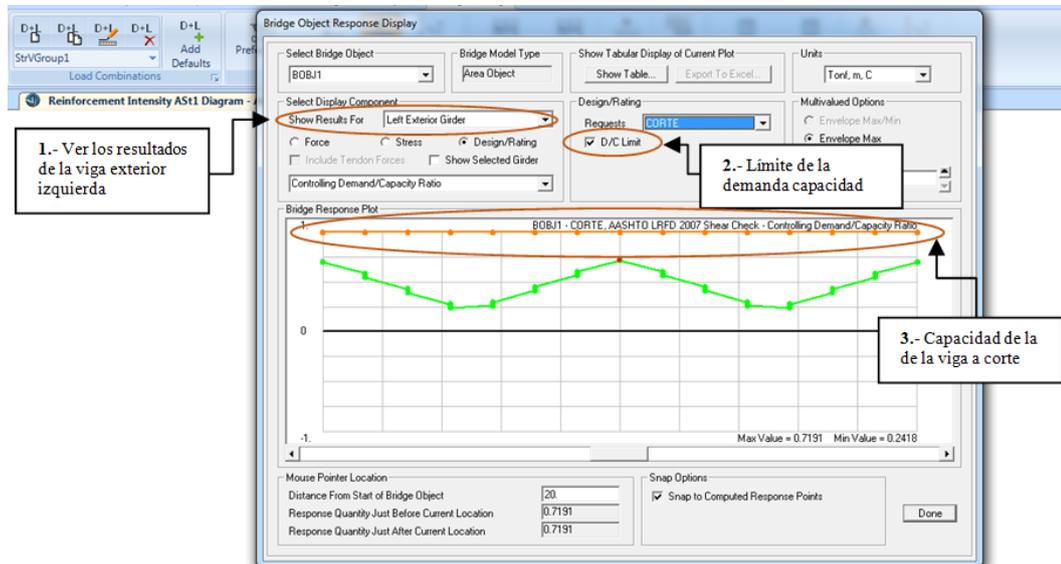


Figura 141. Evaluación del cortante en la viga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.1.1.23. Animación con el vehículo en movimiento

- Para poder modificar los datos y crear la animación se debe primero desbloquear el modelo para lo cual ir al menú “**Analysis**” dar clic en el candado “**Model Lock**”, elegir “**Aceptar**”

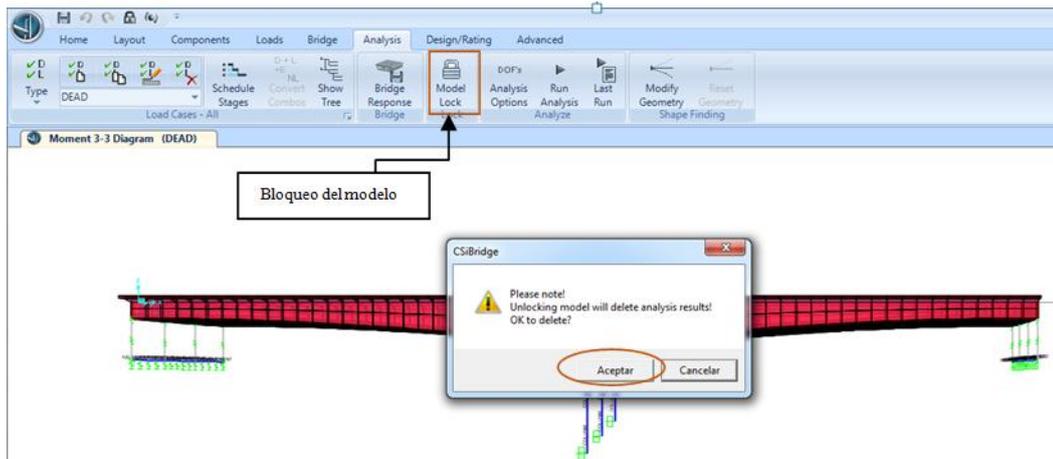


Figura 142. Abrir el candado

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En el menú **“Loads”** añadir un nuevo patrón de carga en **“Loads Patterns”** agregamos una nueva carga móvil llamada camión o **“Trucks”**, y hacer clic en la opción de modificar la carga viva del puente para poder configurar el camión de diseño.

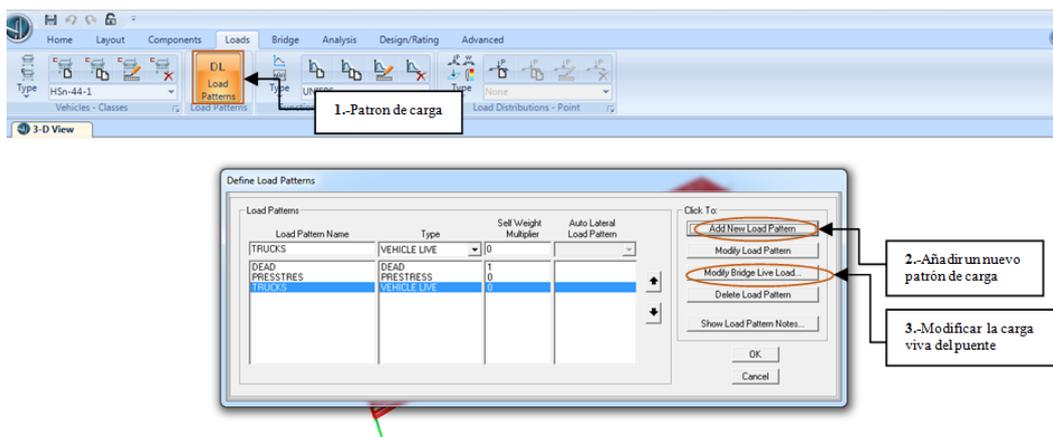


Figura 143. Añadir un nuevo patrón de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al hacer clic “**Modify Bridge Live Load**”, se abre la siguiente ventana en la cual se establece el carril, la distancia inicial del camión con respecto a la longitud del puente, el tiempo de partida, la dirección de viaje del vehículo; es decir hacia adelante o hacia atrás y el valor de la velocidad se debe ingresar en base a las unidades de trabajo, de acuerdo a la figura 144.

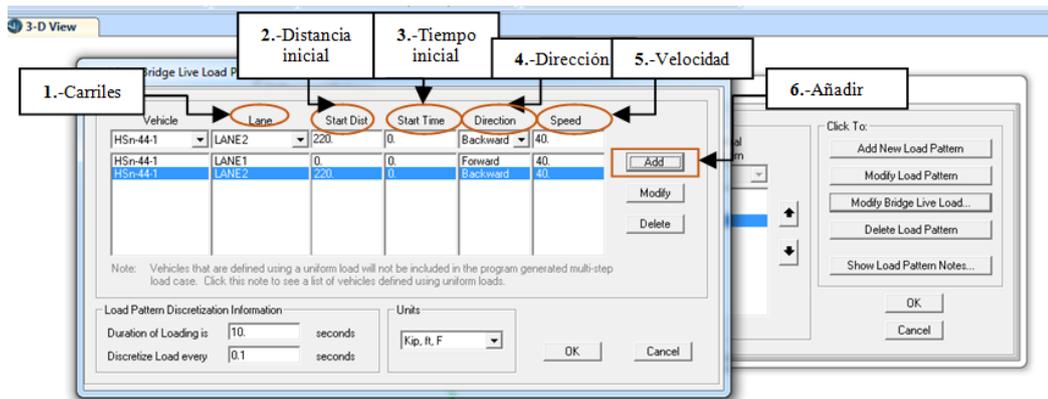


Figura 144. Modificar la carga viva

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego ir al menú “**Analysis**” y correr solo la carga camión o “**Trucks**”, dar clic en “**Run Now**”.

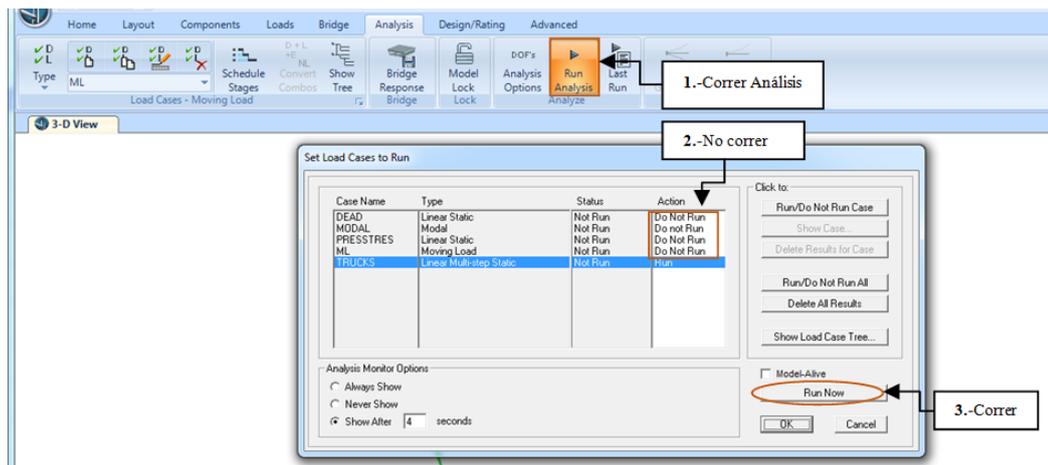


Figura 145. Analizar la carga agregada

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

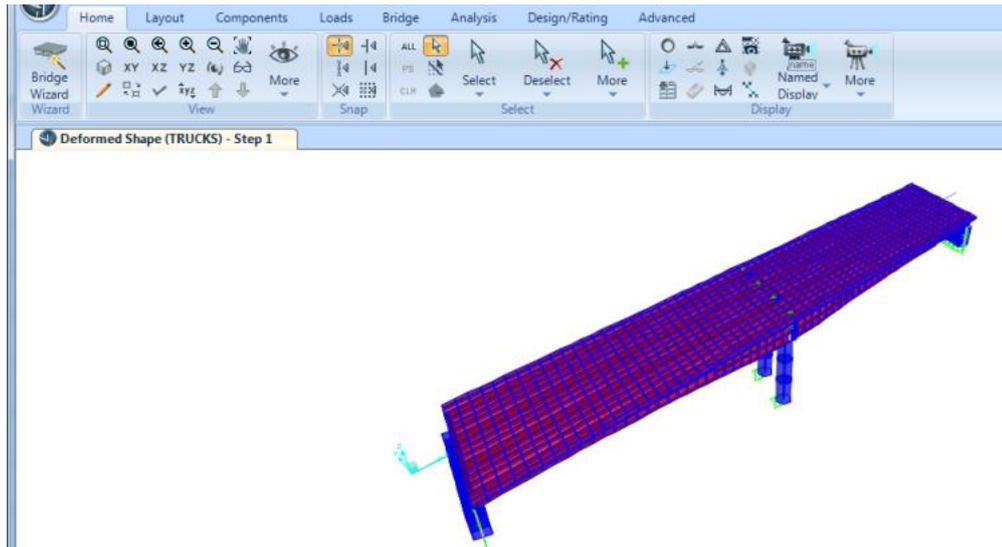


Figura 146. Ventana de animación

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez analizada la carga del vehículo ir al menú “ORB” seleccionar la opción “Picture” + “Create Multi-step Animation Video”

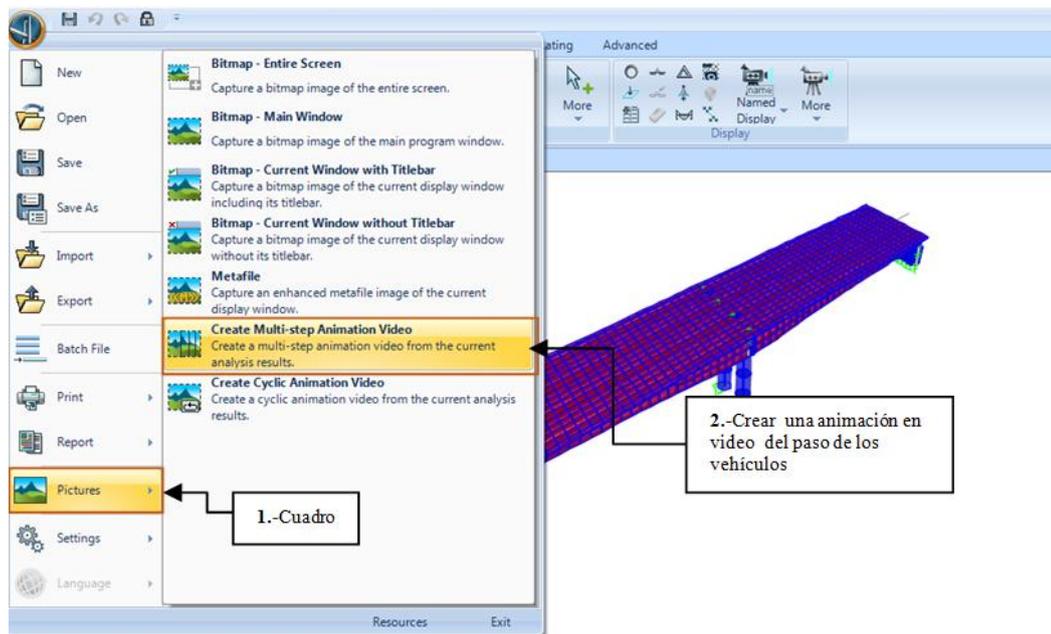


Figura 147. Crear animación del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego guardar el archivo y establecer los parámetros que se especifican en la figura 148 y se puede apreciar el efecto en la figura 149.

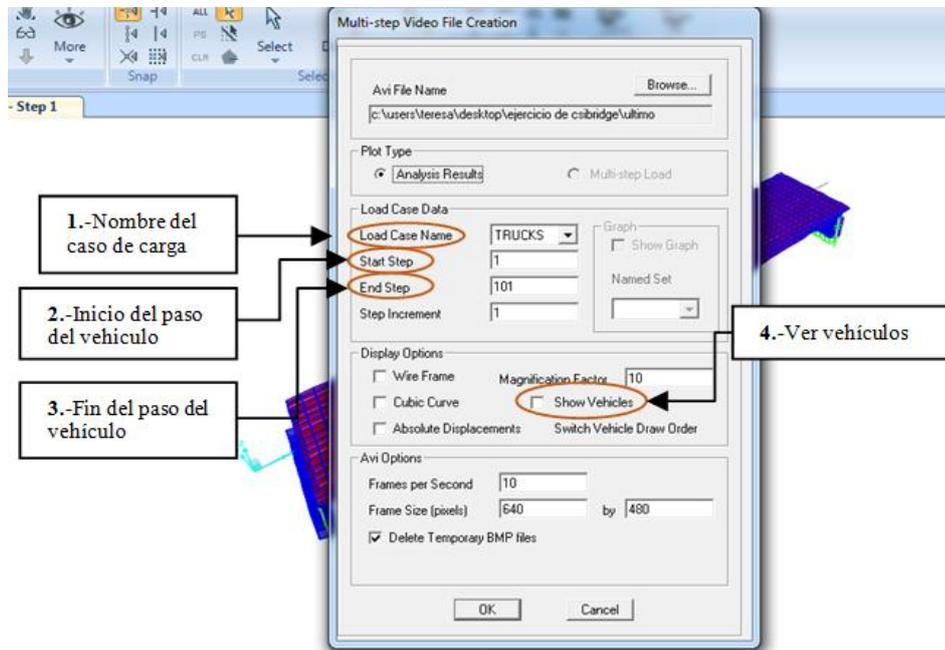


Figura 148. Establecer propiedades del vehículo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

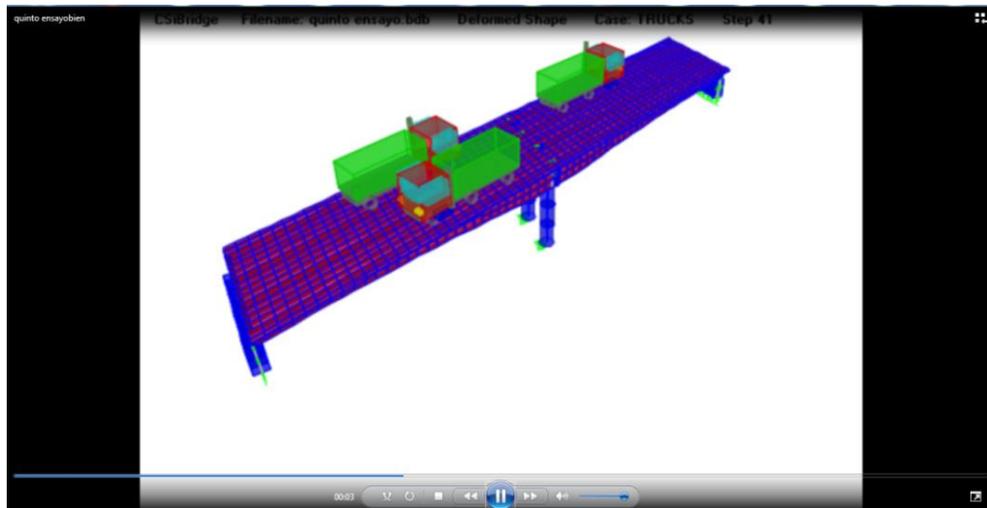


Figura 149. Animación de los vehículos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.2. Modelación del Puente empleando una plantilla

7.6.2.2.1. Selección de la plantilla y sus dimensiones

- En la siguiente ventana elegimos la plantilla del puente listo o hacer clic en “Quick Bridge”.

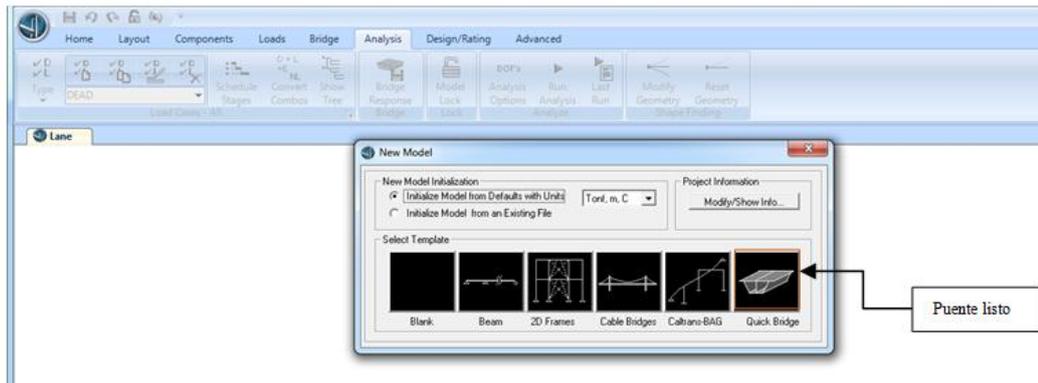


Figura 150. Selección de una plantilla

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Ingresar la longitud de los espacios del puente si se encuentra apoyado sobre las pilas (**Bents**) dar clic en “Span Lengths” y elegir el tipo de sección del puente en “Bridge Deck Section type”+ “Ok”.

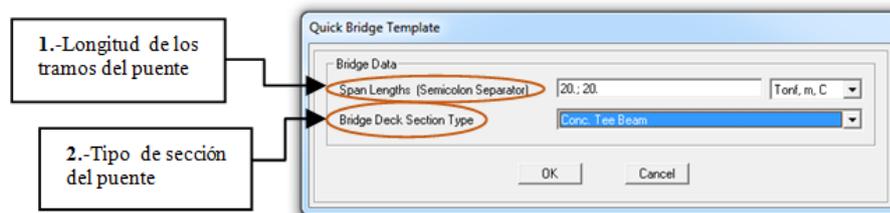


Figura 151. Características del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.2.2. Revisión de los parámetros creados del puente

- Una vez creada la plantilla se define automáticamente todos los parámetros del puente, es decir: las secciones y características de la super-estructura y sub-estructura las cuales pueden ser modificadas.

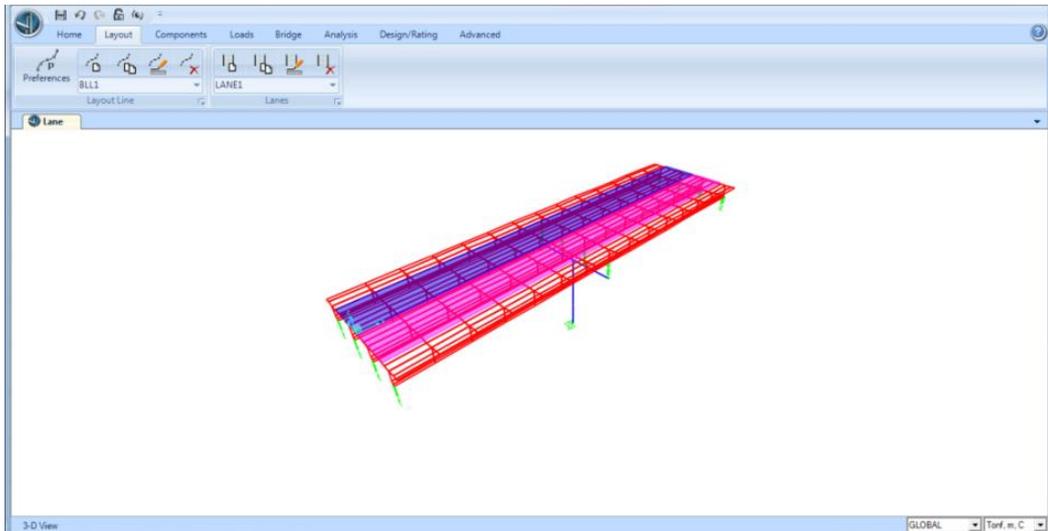


Figura 152. Ventana del puente creado automáticamente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3. Diseño de un puente sobre vigas metálicas

Todos los pasos a seguir para modelar un puente de hormigón son similares a un puente sobre vigas metálicas, se diferencian en la definición del material y en el diseño de las vigas metálicas.

Dentro del diseño de las vigas metálicas se realiza un ciclo repetitivo el cual es “Análisis-Diseño-Optimización y Análisis” hasta obtener los resultados requeridos.

7.6.3.1. Diseño de las vigas metálicas.

7.6.3.1.1. Crear un nuevo material

- Ir al menú “**Components**”+ “**New Material Property**”, seleccionar el tipo de material y la norma, ya que de acuerdo a eso se crea automáticamente las propiedades del mismo

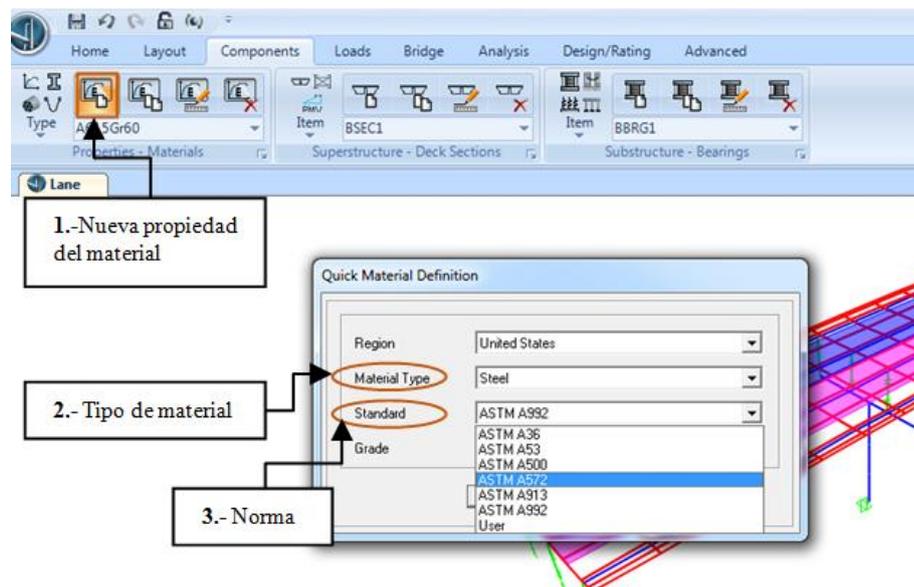


Figura 153. Ventana crear un nuevo material

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.2. Crear nueva sección

- Definición de las vigas metálicas ir al menú “**Components**”+ “**New Frame Section**” y elegir la sección de acero “**Steel**” a emplear en el puente, las secciones más empleadas son las tipo I que a continuación se muestra en la figura 154

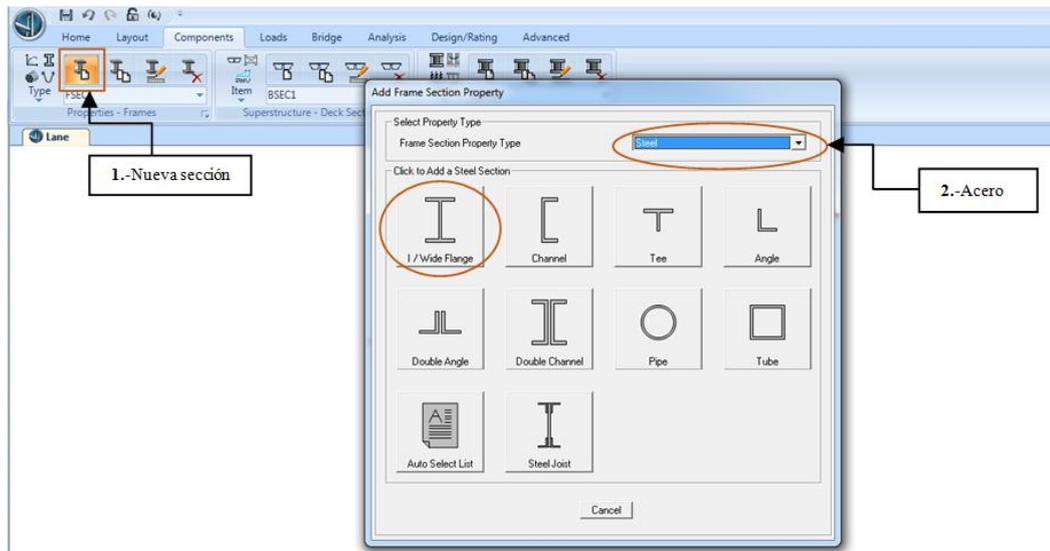


Figura 154. Crear una sección

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Ingresar las dimensiones de la sección tipo I

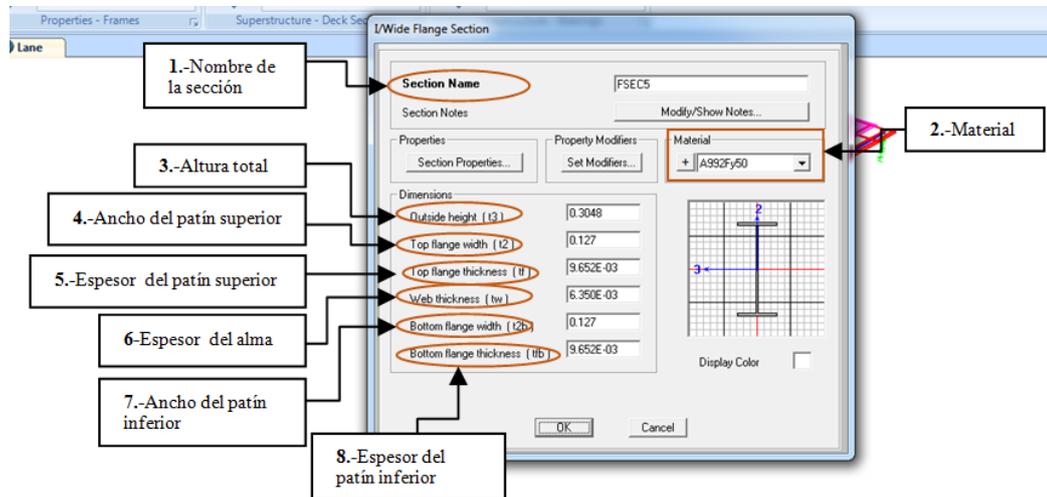


Figura 155. Ventana para ingresar los valores de la viga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.3. Crear una viga de acero con platabandas

- Para emplear una viga de acero con platabandas o una viga híbrida elegir “Built-Up Steel”

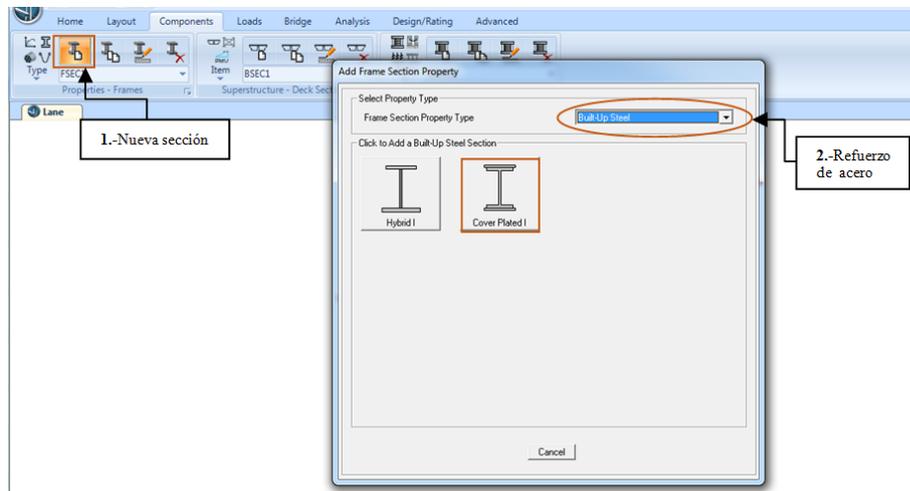


Figura 156. Ventana del refuerzo en el acero

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Ingresar las dimensiones de las platabandas tanto superior e inferior

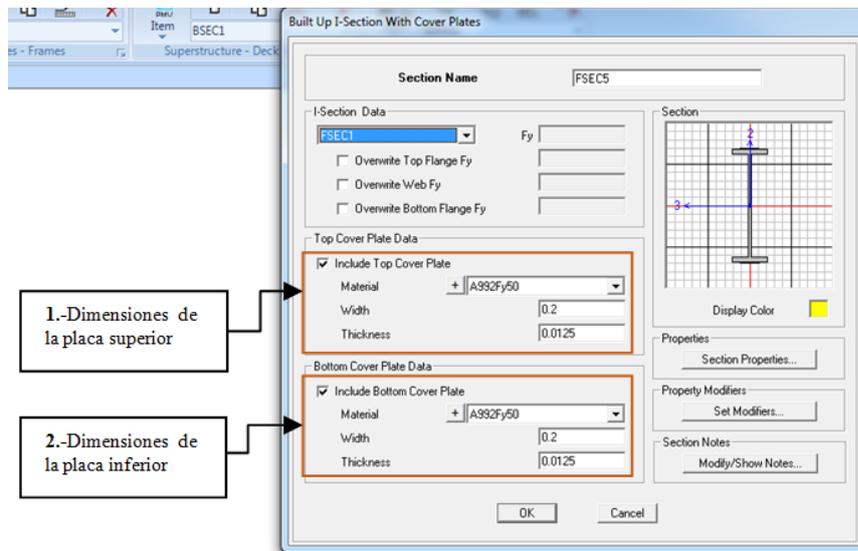


Figura 157. Dimensionamiento de las platabandas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.4. Definición el tipo de sección

- Elegir el tipo de seccion del puente dar clic en “New Deck Section”, elegir el puente de concreto sobre vigas metálicas.

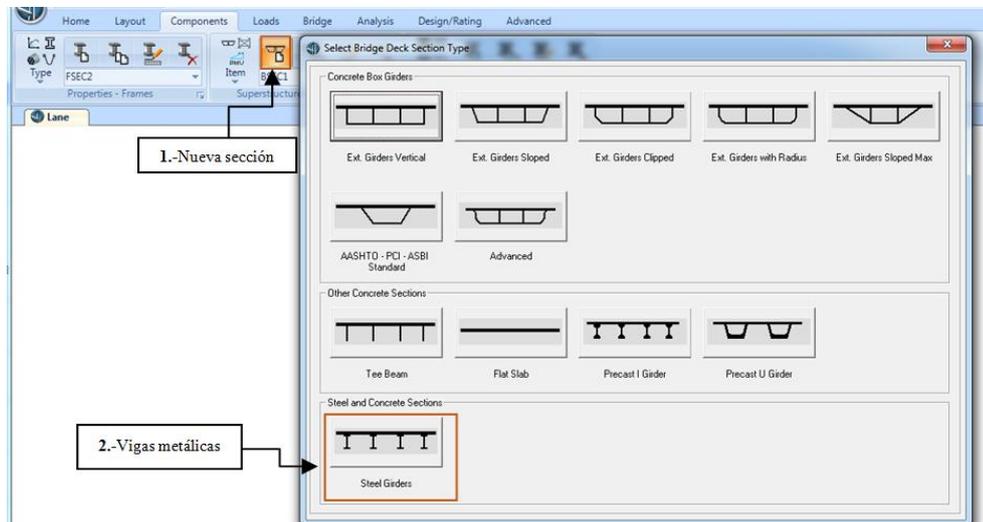


Figura 158. Elección del tipo de puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Establecer las dimensiones del puente sobre vigas metálicas.

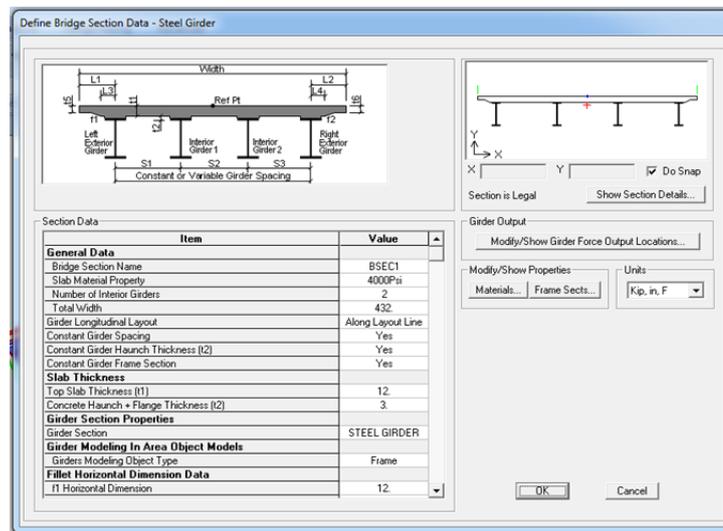


Figura 159. Dimensionamiento del puente sobre vigas metálicas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.5. Definición de los diafragmas metálicos

- Definir los diafragmas dar clic en “**New Diaphragm**”, elegir el diafragma con diagonales en “**V**” o “**X**”

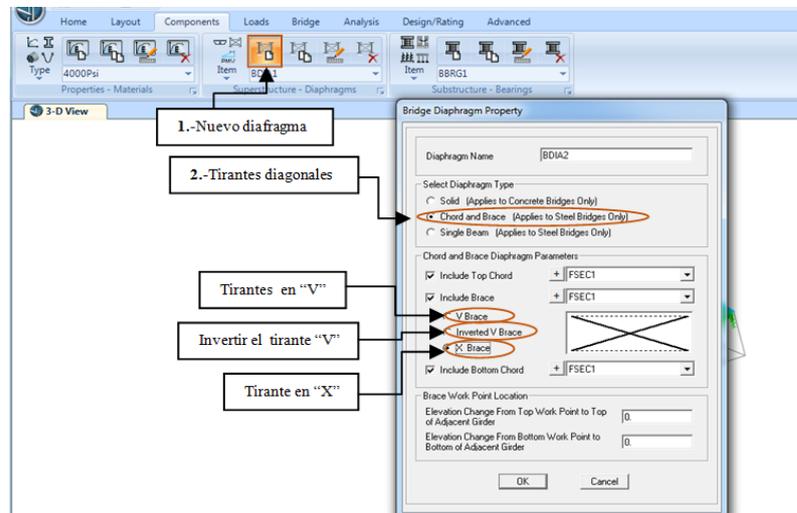


Figura 160. Características de los diafragmas diagonales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Definir los diafragmas dar clic en “**New Diaphragm**”, elegir el diafragma solo vigueta y definir una sección con las dimensiones de la misma.

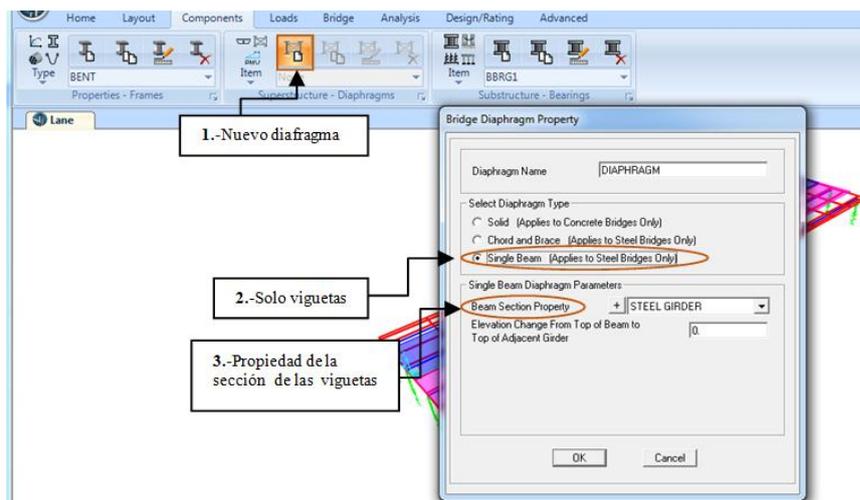


Figura 161. Características de los diafragmas tipo vigas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.6. Correr el análisis del puente

- Una vez definidas las cargas y los objetos del puente correr el análisis: dar clic en “Run Analysis” + “Run Now” dentro de este análisis no se corre el modal debido a que no se realiza un análisis sísmico.

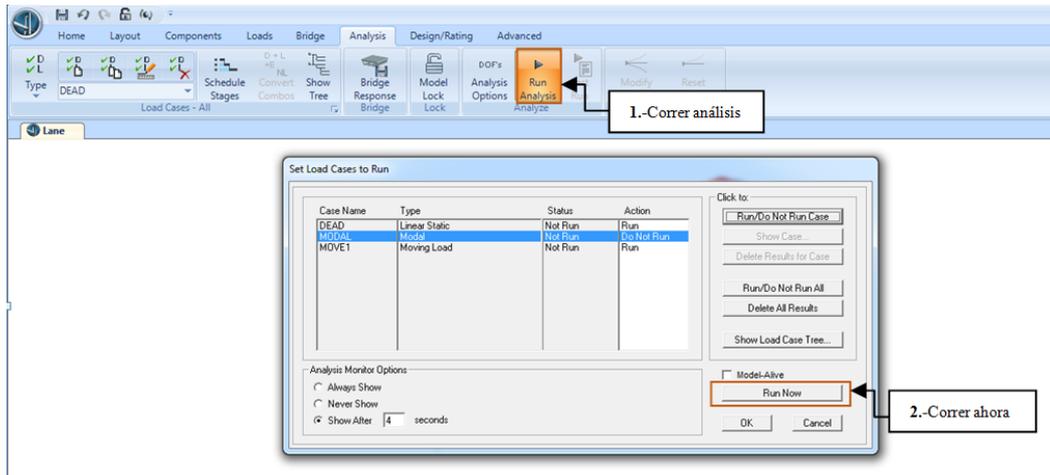


Figura 162. Ventana para correr el análisis

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

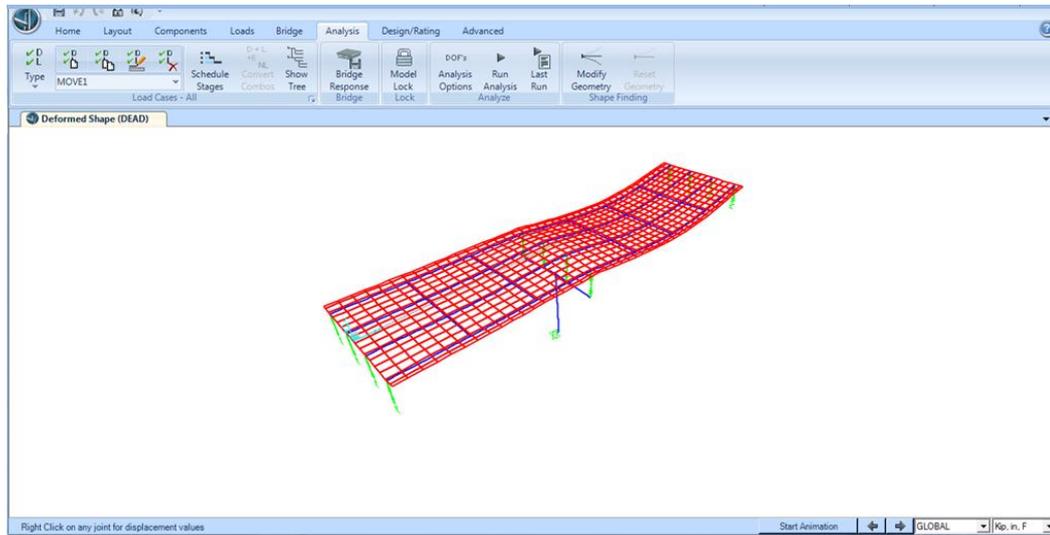


Figura 163. Deformada del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.7. Combos de diseño

- Añadir los combos de diseño automáticamente dar clic en “Add Defaults”, elegir “Bridge Desing” y “OK”

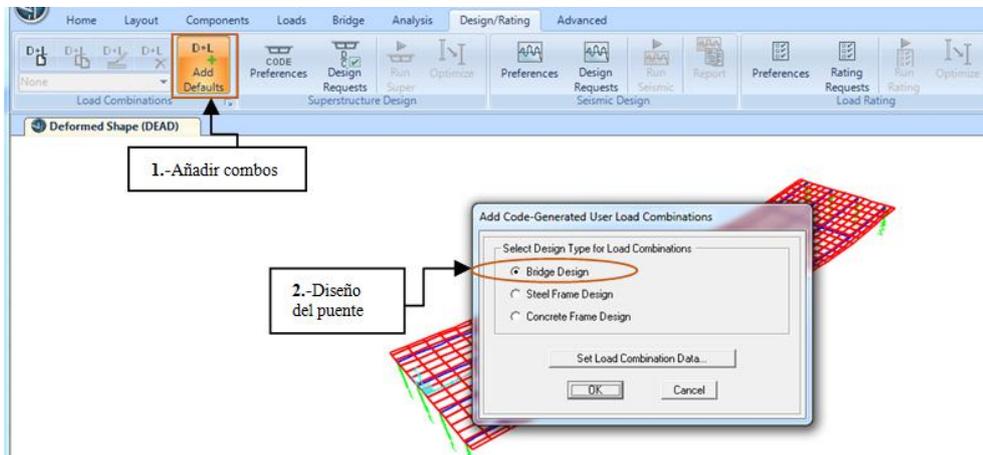


Figura 164. Ventana para crear las combinaciones de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego chequear el código con el que se está trabajando ir al menú “Desing/Rating” + “Code Preferences”

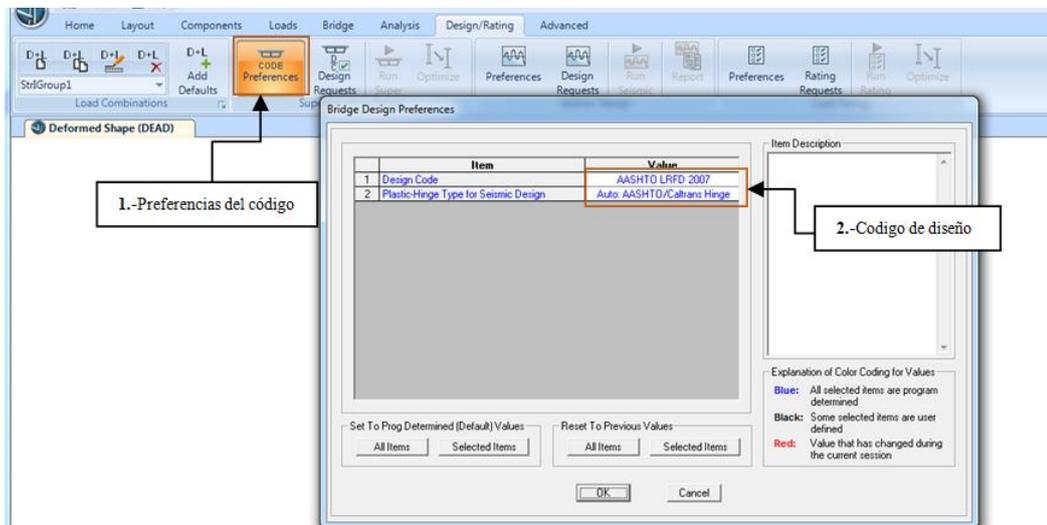


Figura 165. Verificar el código con el que se está trabajando

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.8. Diseño de las vigas metálicas

- Dentro del menú “Desing/Rating” ir a la opción “Design Request” para solicitar un diseño del puente sobre vigas metálicas por resistencia.

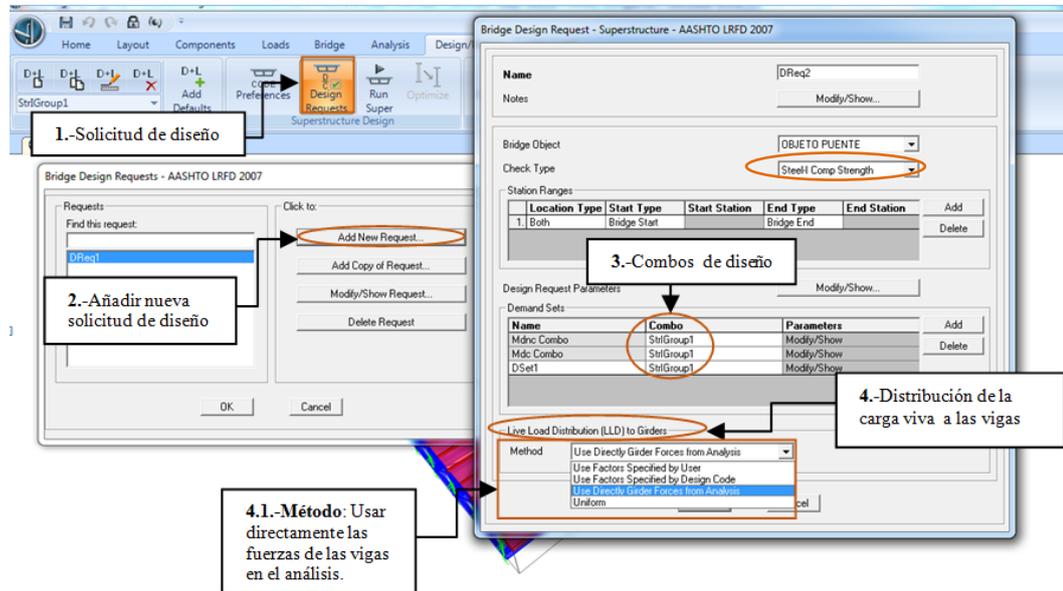


Figura 166. Solicitud para el diseño de puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Crear una solicitud de diseño
2. Añadir una nueva solicitud de diseño
3. Verificar los combos de diseño
4. Indicar la distribución de la carga viva a las vigas
5. Elegir el método para la distribución de la carga viva revisando cuidadosamente cada uno de los parámetros, por lo general se recomienda usar directamente las fuerzas de las vigas en el análisis.

- Enviar a correr dar clic en “Run Super” y se abrirá la siguiente ventana en la cual se debe hacer clic en “Desing Now” para diseñar la superestructura.

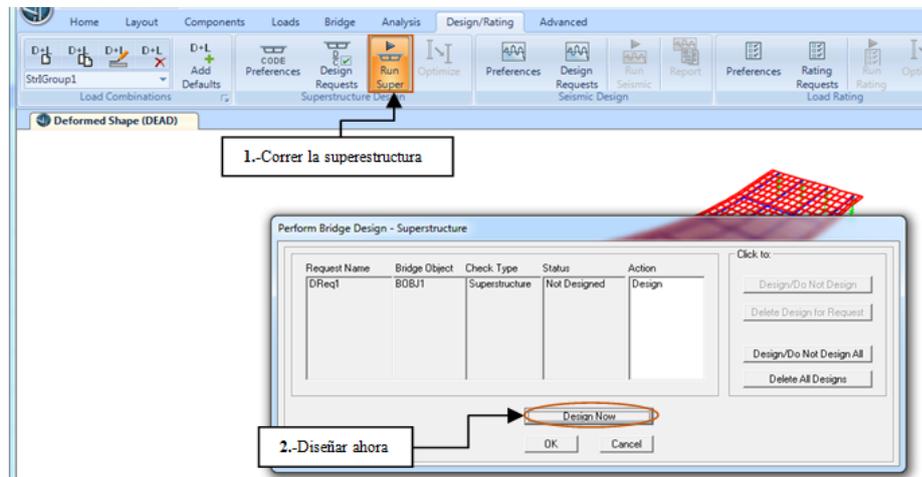


Figura 167. Ventana para enviar a diseñar el puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.9. Diagramas de momentos positivos y negativos

- Posterior al análisis se abre la ventana que se presenta a continuación, en la cual se puede observar el momento positivo o negativo.

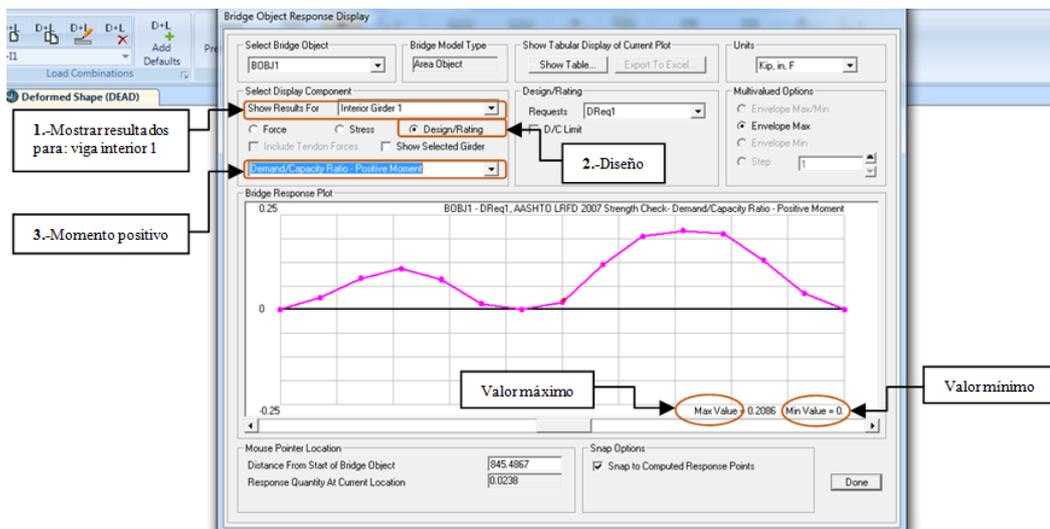


Figura 168. Diagrama de momentos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.10. Optimización del diseño

- Se continua con la optimización del diseño para lo cual ir al menú “Design/Rating” dar clic en “Optimize”

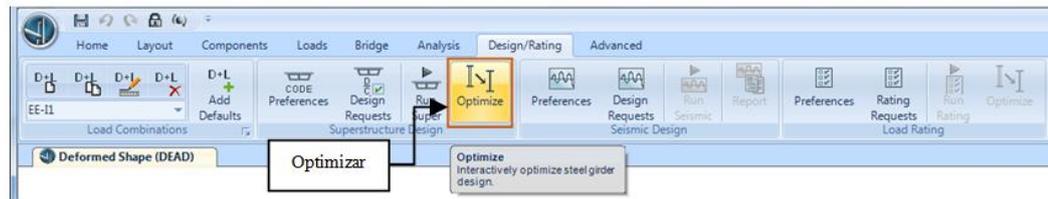


Figura 169. Seleccionar la optimización

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

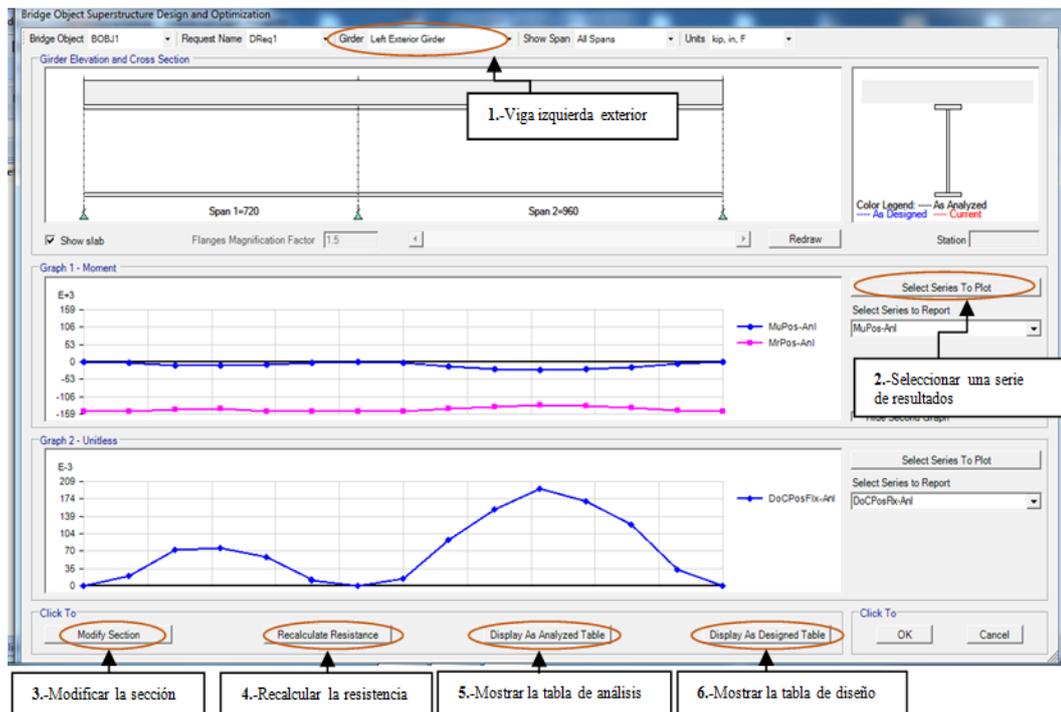


Figura 170. Ventana del diseño optimizado

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Procedimiento de la ventana

1. Elegir la viga que se desea observar los diagramas de momento en toda la longitud del puente o por tramos
 2. Seleccionar los resultados que se requiere obtener y se graficaran automáticamente los resultados.
 3. En esta ventana también permite modificar los resultados de las secciones
 4. Esta opción permite volver a calcular los momentos con las nuevas dimensiones de las vigas modificadas anteriormente.
 5. Permite mostrar una tabla completa de análisis de todas las vigas con sus respectivos resultados
 6. Muestra una tabla completa del diseño que ha realizado el programa
- Para obtener más resultados de los momentos o cortantes dar clic en “**Select Series To Plot**” y se elige como ejemplo la opción “**Negative Flexure**”

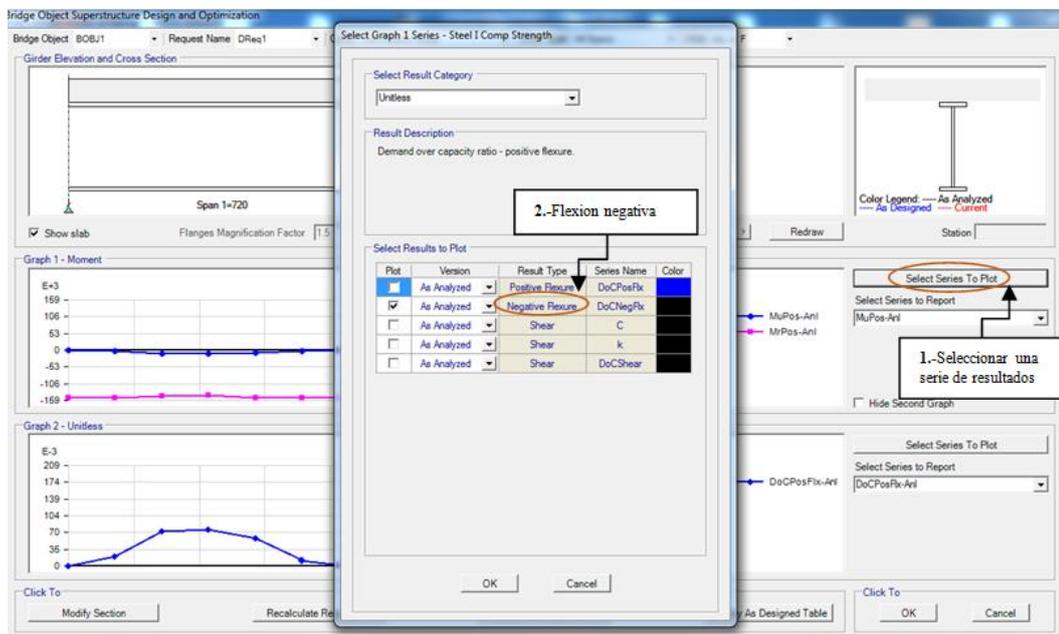


Figura 171. Configuración de los momentos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Ventana con el momento negativo de la viga interior 1; la cual se requiere cambiar sus dimensiones hacer clic en “**Modify Section**” como se muestra en la figura 172.

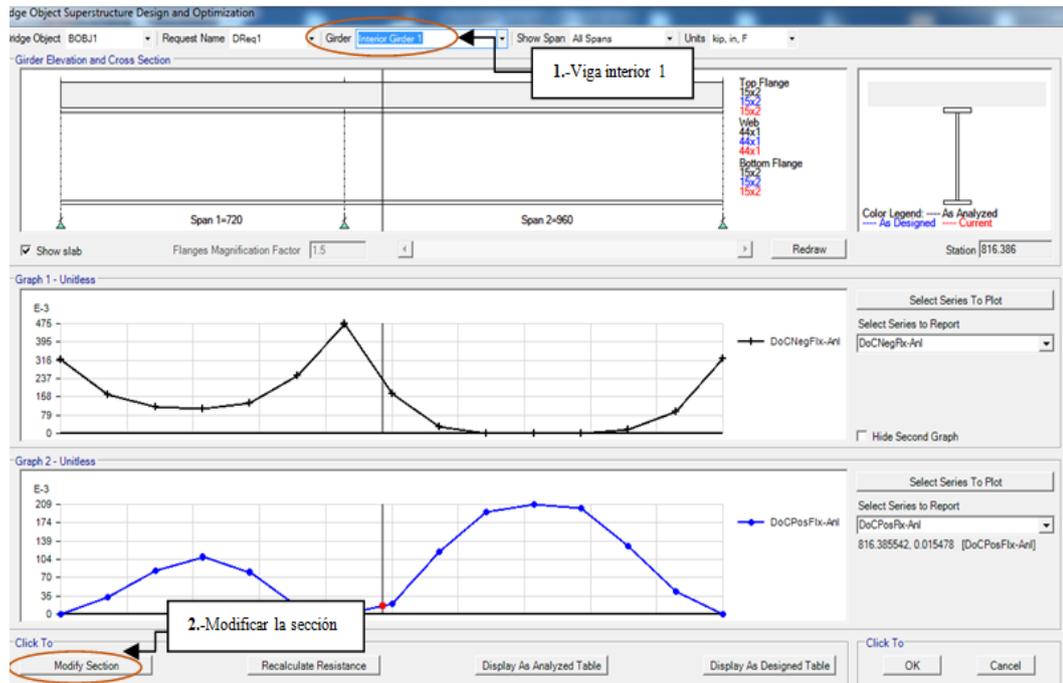


Figura 172. Ventana para modificar las dimensiones

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se abre esta ventana en donde se puede modificar las dimensiones de las vigas ubicado en la parte inferior de la imagen

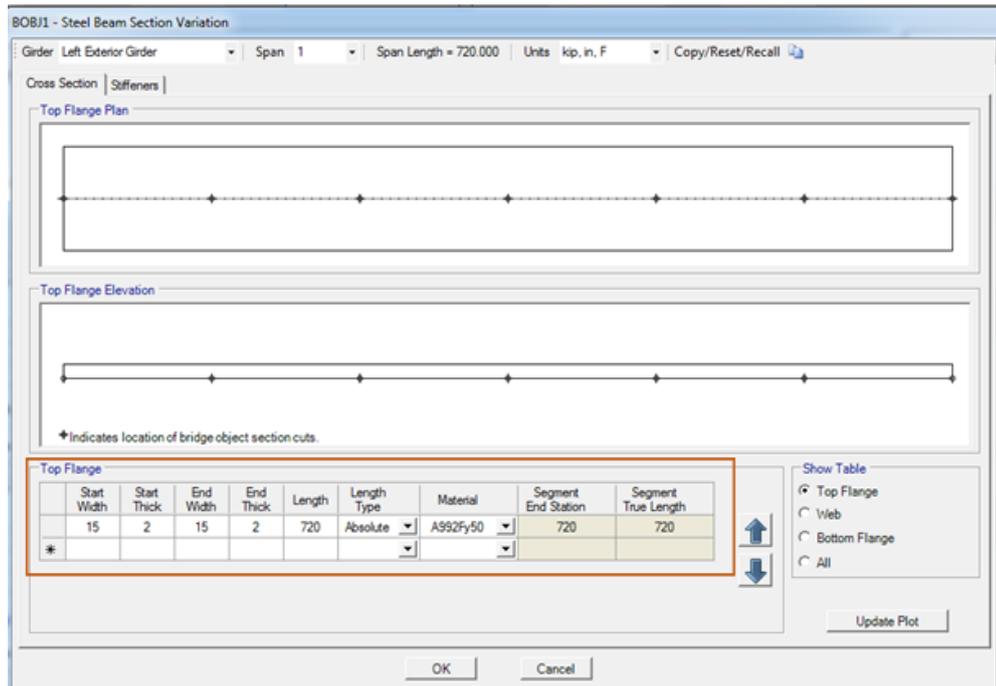


Figura 173. Valores a modificar

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez que se cambie las dimensiones es necesario volver a calcular los valores de cortantes y momentos, por ello dar clic en **“Recalculate Resistance”** y en **“Aceptar”**.

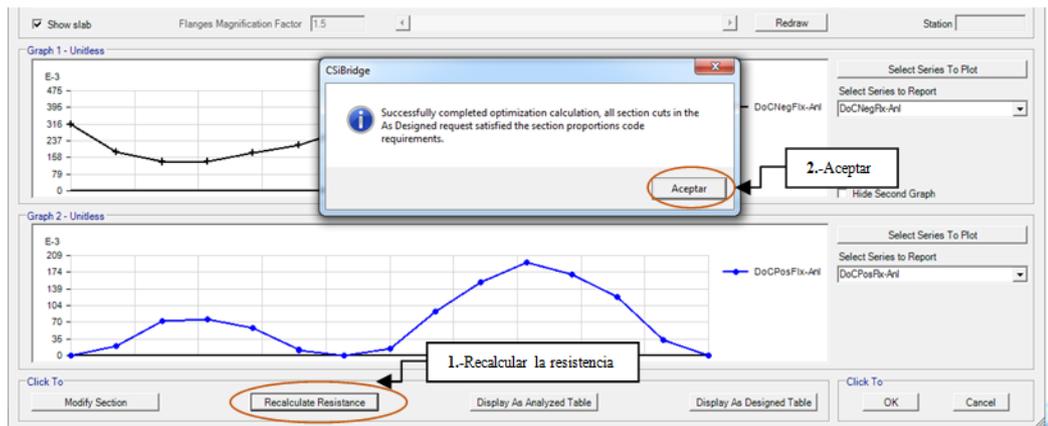


Figura 174. Ventana para recalculer los valores modificados

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se abre la siguiente ventana con los diagramas de momentos y cortantes, para poder observar los valores del momento a una cierta distancia seguir los pasos indicados en la figura 175.

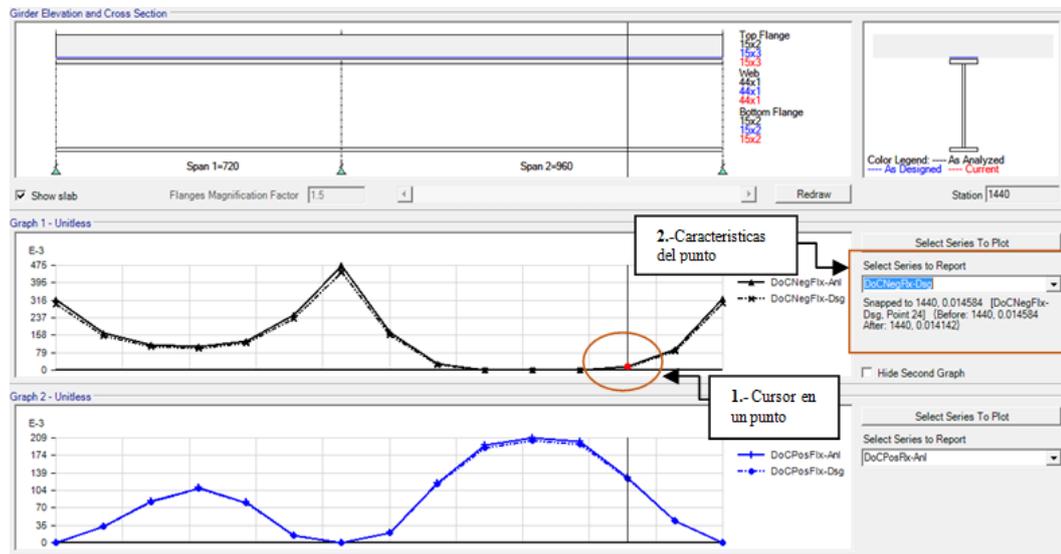


Figura 175. Determinar los valores de momento en un cierto punto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego hacer clic en “Ok”, se abrirá la siguiente ventana dar clic en “Unlock” para aplicar los cambios realizados al objeto puente y “Aceptar” y se encuentra completado la optimización de las vigas.

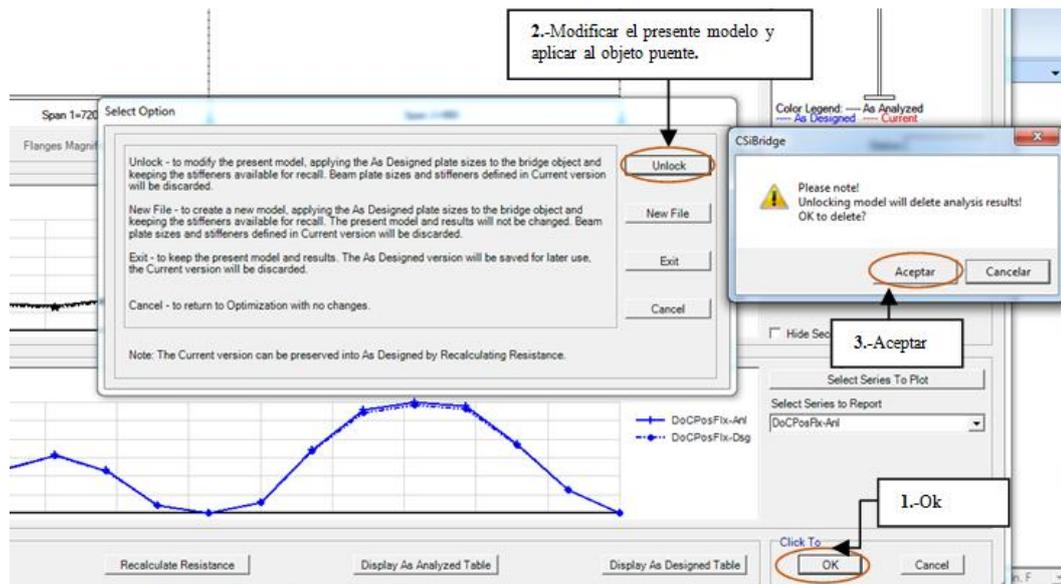


Figura 176. Completar la optimización

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.1.11. Análisis del diseño

- Al estar ya optimizado el diseño se debe volver analizarlo para visualizar su comportamiento, dar clic en “Run Analysis”.

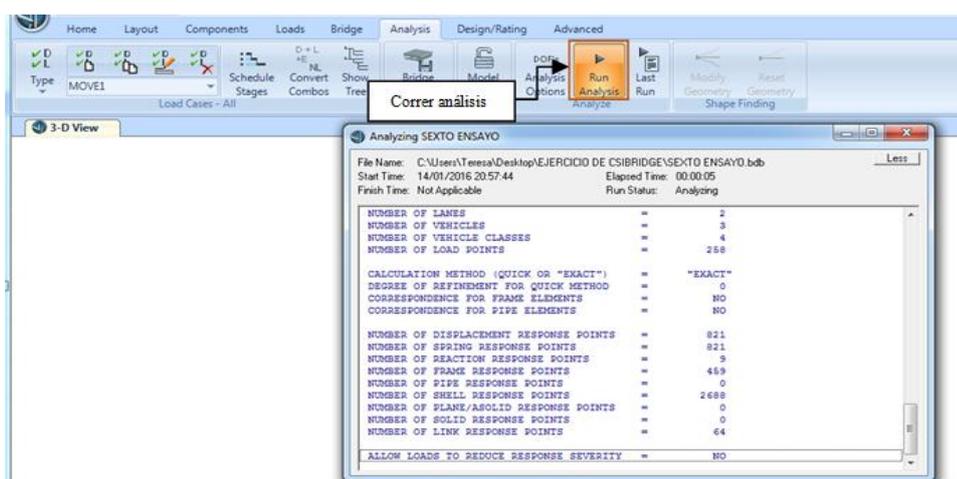


Figura 177. Análisis del Diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.2. Diseño y evaluación de los diafragmas y arriostramientos horizontales

7.6.3.2.1. Añadir de forma externa los arriostramientos horizontales

- Añadir en la parte inferior de las vigas metálicas, para dibujar estos elementos ir al menú “**Advance**” hacer clic en el icono dibujar, y se abrirá una ventana en la cual se debe seleccionar el ángulo que se ha empleado y en la opción “**Moment Releases**” especificar como “**Continuous**” para simular el efecto de soldadura.

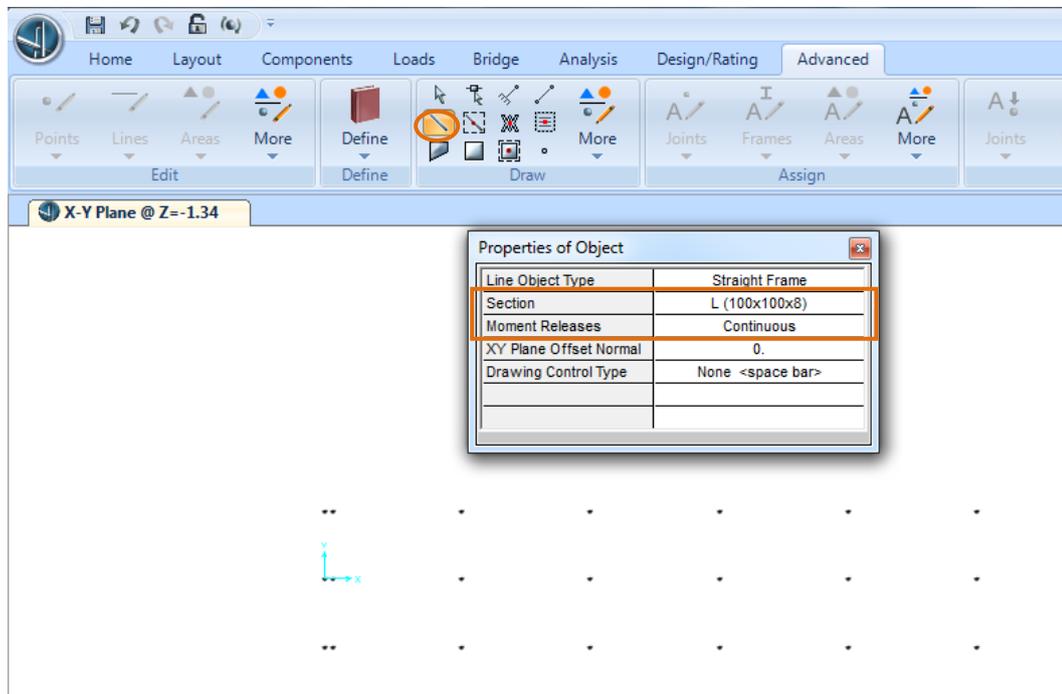


Figura 178. Elección de la sección a dibujar

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se procede a dibujar como se muestra en la figura.

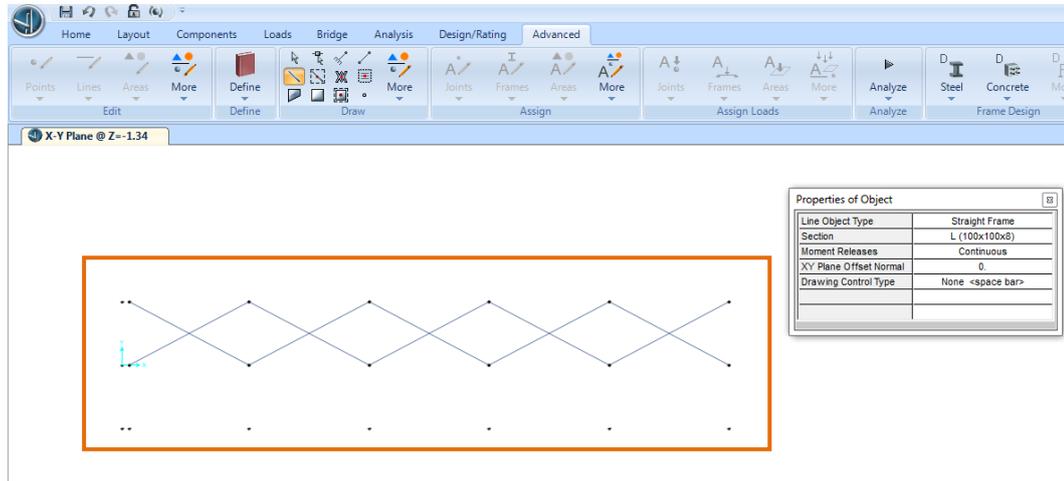


Figura 179.Dibujo de los arriostramientos horizontales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al terminar de dibujar se encuentra de la siguiente forma

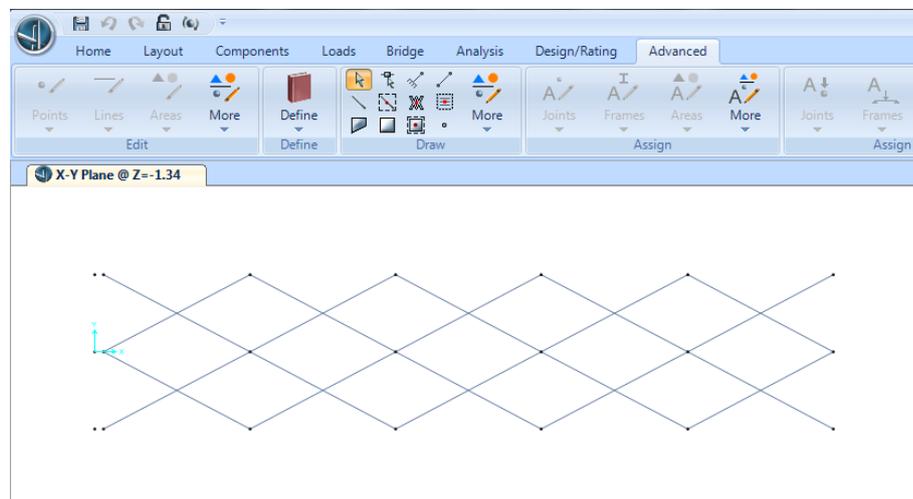


Figura 180.Vista de los arriostramientos horizontales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.3.2.2. Evaluar los Arriostramiento horizontales

- Dirigirse al menú “Advance”, seleccionar el icono “Steel” elegir la opción “View/Revise preferences” se abrirá una nueva ventana en la cual se indica el código de diseño empleado

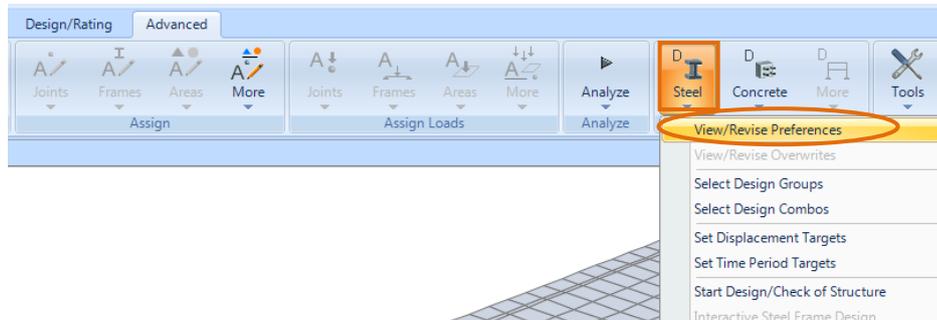


Figura 181. Preferencias a emplear en el diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente ventana se verifica que se esté trabajando con la norma AISC360 como se muestra a continuación luego dar clic en “Ok”

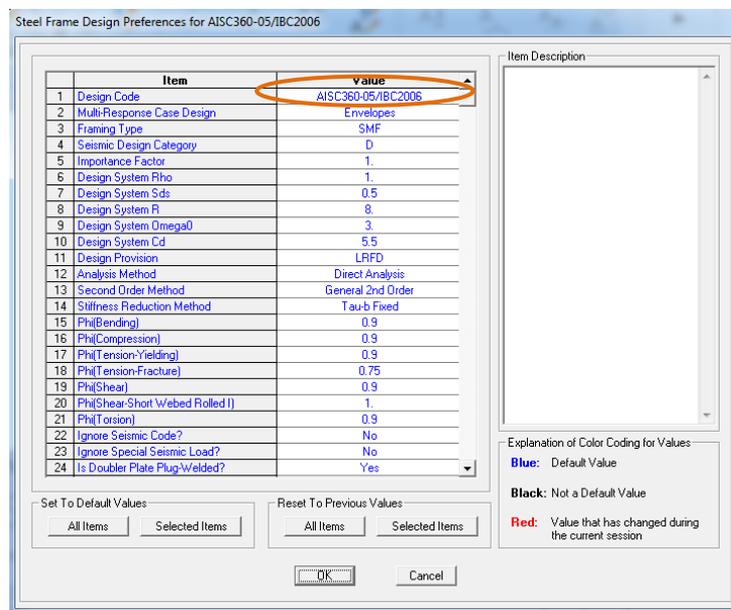


Figura 182. Normas y parámetros de diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Inmediatamente dirigirse al icono “Steel” y elegir la opción “Select Design Combos”

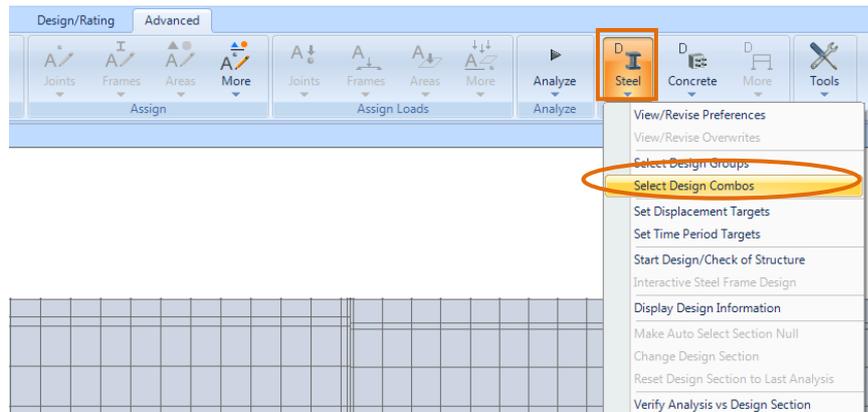


Figura 183.Opción para agregar los combos de diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se despliega la siguiente ventana en la cual se ingresa la combinación de carga “SrtI Group 1” al elegirla en la parte izquierda y dar clic en “Add” se colocara en la parte derecha como se muestra en la figura, también se debe elegir “Deflection” en la opción “Load Combination Type” y dar clic en “Ok”

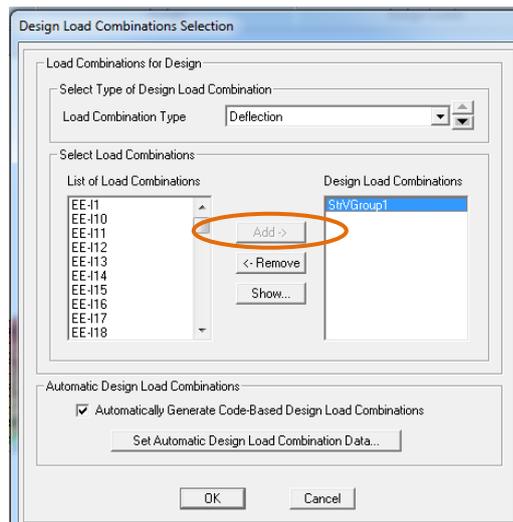


Figura 184.Combinaciones de carga incluidas en el diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Nuevamente dirigirse al icono “Steel”, elegir la opción “Start Design/Check of Structure” en donde iniciara el diseño y chequeo de la estructura metálica

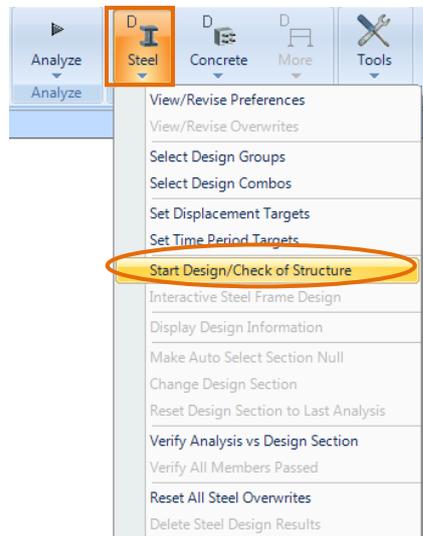


Figura 185.Enviar a diseñar la estructura metálica

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Para poder visualizar de mejor manera el diseño ir al menú “Home” elegir el icono “Select” y seleccionar la opción “Properties” y posteriormente escoger “Frame Section”

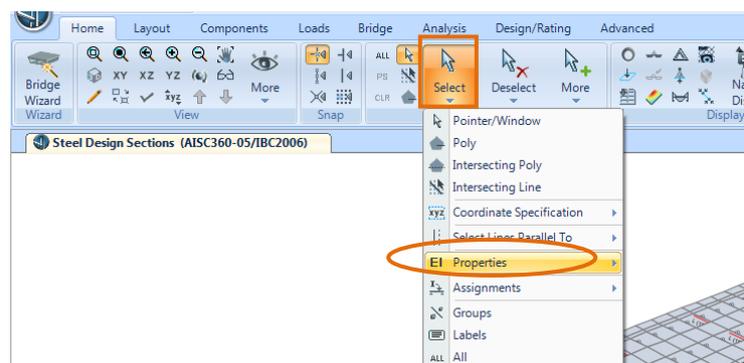


Figura 186.Elegir las propiedades

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Aparecerá la siguiente ventana en la cual se elige la sección de los diafragmas y arriostramientos antes dimensionados.

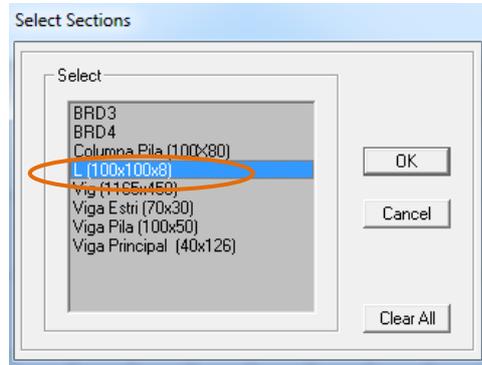


Figura 187. Eleccion del ángulo de (100x100x8) mm

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Como se muestra en la imagen se encuentran seleccionados los diafragmas y arriostramientos horizontales.

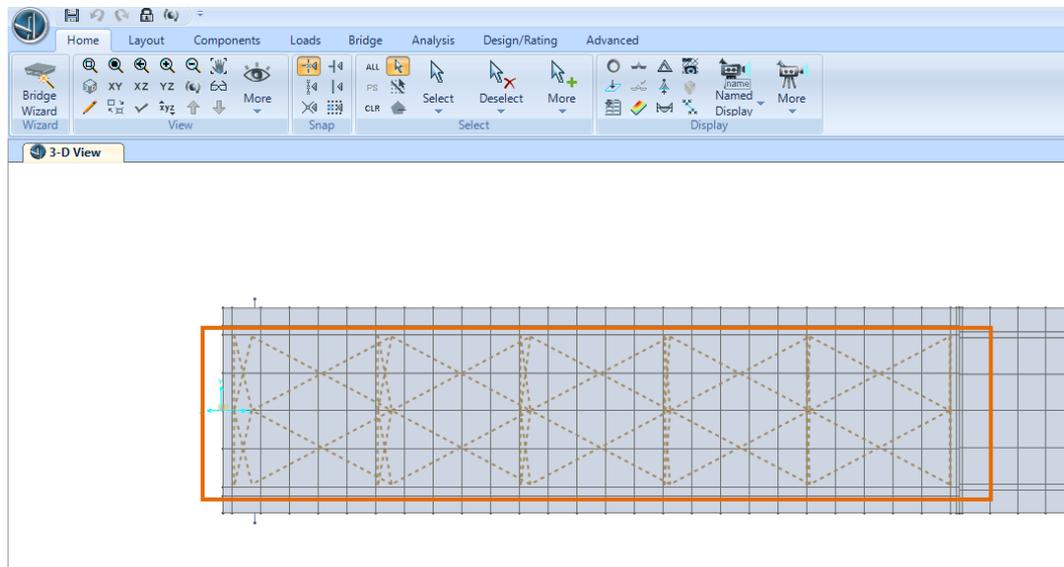


Figura 188. Ubicación de los diafragmas y arriostramientos horizontales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después dirigirse hacia el icono “**More**”, seleccionar la opción “**Show Selection Only**”

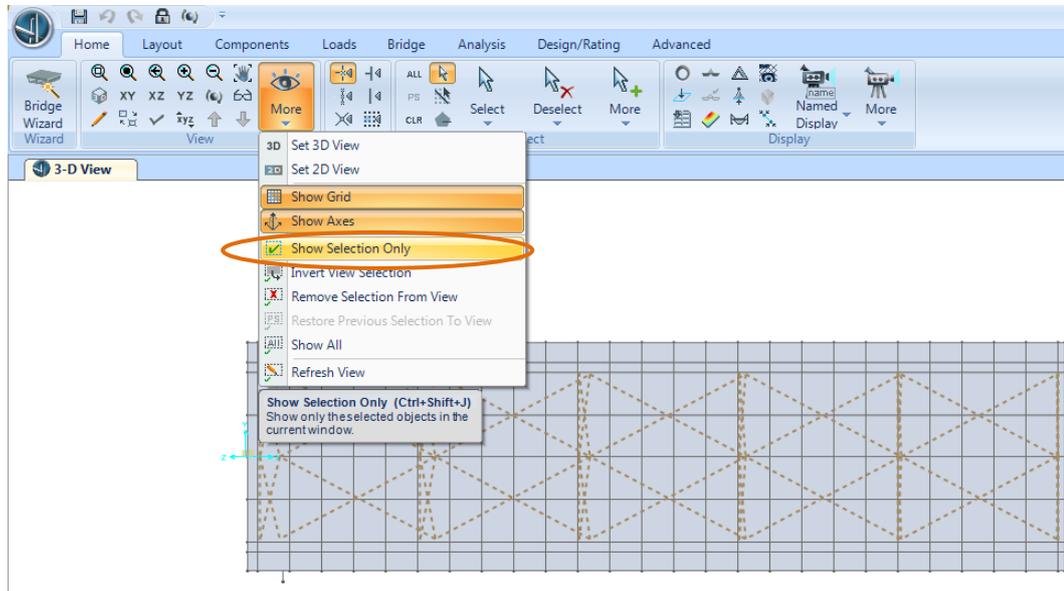


Figura 189.Selección de los diafragmas y arriostramientos horizontales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente ventana se puede observar que el diseño de los diafragmas verticales, se encuentra de un color verdoso lo cual indica que están trabajando de 0 hasta 50% de lo requerido, mientras que los arriostramientos horizontales se encuentran en rojo por lo tanto se realizará un análisis en valores para poder determinar la falla.

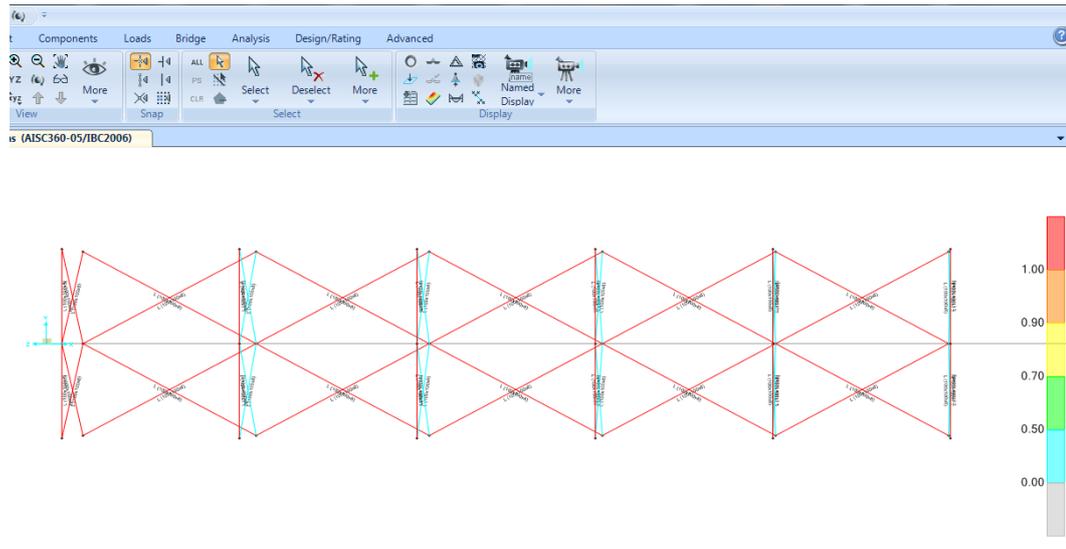


Figura 190. Diseño de la estructura metálica

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Nuevamente dirigirse al icono “Steel”, elegir la opción “Display Design Information” y en la ventana que se despliega dar clic en “Ok”

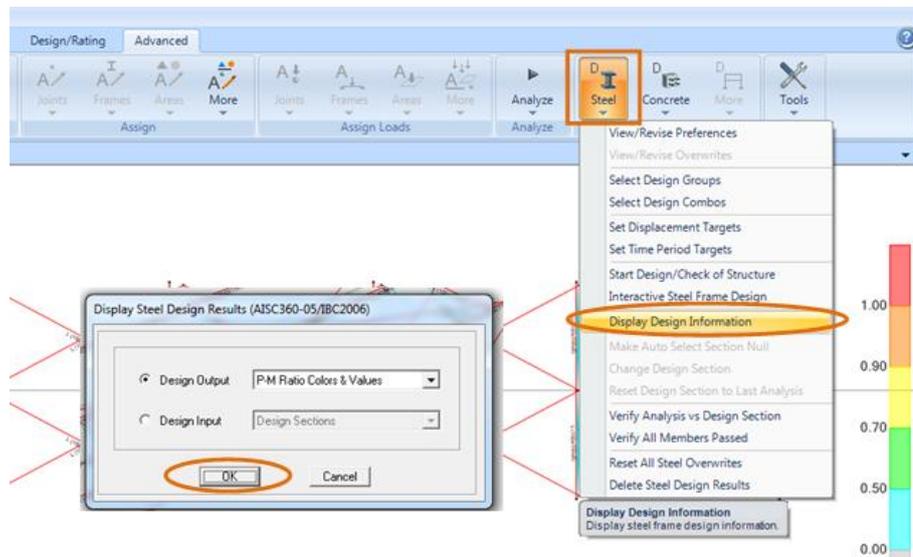


Figura 191. Pasos a seguir para mostrar los valores de diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez realizado este cambio se indican los valores en porcentaje, en donde se pudo analizar que los diafragmas del inicio del puente requieren de una mayor sección ya que se encuentran trabajando 1.85 es decir más de lo que resisten mientras que en los arriostramientos horizontales los que se encuentran trabajando más de lo que resisten son los seleccionados de la parte derecha con un valor de 4.18.

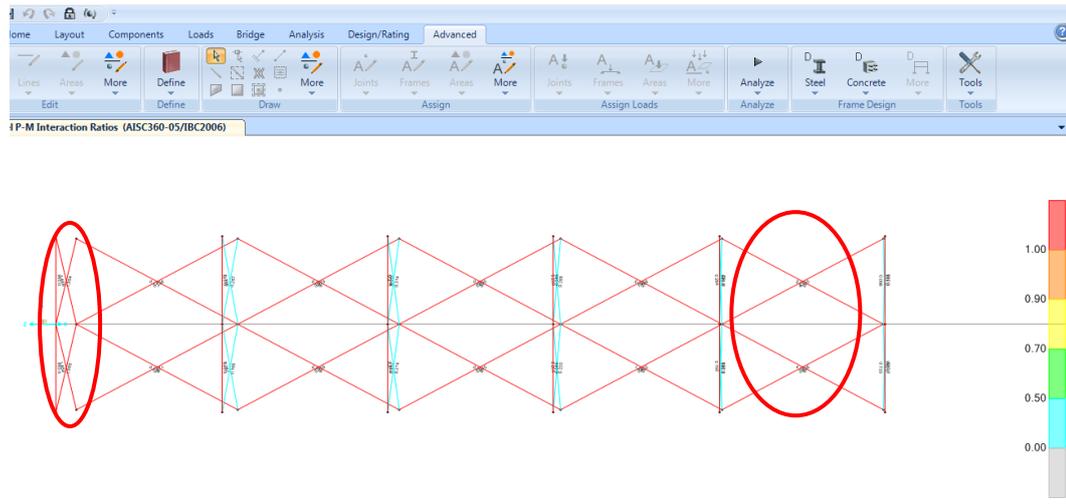


Figura 192.Chequeo de la estructura metálica

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En los demás arriostramientos se verificaran los detalles de diseño para encontrar la falla, para ello dirigirse hacia el elemento, dar clic derecho y se abrirá la siguiente ventana, donde se elige la opción **“Details”**

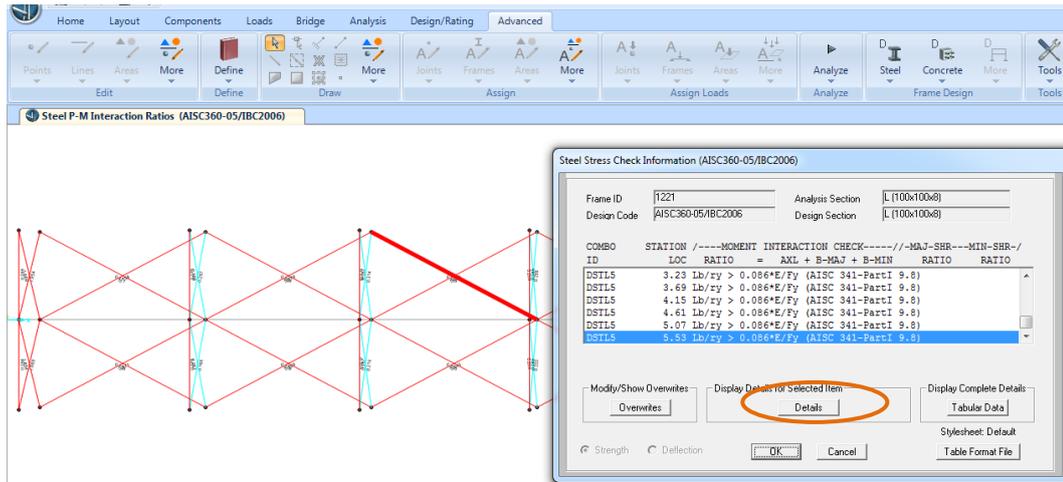


Figura 193. Selección del ángulo a chequear

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente ventana se observa todos los detalles de diseño del elemento y los problemas que enfrentan los arriostramientos horizontales

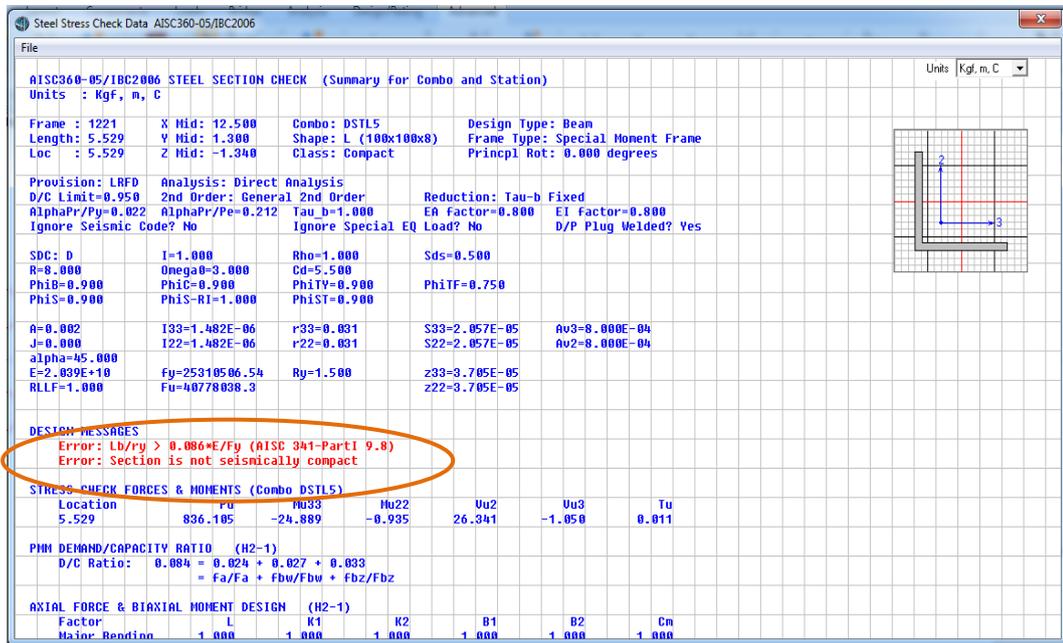


Figura 194. Detalles del ángulo de 100x100x8

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.4. Diseño a sismo de puentes en el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.4.1. Análisis dinámico por espectro de respuesta

- Ir al menú “Loads” hacer clic en “New Spectrum” y elegir la opción “From File” para ingresar desde un archivo txt.

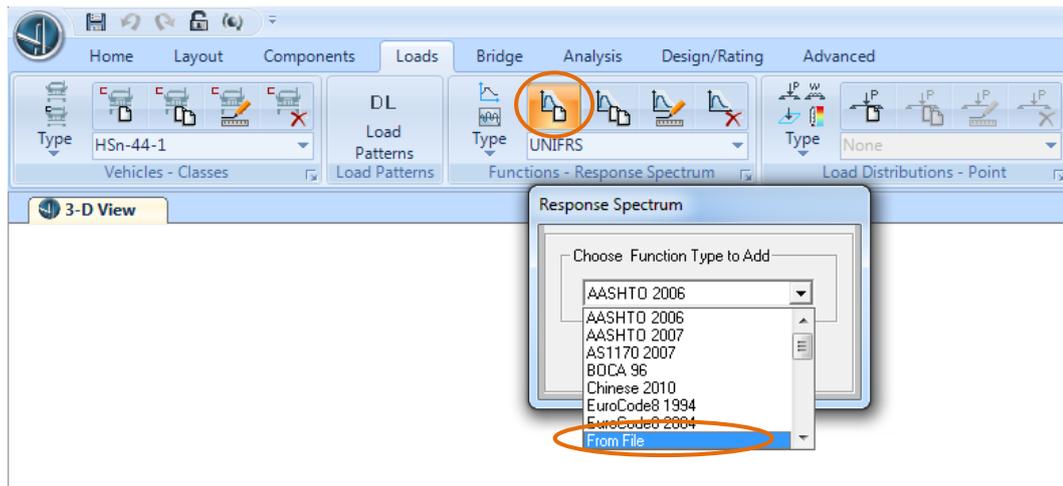


Figura 195. Crear el espectro desde un archivo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se abre el siguiente cuadro de dialogo en el cual se elige el icono “Browse”

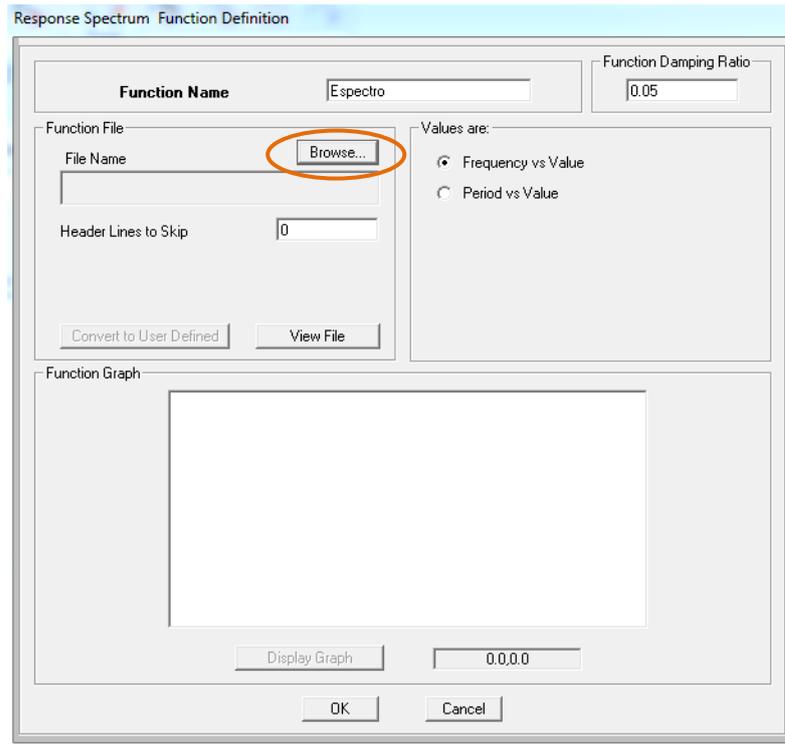


Figura 196.Opciones para añadir el espectro

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego ubicamos el archivo del espectro inelástico en la carpeta que hemos guardado con la terminación txt al encontrarlo presionamos abrir.

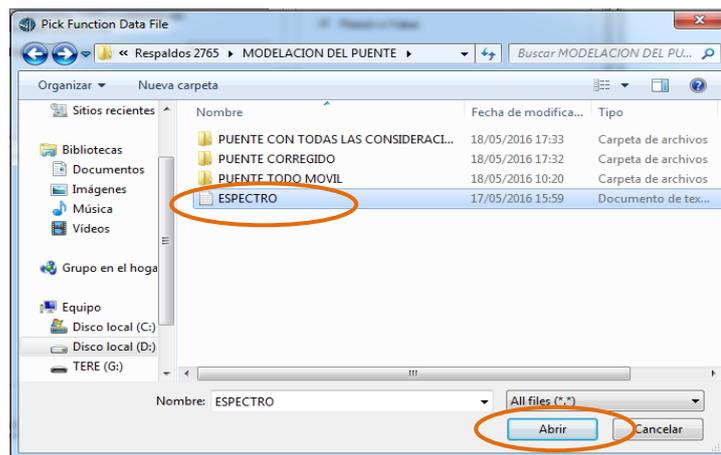


Figura 197.Busqueda del archivo en txt.

Fuente: Autor

- A continuación se puede observar que ya se encuentra cargado el archivo, seleccionar **“Period vs Value”** y posteriormente presionar el botón **“Display Graph”** para visualizar la gráfica del espectro.

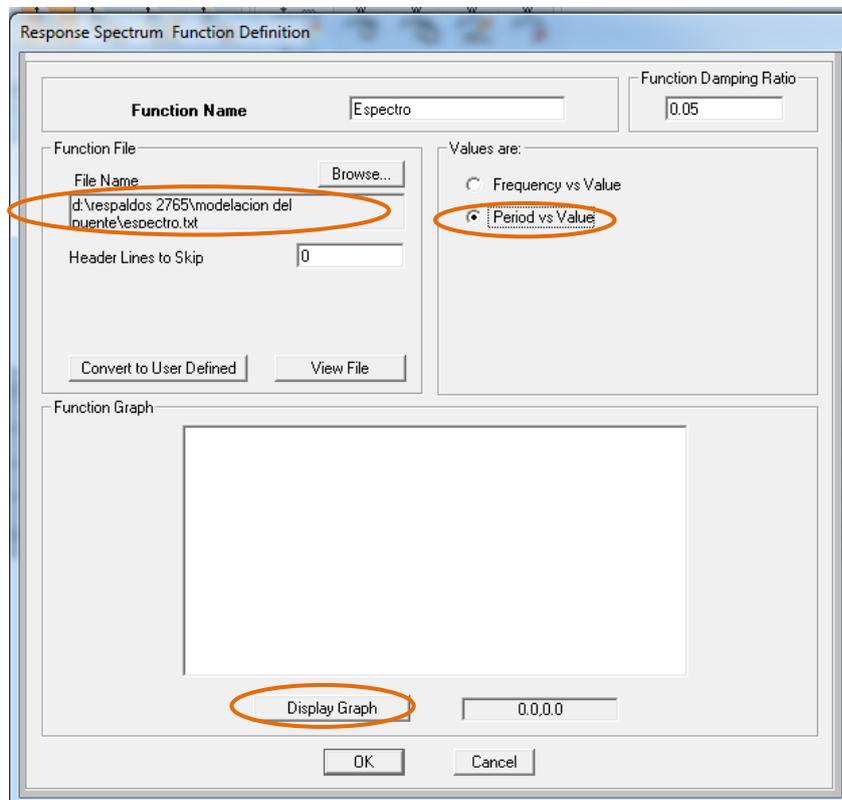


Figura 198.Ingreso de los datos del espectro

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Por último se observa la gráfica del espectro como se muestra en la siguiente figura una vez finalizado dar clic en **“Ok”**

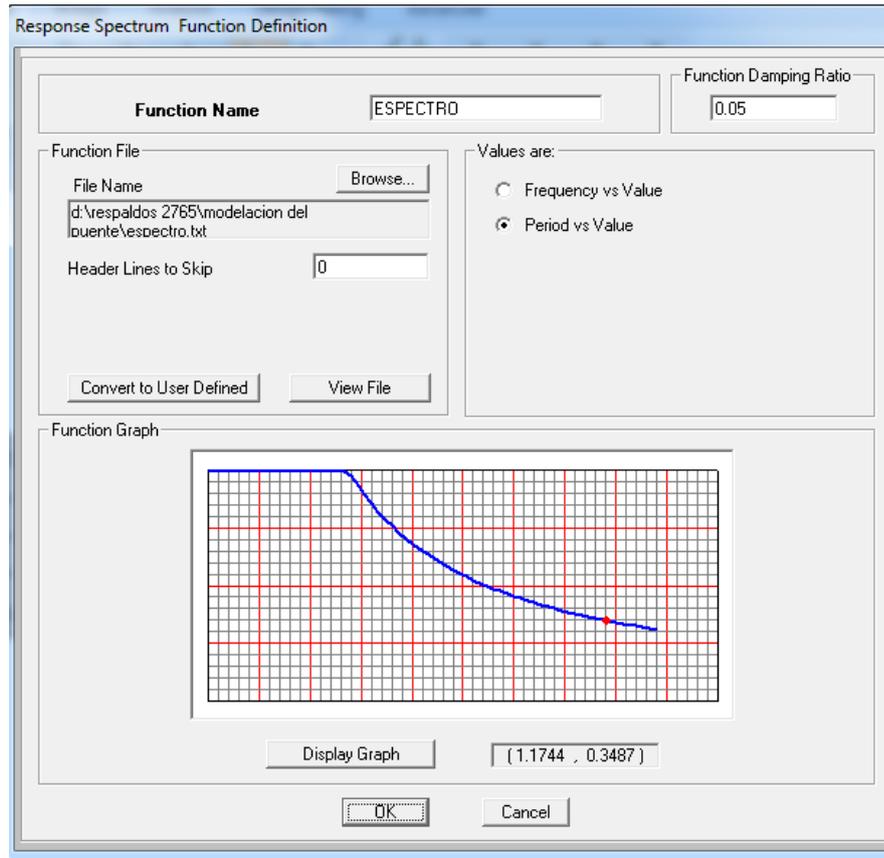


Figura 199.Configuración del espectro

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.6.4.2. Definición de los casos para el análisis dinámico a sismo

El espectro que se definió en el paso anterior nos sirve para generar unos casos de cargas para un análisis dinámico del puente, para cada una de las direcciones.

- El primer paso a seguir es ir al menú **“Analysis”** seleccionar el icono **“Type”**, y elegir el literal **“Responce Spectrum”**

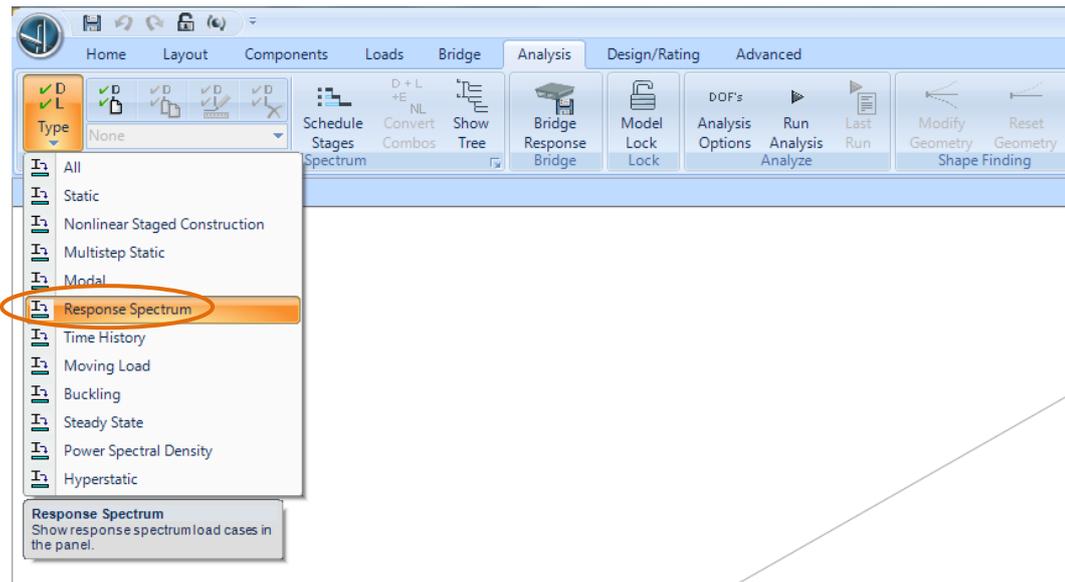


Figura 200. Añadir las cargas de espectro

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El primer caso creado será para la dirección “X”

1.-Hacer clic en “**New Reponse Spectrum**” y se abrirá la siguiente ventana

2- Luego dirigirse a “**Modal Combination**” y elegir la opción “**CQC**” que significa la ecuación cuadrática completa, este método fue descrito por **Wilson, Der Kiureghian, y Bayo (1981)**

3.- Dirigirse hacia el enunciado “**Directional Combination**” y elegir el método “**SRSS**” que significa la Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados los demás valores se crean por defecto del programa

4.-Después ir al literal “**Loads Applied**”, en el enunciado de “**Load Name**” colocar la dirección del espectro “U1” con la función del espectro ingresada anteriormente y en la opción “**Scale Factor**” se inserta el valor de la gravedad, ya que nuestro espectro tiene valores adimensionales por lo que se debe introducir el valor de 9.81 m/s^2 ; si nuestros valores de espectro

inelástico ya estarían multiplicados por la gravedad el valor sería “Uno”, y para finalizar hacer clic en “Ok”

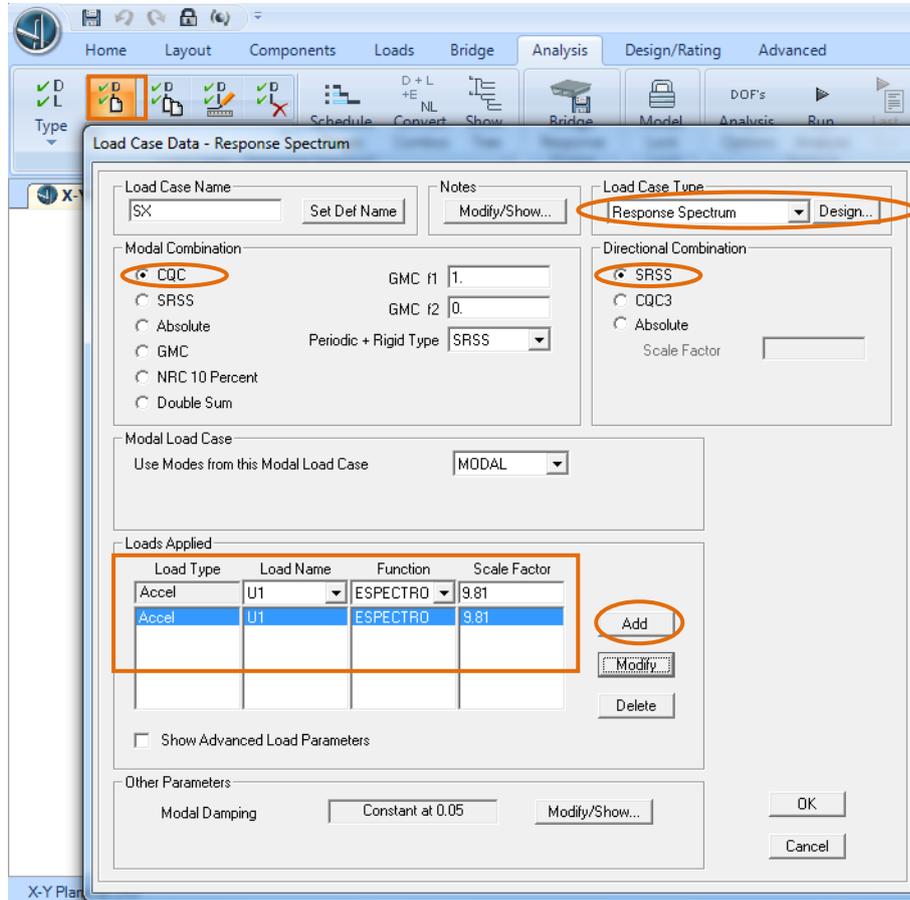


Figura 201. Definición del sismo en “X”

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El mismo procedimiento se realiza para el segundo caso en la dirección “Y”, solo se debe cambiar en la opción “Load Name” la dirección “U2”

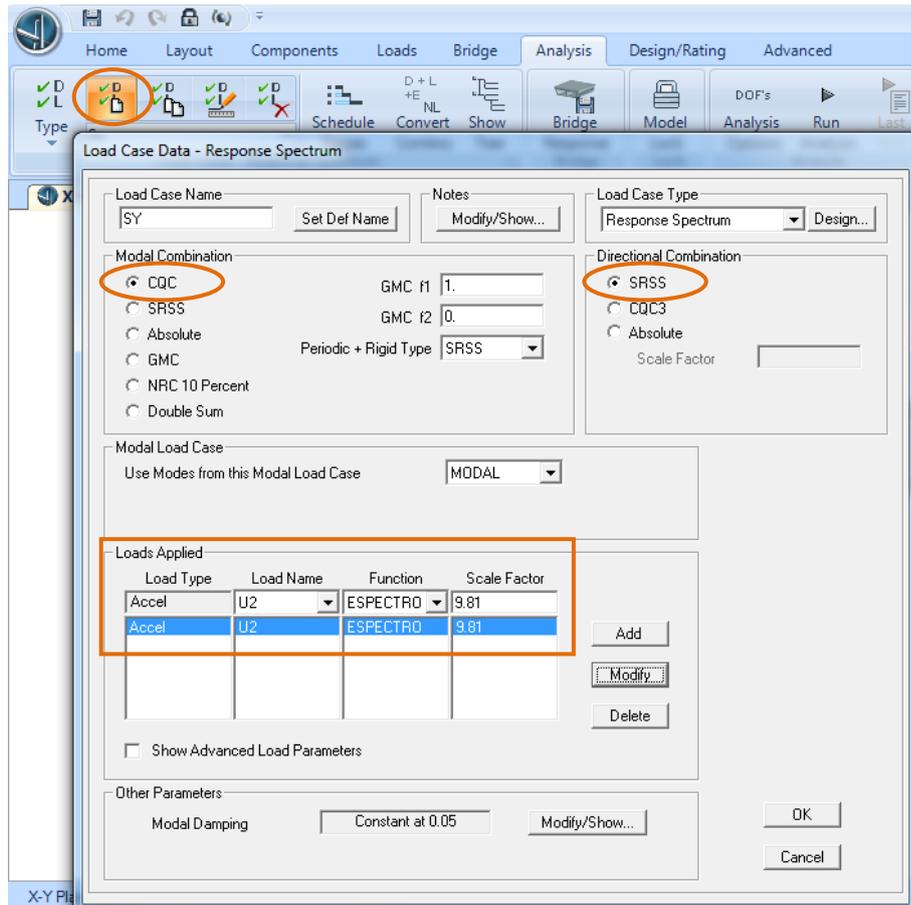
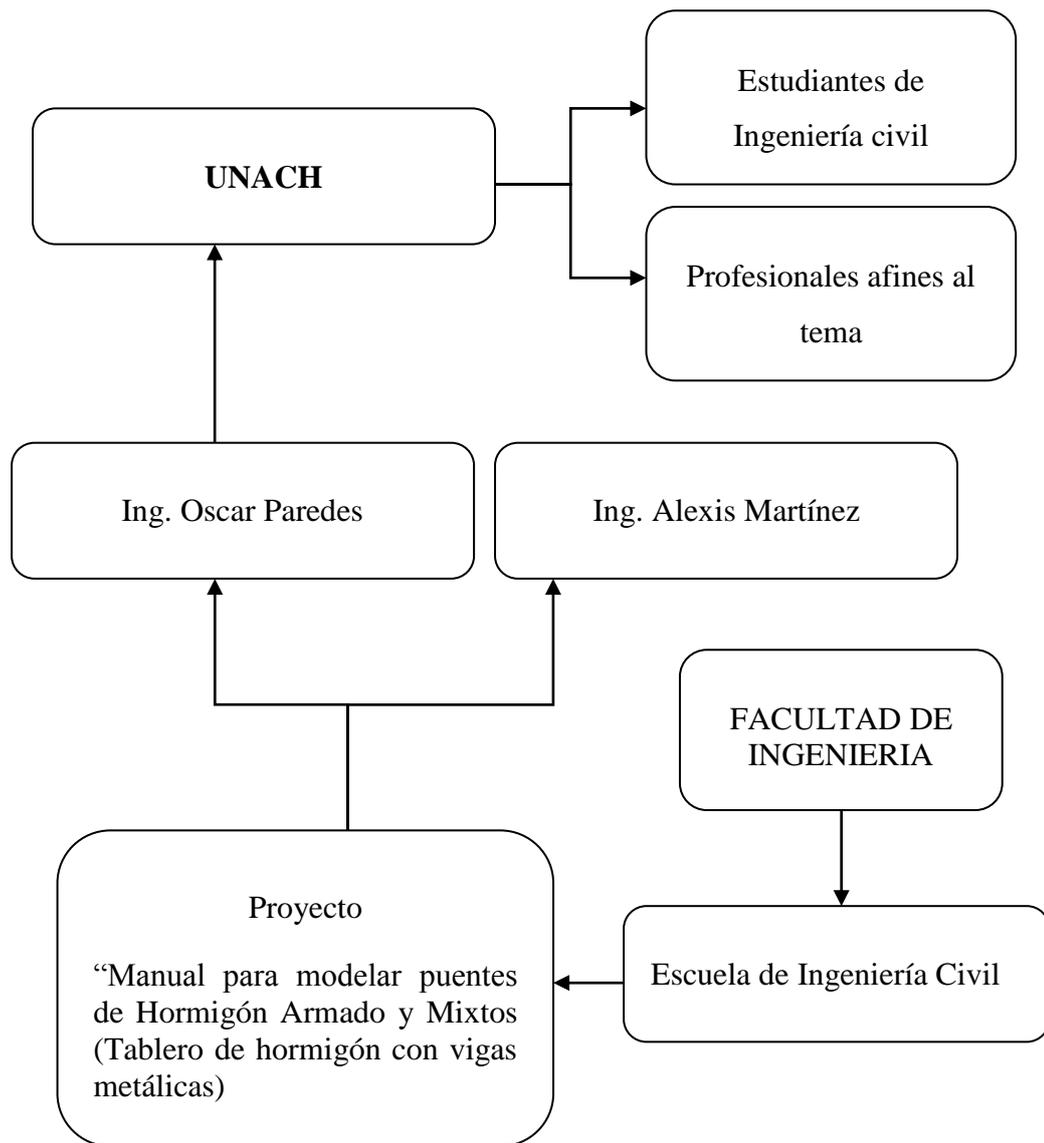


Figura 202.Definición del sismo en “Y”

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

7.7.DISEÑO ORGANIZACIONAL

El análisis del desempeño estructural de puentes a través del programa CSIBRIDGE, desarrollado en esta investigación se podrá llevar a cabo con la colaboración de la Universidad Nacional de Chimborazo, quien tendrá la responsabilidad de socializar este manual como guía de aprendizaje hacia los profesionales interesados en el tema.



7.8.MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Conocer el manejo de un software es de mucha importancia, sobre todo cuando el cálculo es extenso como en el caso de puentes, una herramienta informática genera mayor eficiencia y por ende mayor productividad en el diseño, análisis y evaluación estructural de un puente.

Por este motivo se planteó el manual para puentes de hormigón y mixtos (tablero de hormigón sobre vigas metálicas) en el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACION, con su respectiva evaluación y optimización.

Con ayuda de la Universidad Nacional de Chimborazo y la escuela de Ingeniería Civil se pretende socializar esta guía de aprendizaje, con la finalidad que la sociedad realice un trabajo eficiente con la optimización de tiempo y recursos.

CAPITULO VIII

8. BIBLIOGRAFIA

- 1) AASHTO LRFD BRIDGE (2012), American Association of State Highway and Transportation Officials
- 2) AASHTO LRFD BRIDGE (2007), American Association of State Highway and Transportation Officials
- 3) PUENTES–AASHTO LRFD (2010), Por el Ing. Arturo Rodríguez Serquén (Peru,2012)
- 4) NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN -NEC-SE-DS, cargas sísmicas diseño sismo resistente.
- 5) ANCI/AISC 360-10 American Institute of Steel Construction
- 6) NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12-MTOP, Volumen N°2-LIBRO B NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑO VIAL.
- 7) CONGRESO LATINOAMERICANO EN INGENIERIA CIVIL (JULIACA 2012)
- 8) COMPUTERS Y STRUCTURES INC.
- 9) TESIS “Métodos de Análisis Sísmico de Puentes Simplemente Apoyados”
AUTORES: CAPT. DE E. Gudiño Auz Edison Fernando y CAPT. DE E. Ayala Salcedo Fredy Gustavo

CAPITULO IX

9. ANEXOS

9.1.ANEXO.- Ejemplo de aplicación del manual mediante la modelación de la superestructura del puente Matus-Aulabug ubicado en el cantón Penipe, empleando el software CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN.

9.1.1. Datos del Puente

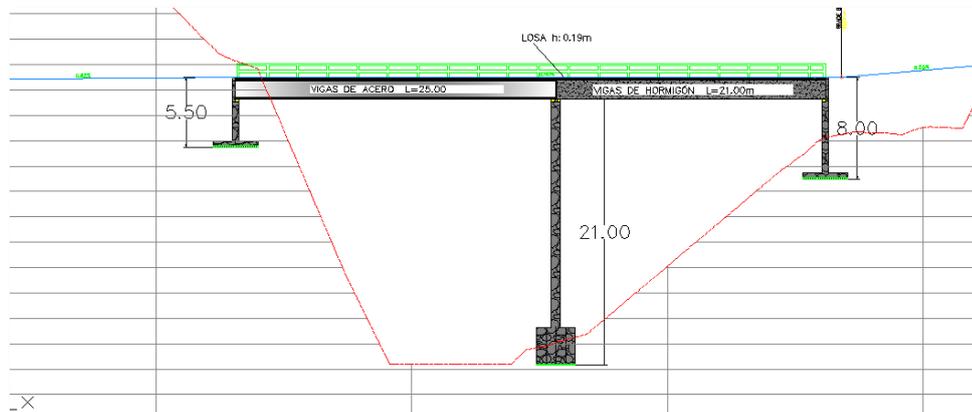


Figura 203. Puente Matus–Aulabug

Fuente: Detalles puente Matus-Aulabug

Consideraciones Generales

Peso de la carpeta de rodadura= 0.12T/m²

Peso de barandas= 0.15T/m²

Postes=0.1T

5 Postes a cada lado en la sección de vigas de hormigón (tramo 21m).

7 Postes a cada lado en la sección de vigas de acero (tramo 25m).

Camión de diseño HS 15-44

9.1.1.1. Detalles de la sección transversal de concreto

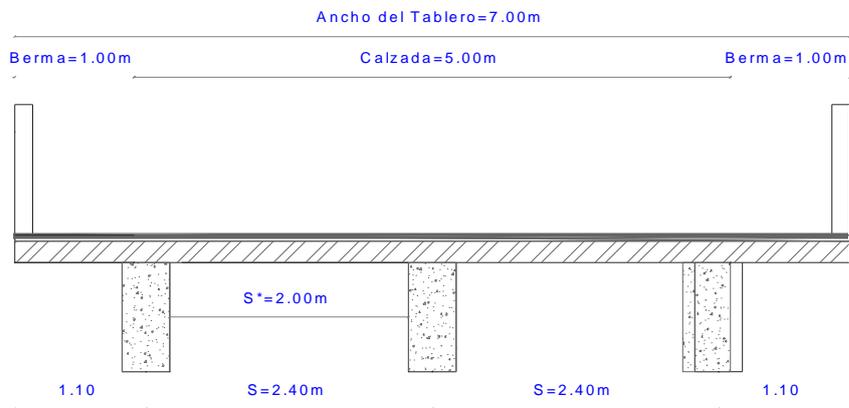


Figura 204. Sección transversal del tramo de concreto

Fuente: Detalles puente Matus-Aulabug

Tipo de superestructura:

- Simplemente apoyado
- Vigas y tablero de hormigón
- Longitud del puente 21 m
- Número de vigas 3

Sección transversal:

- Ancho total 7.00 m
- Ancho de calzada 5.00 m
- Número de vías 2

Parámetros utilizados

- Hormigón $F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo $Fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

9.1.1.2. Detalles de la sección transversal de acero

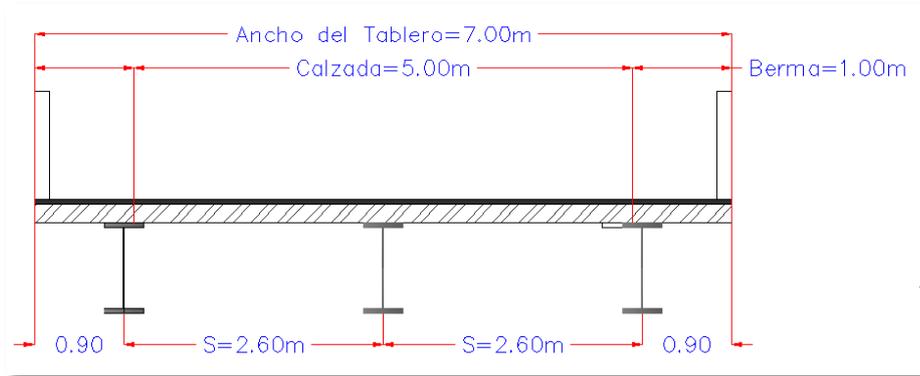


Figura 205. Sección transversal del tramo metálico

Fuente: Detalles puente Matus-Aulabug

Tipo de superestructura:

- Simplemente apoyado
- Vigas metálicas y tablero de hormigón
- Longitud del puente 25 m
- Número de vigas 3

Sección transversal:

- Ancho total 7.00 m
- Ancho de calzada 5.00 m
- Número de vías 2

Parámetros utilizados

- Hormigón $F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
- Vigas de Acero Estructural (A 588; AASHTO Standard): con un $F_y = 345 \text{ MPa} = 3500 \text{ Kg/cm}^2$
- Peso específico del Hormigón (2.4 Tn/m^3)
- Peso específico del Acero (3.5 Tn/m^3)
- Arriostramientos y Conectores Acero ASTM A-36

9.1.2. Modelación con la plantilla en blanco del puente Matus-Aulabug

- Abrir en programa CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

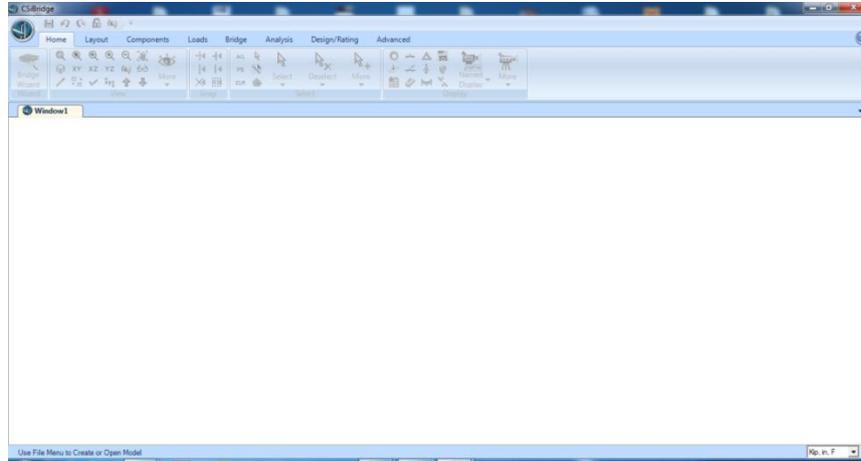


Figura 206.Ventana de trabajo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la parte inferior derecha, escogemos las unidades en las que vamos a trabajar, en este caso serán kg/m

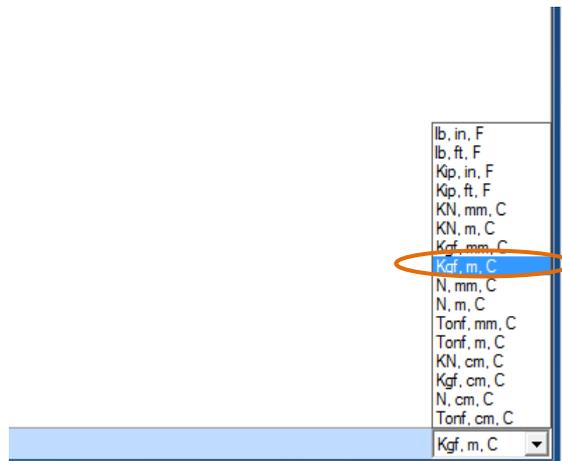


Figura 207.Selección de unidades

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Ir al menú “ORB” que se encuentra en la parte superior izquierda y seleccionar “New”

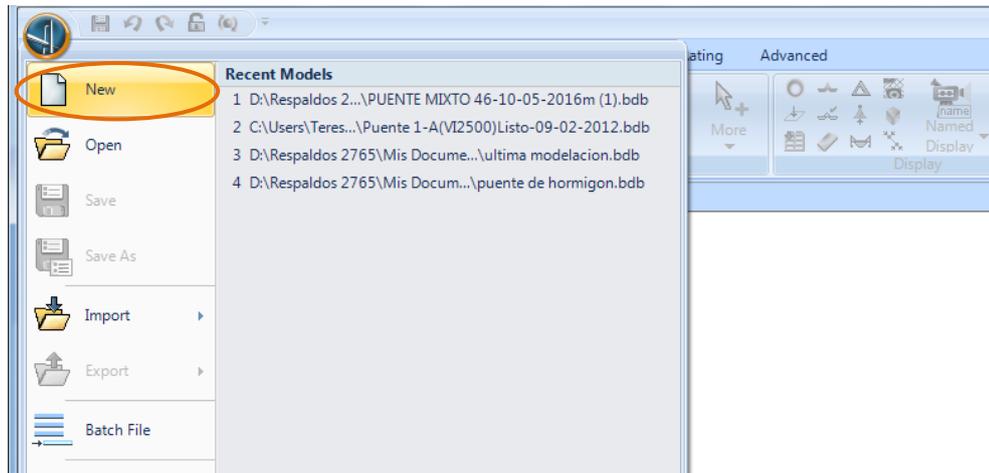


Figura 208. Crear un nuevo modelo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación nos saldrá un cuadro de dialogo en el cual se elige la plantilla en blanco

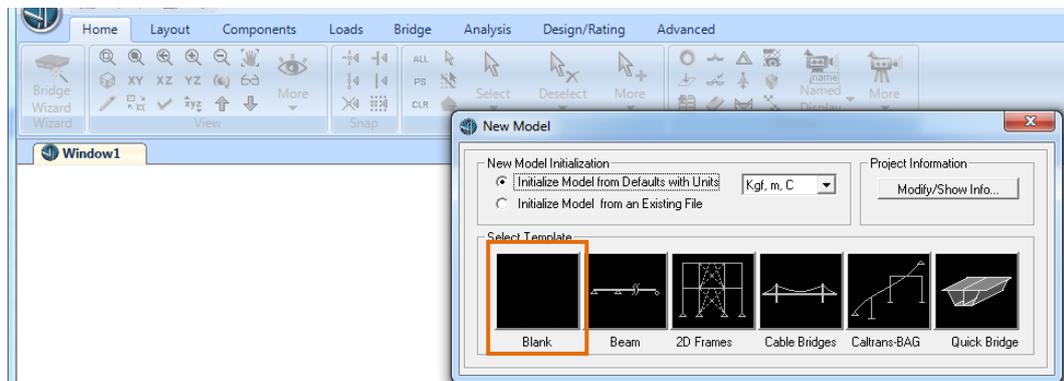


Figura 209. Selección de la plantilla del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se activaran todas las opciones para poder configurar de acuerdo a las características del puente

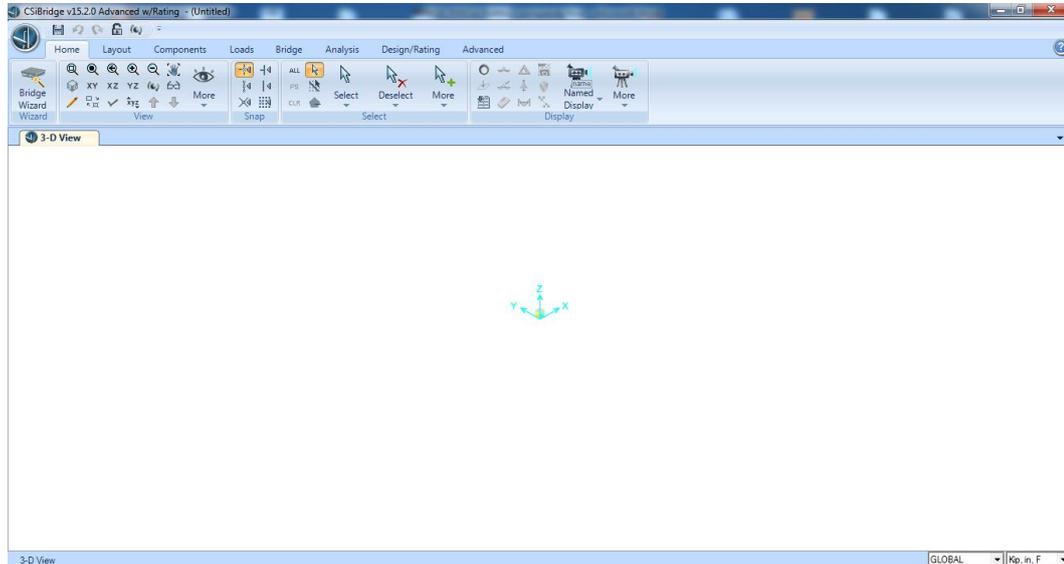


Figura 210. Ventana lista para crear el modelo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.1. Definición de la línea base

- Se inicia la modelación con la definición de la línea base, ir al menú **“Layout”** y posteriormente a la opción **“New Layout”** e ingresar la longitud del puente igual a 46m.

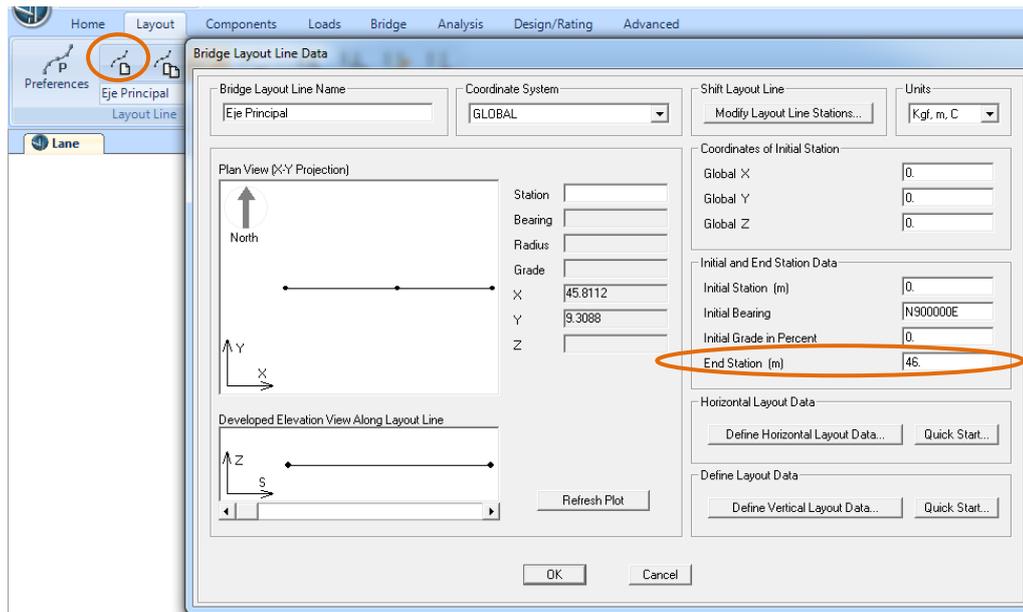


Figura 211.Definición de la línea base

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.2. Definición de los carriles

- El siguiente paso es: la definición del carril derecho con un ancho de 2.5m y un desfase al centro de 1.25m tal y como se muestra en la sección transversal del puente, y debido a que el carril se encuentra con una berma de 1 m en el borde derecho se tomara como interior tanto a la izquierda como a la derecha en la opción **“Lane Edge Type”**.



Figura 212.Detalle de la sección transversal del puente

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el río Calshi

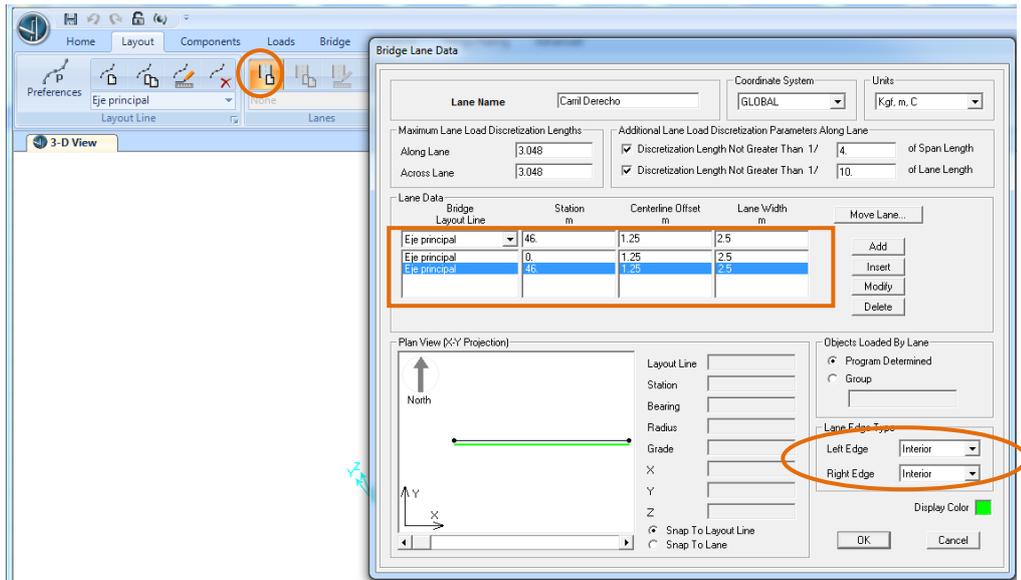


Figura 213. Definición del carril derecho

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después se realiza la definición del carril izquierdo con las mismas características del carril anterior pero con signo negativo como se muestra en la siguiente figura.

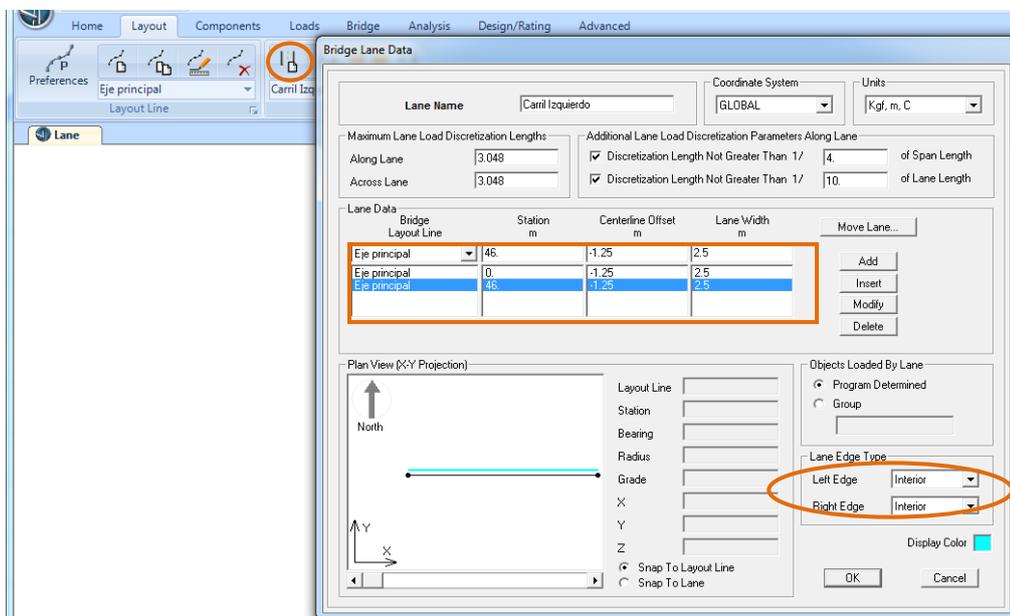


Figura 214. Definición del carril izquierdo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después se puede visualizar los carriles en el menú “Home”, haciendo clic en “More” y elegir la opción “Show Lane”

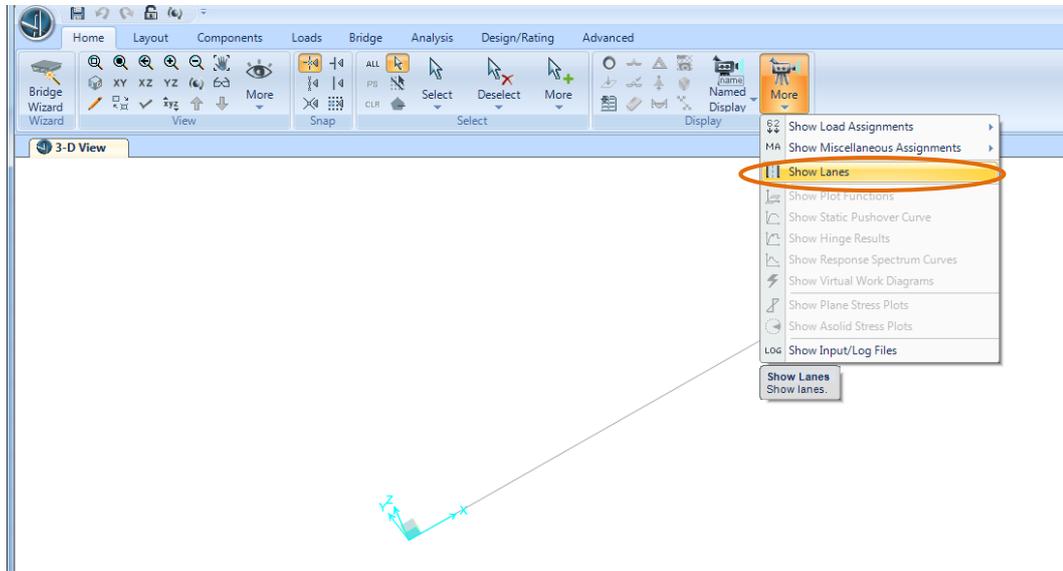


Figura 215.Configuración para visualizar los carriles

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se muestra los carriles definidos anteriormente con sus respectivos anchos.

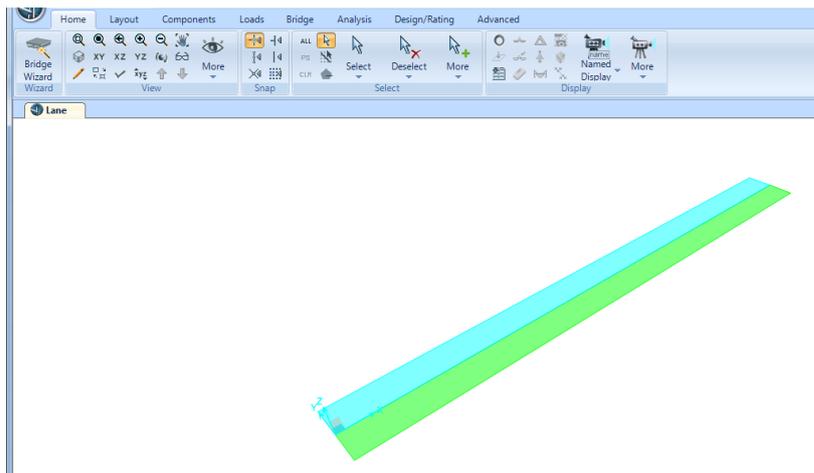


Figura 216.Observar los carriles

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.3. Definición de las propiedades de los materiales

9.1.2.3.1. Tramo de hormigón

$f'c$ (vigas y tablero)=280 kg/cm²

f_y =4200 kg/cm²

$E=4700 \overline{f'c}$ en Mpa = 2487006.2 Ton/m²

Coefficiente de Poisson (ν)= 0.2

Peso específico (γ) =2.4 T/m³

Coefficiente de expansión térmica = 9.9×10^{-6}

- Definición en el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN los materiales empleados en el tramo de hormigón ir al menú “**Components**” y elegir la opción “**Material Properties**”

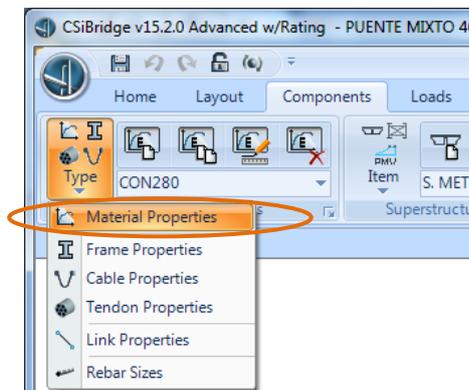


Figura 217. Crear un nuevo material

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se crea automáticamente un tipo de material del hormigón el cual se debe modificar las características anteriormente mencionadas para $f'_c=280$ kg/cm², dar clic en “**Modify Property**”

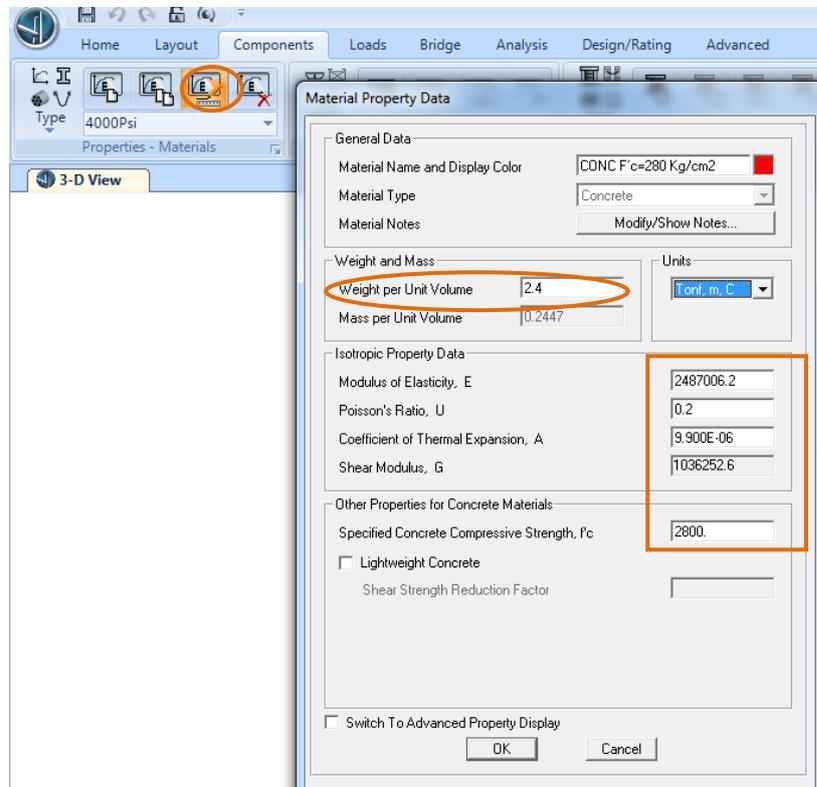


Figura 218.Definición de las características del hormigón

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El siguiente material a definir es el acero de refuerzo en las vigas de hormigón se designa al hacer clic en “**New Material**”, seleccionar “**Rebar**” en tipo de material y se activa automáticamente las propiedades y hacer clic en “**Ok**”.

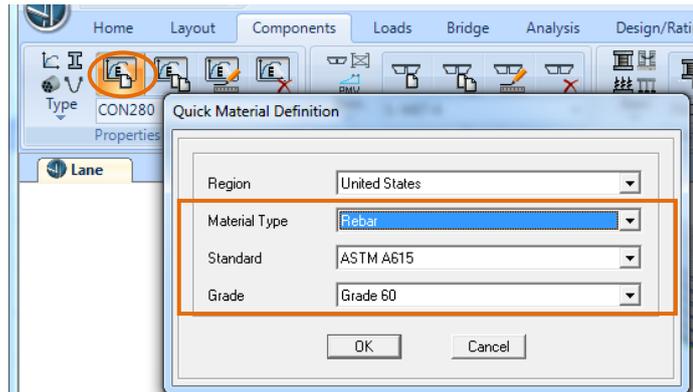


Figura 219.Definición del acero de refuerzo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Verificar las características del material dar clic en “**Modify Properties**” se puede observar las características del material.

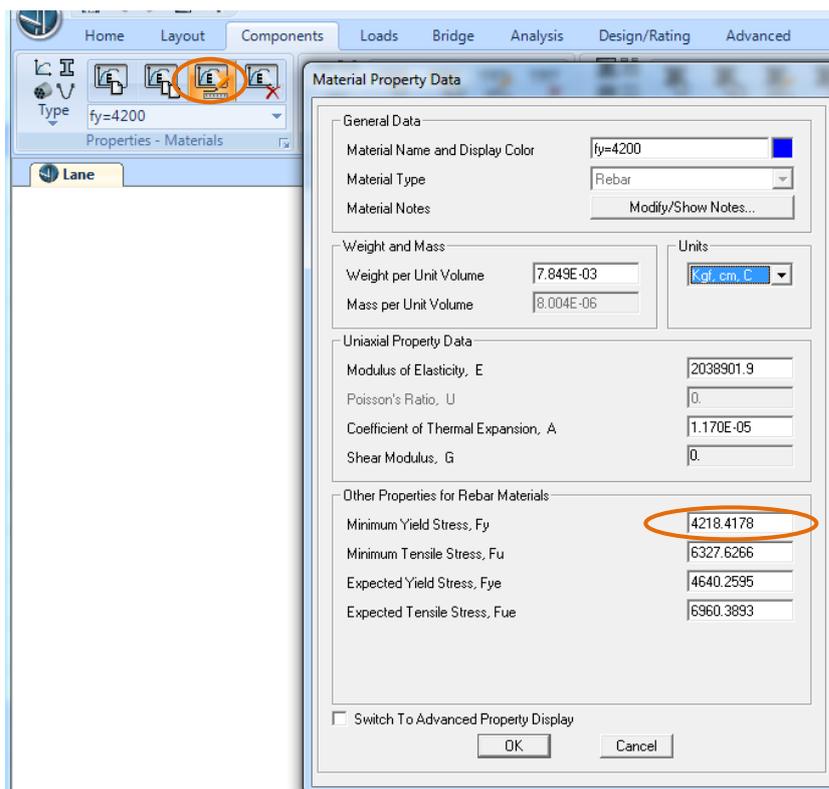


Figura 220.Propiedades del acero de refuerzo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.3.2. .Tramo Metálico

A continuación se define las características del acero en el tramo Metálico

ASTM A36

$$F_y = 2531 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_u = 4077 \frac{kg}{cm^2}$$

Peso específico $\gamma = 7850 \text{ kg/cm}^3$

Módulo de elasticidad longitudinal o (Young) $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de Poisson $\nu = 0.3$ (0.25 a 0.33)

Coefficiente de dilatación térmica $\alpha = 1.17 \times 10^{-5} / \text{C}$

Módulo de elasticidad transversal (Modulo de Corte) $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

- Definición en el CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN el acero ASTM A36 hacer clic en “New Material”, elegir “Steel” en el tipo de material y seleccionar la especificación ASTM A36 creándose automáticamente las características del material

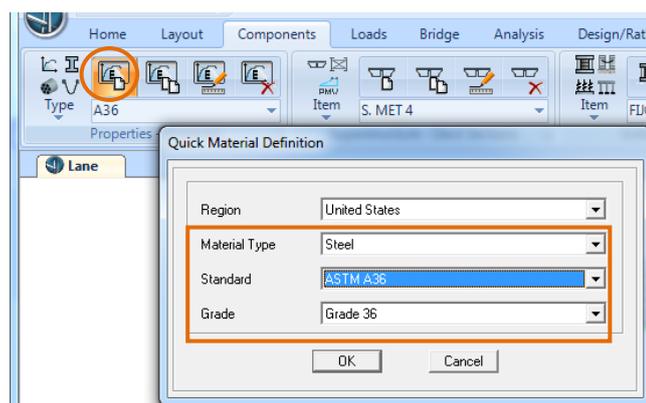


Figura 221. Definición del acero A36

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Verificar las propiedades del acero A36 dar clic en “Modify Property”

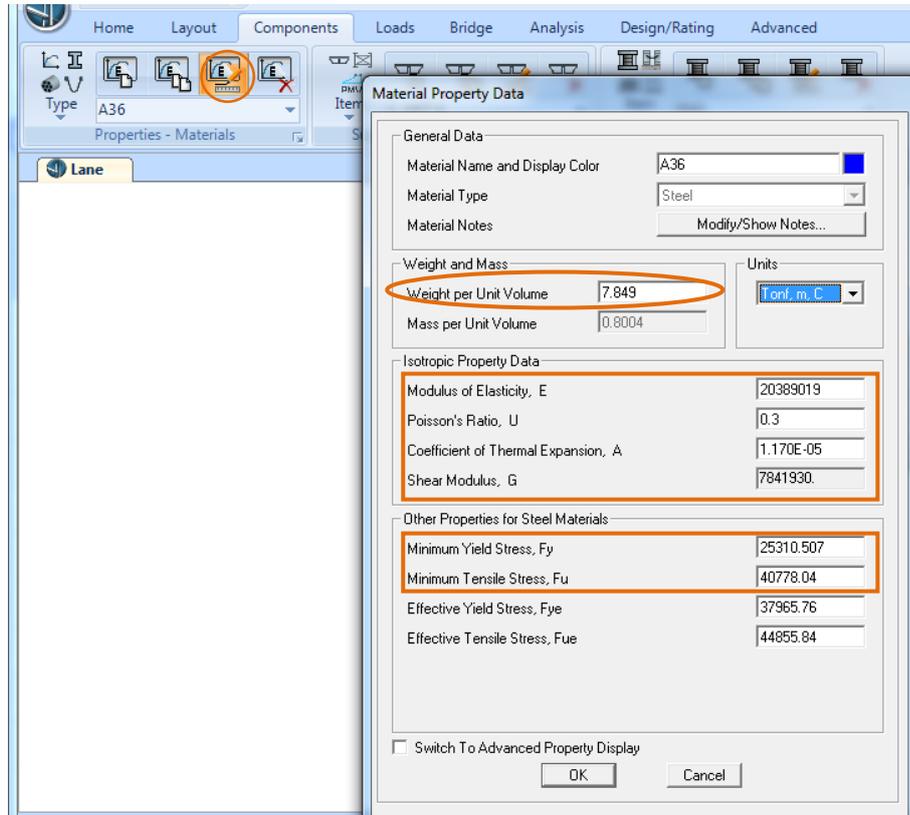


Figura 222. Propiedades del acero A36

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Definición del acero ASTM A588 con las siguientes propiedades

$$F_y = 3515 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_u = 4500 \frac{kg}{cm^2}$$

Peso específico $\gamma = 7850 \text{ kg/cm}^3$

Módulo de elasticidad longitudinal o (Young) $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de Poisson $\nu=0.3(0.25 \text{ a } 0.33)$

Coefficiente de dilatación térmica $\alpha= 1.17 \times 10^{-5} / \text{C}$

Módulo de elasticidad transversal (Modulo de Corte) $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

- Para la definición del acero ASTM A588 dar clic en “**New Material**”, elegir la opción “**Steel**” con la especificación de **ASTM A992** el cual presenta las mismas propiedades del acero A588



Figura 223.Definición del acero A588

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se verifica las propiedades del material hacer clic en “**Modify**”, en este caso solo se cambia el nombre debido a que todas las características del material coinciden.

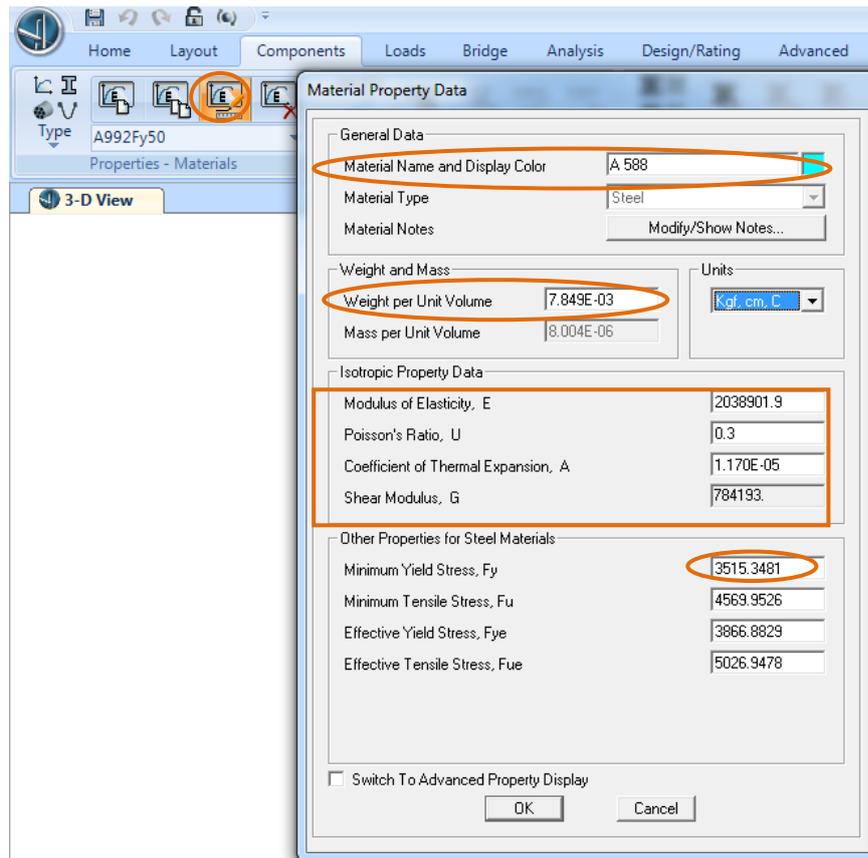


Figura 224.Propiedades del acero A588

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.3.3. Definición de las propiedades de las secciones

9.1.2.3.4. Definición de las secciones de hormigón

- El primer paso para añadir nuevas secciones es ir al menú “**Components**” y elegir la opción “**Frame Properties**”.

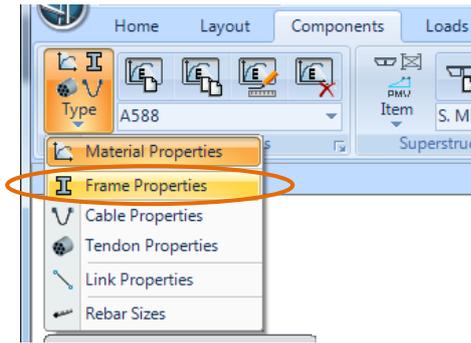


Figura 225. Crear las secciones

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Como primera sección para añadir es la columna de la pila de 100x80 cm para lo cual se debe hacer clic en **“New Frame”** y se abrirá la ventana en donde se puede elegir el material y la forma de la sección, en este caso seleccionar **“Concrete”** de forma **“Rectangular”**

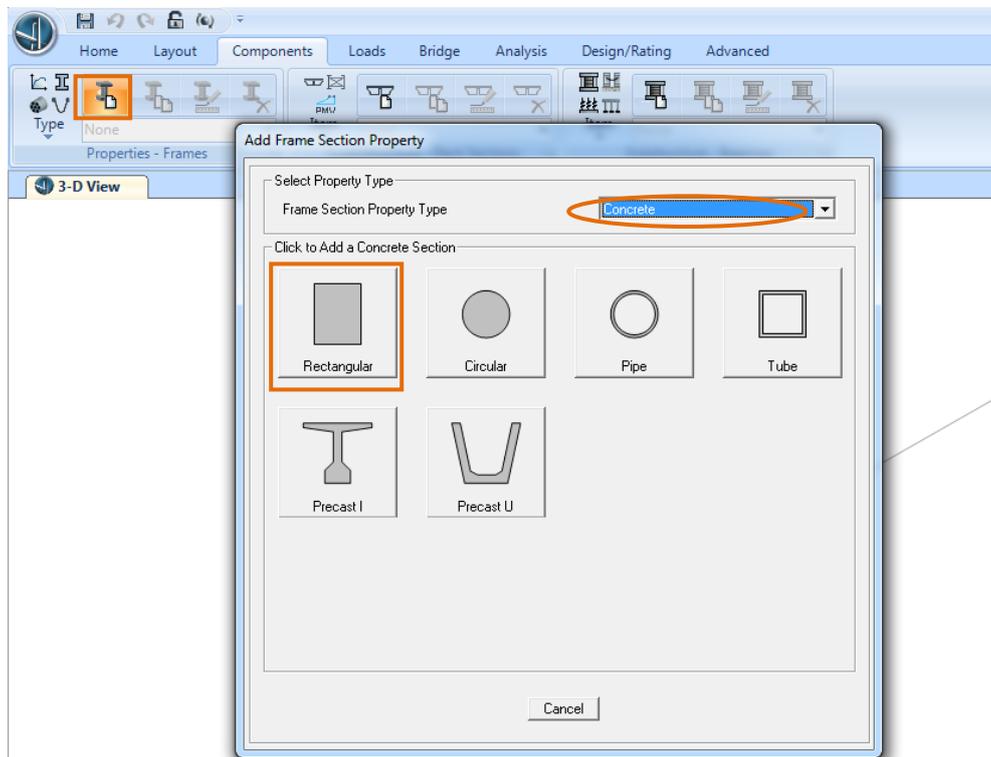


Figura 226. Designación de la sección

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se despliega la siguiente ventana en la cual se ingresa las dimensiones de $t_3=0.80$ y $t_2=1\text{m}$ con su respectivo material de acuerdo a lo especificado en el plano y hacer clic en “OK”

Detalle de las dimensiones de la columna

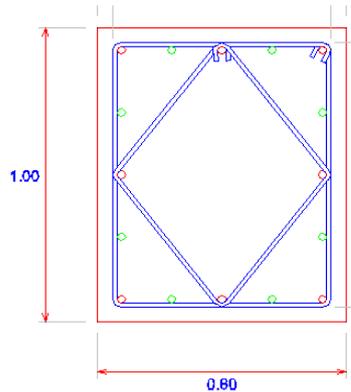


Figura 227.Detalle transversal de la columna de la pila

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el rio Calshi

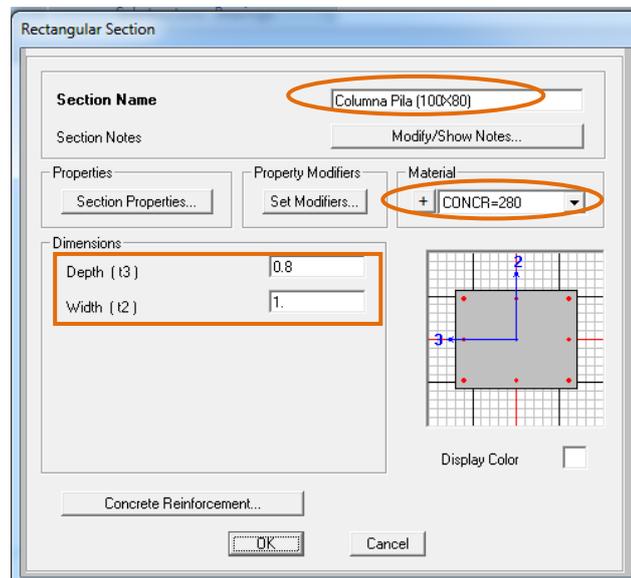


Figura 228.Definición de la columna de la pila

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La segunda sección a definir es la viga de la pila con las dimensiones de 100x50 cm, hacer clic en “**New Frame**” y se abrirá la ventana en donde se puede elegir el material y la forma de la sección, en este caso seleccionar “**Concrete**” de forma “**Rectangular**”

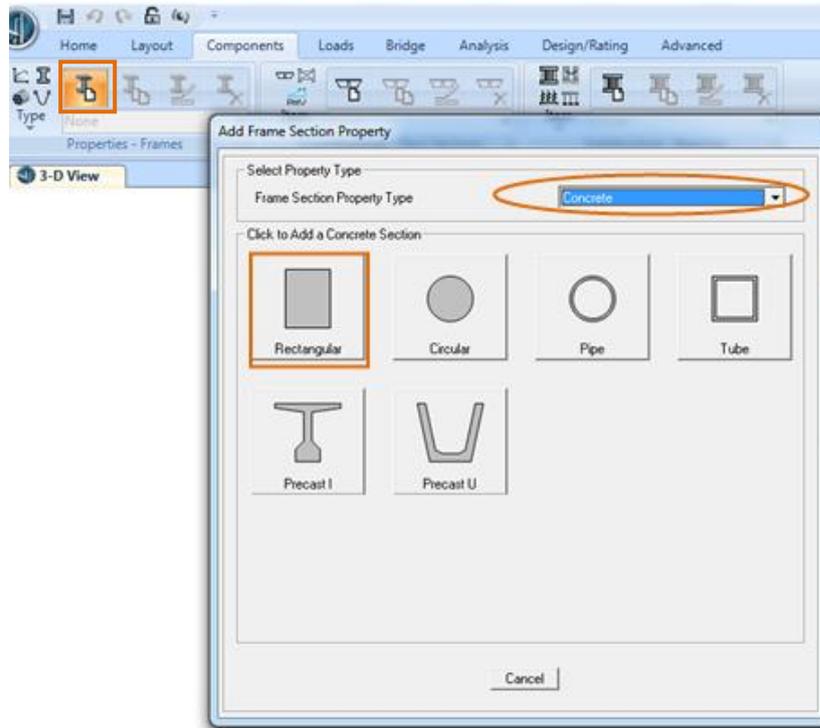


Figura 229. Elección del material y forma de la viga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente ventana ingresar las dimensiones de $t_3=0.50\text{m}$ y $t_2=1\text{m}$ con su respectivo material, en este caso también se debe configurar la sección como viga para lo cual ir a la opción “**Concrete Reinforcement**” y elegir “**Beam**”

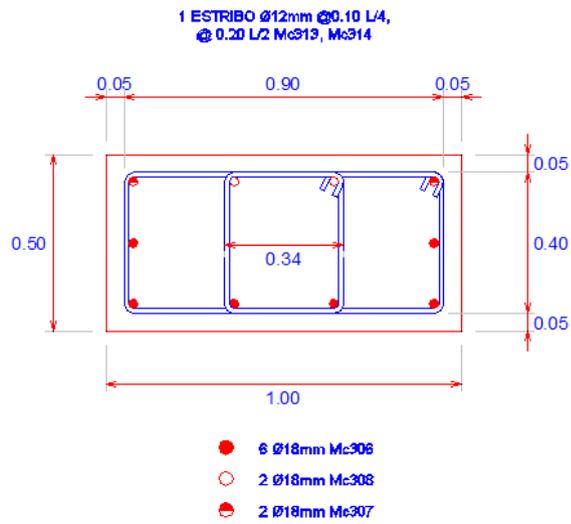


Figura 230.Detalle de la viga

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el rio Calshi

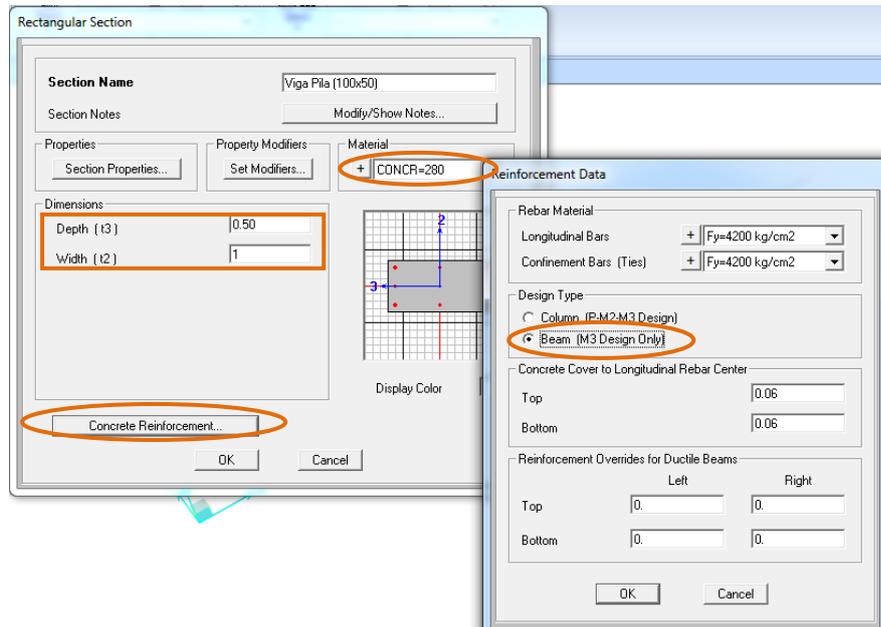


Figura 231.Definición de la viga de la pila

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez configurada la sección como viga se obtiene la siguiente ventana en la cual hacer clic en “Ok”

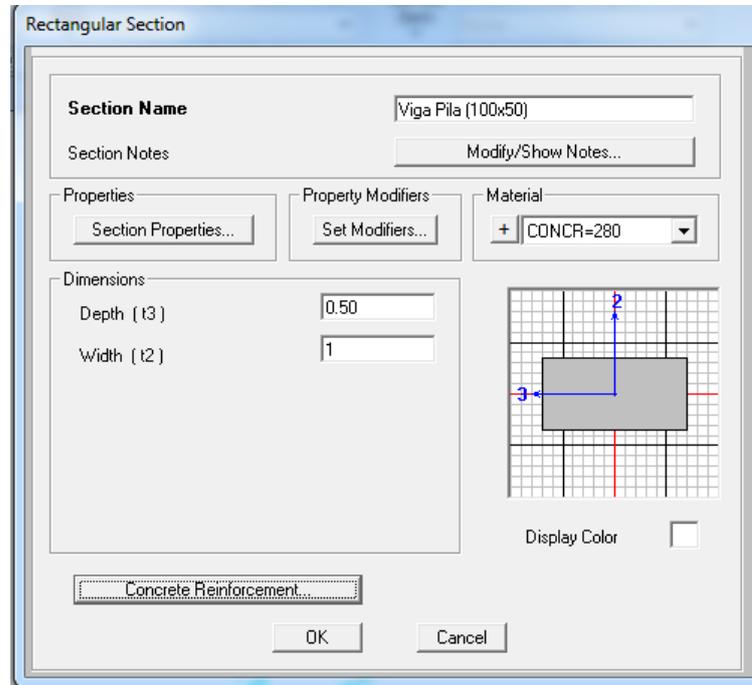


Figura 232. Vista de la viga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La tercera sección es la viga del estribo de 70x30cm para añadirla, hacer clic en “New Frame” y se abrirá la ventana en donde se puede elegir el material y la forma de la sección, en este caso seleccionar “Concrete” de forma “Rectangular”

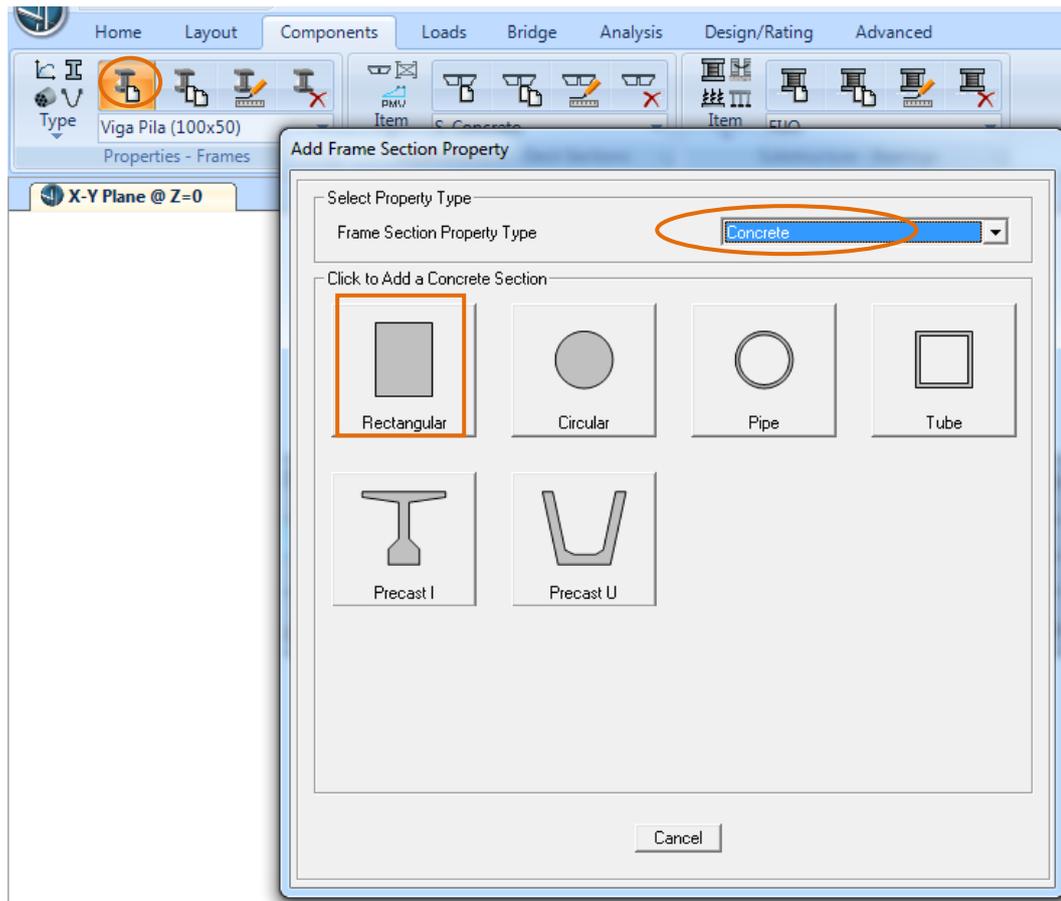


Figura 233. Elección del material y forma de la viga ubicada en el estribo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego ingresar las dimensiones de la viga del estribo $t_3=0.30$ y $t_2=0.70$ con su respectivo material, dar clic en **“Concrete Reinforcement”** para configurarle como viga, dar clic en **“Ok”**

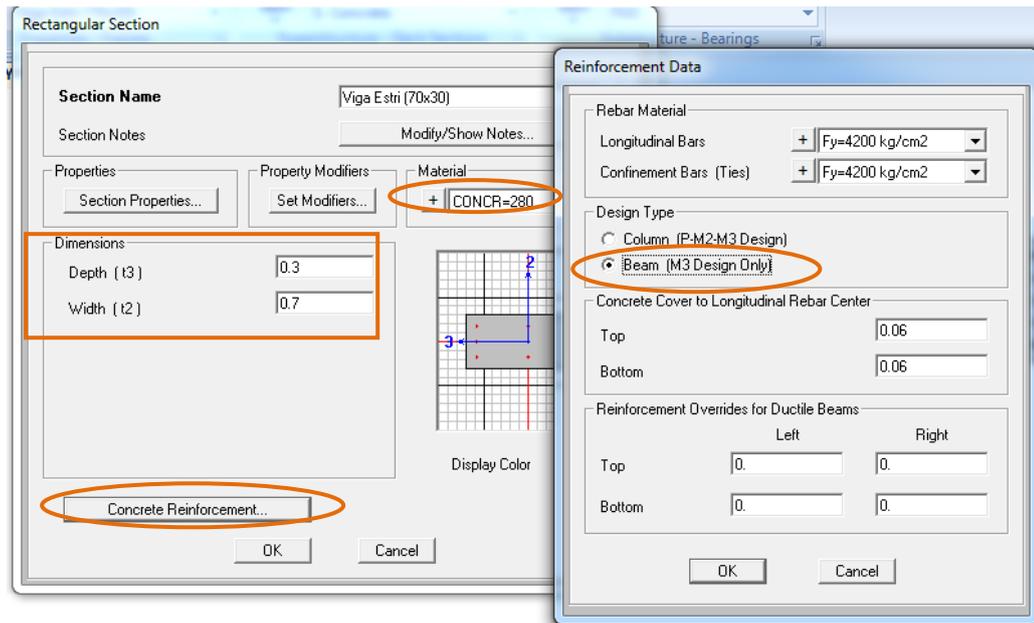


Figura 234.Definición de la viga del estribo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación aparecerá la siguiente ventana en la cual se hace clic en “OK”

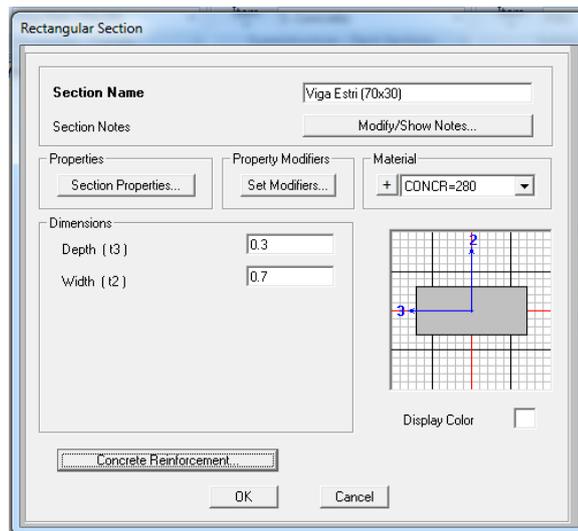


Figura 235.Ventana de la viga del estribo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La cuarta sección es la viga principal de 40x126 cm para añadirla, hacer clic en “New Frame” y se abrirá la ventana en donde se puede elegir el material y la forma de la sección, en este caso seleccionar “Concrete” de forma “Precast I” para poder analizarle a la viga de forma independiente al tablero.

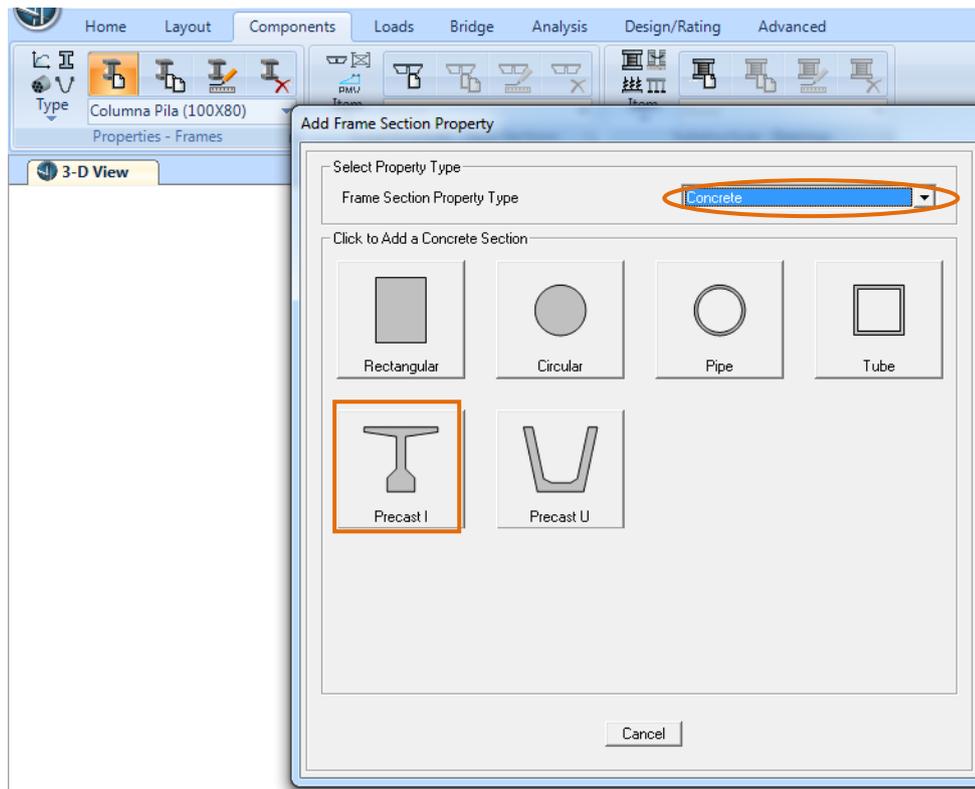


Figura 236. Elección del material y la forma de la viga principal

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente ventana que se abre ingresar las dimensiones de la viga en este caso como es de sección constante **B1-B2-B3** sería igual a 0.40m, **B4=0** y solo se inserta el valor **D1=1.26m** que es la altura total de la viga y el resto de las dimensiones se crean automáticamente, también se debe chequea el material con el cual se está trabajando.

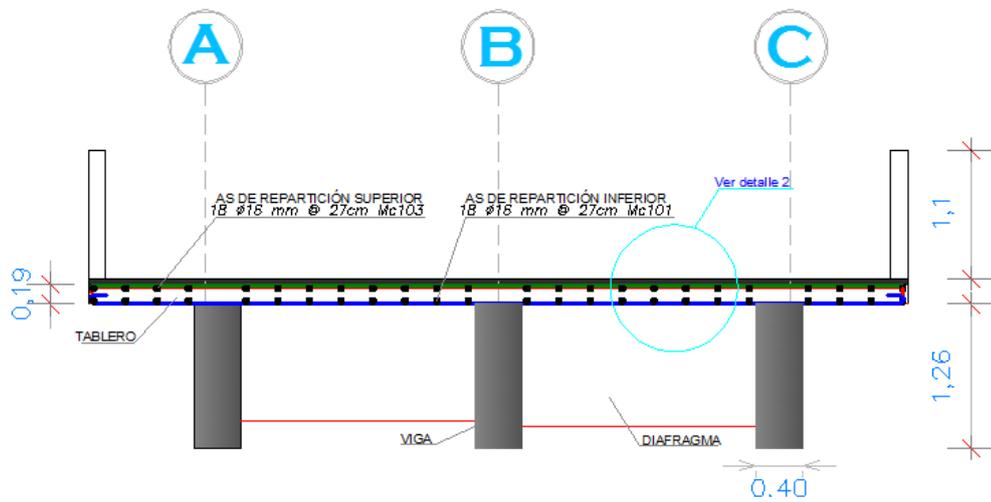


Figura 237.Detalle de la sección transversal de concreto

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el rio Calshi

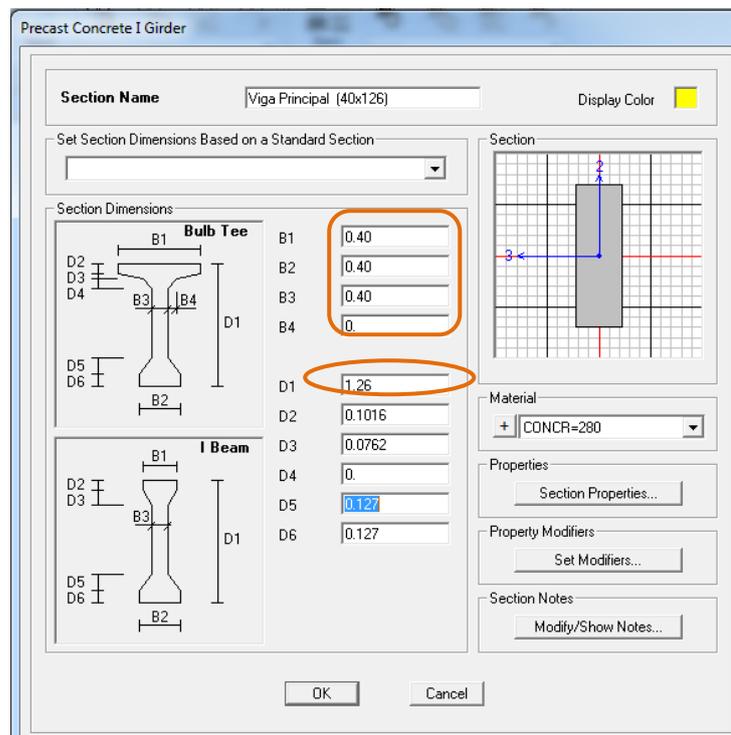


Figura 238.Definición de la viga de concreto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.3.5. Definición de las secciones de acero

- La primera sección que se añade son los ángulos de 100x100x8 mm con un acero A36, para lo cual dar clic en “New Frame”, además elegir el tipo de material en este caso sería “Steel” y su forma “Angle”

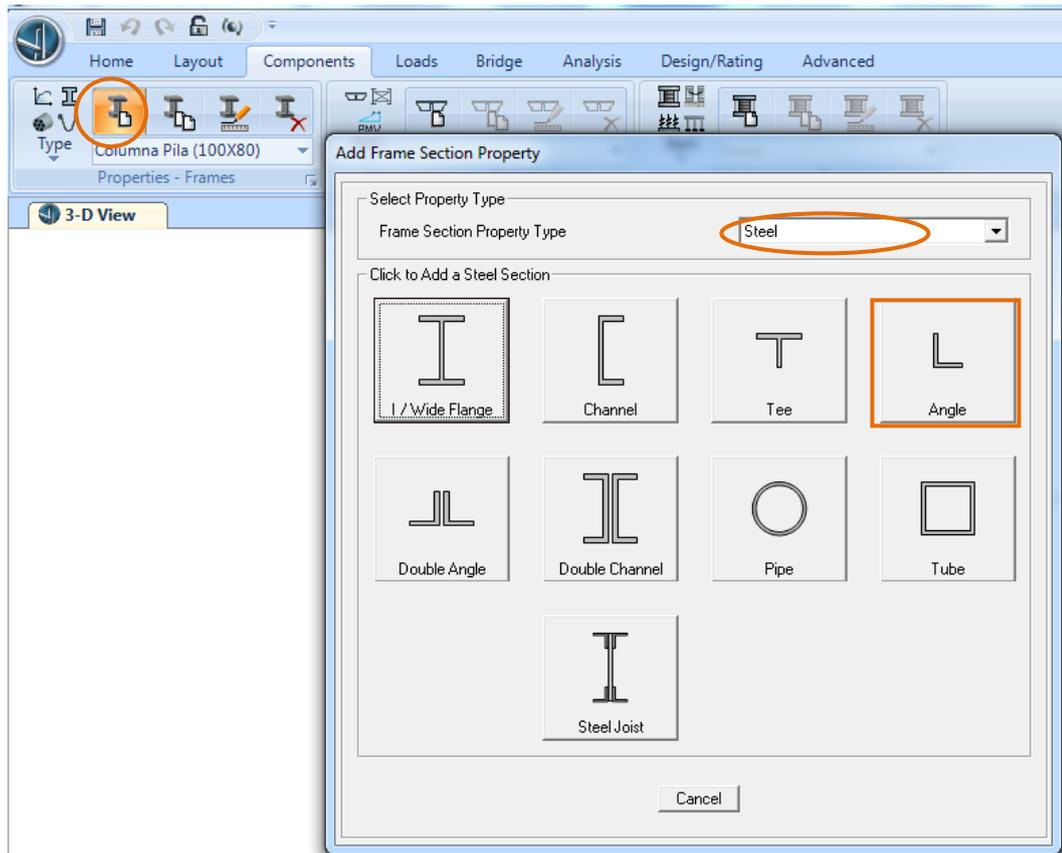


Figura 239. Elección del material y forma del ángulo de 100x100x8

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego aparecerá la siguiente ventana en la cual se ingresan las dimensiones del ángulo con su respectivo material, hacer clic en “Ok”

Donde:

Longitud vertical (t3)=100mm

Longitud horizontal (t2)=100mm

Espesor horizontal (tf)=8mm

Espesor vertical (tw)=8mm

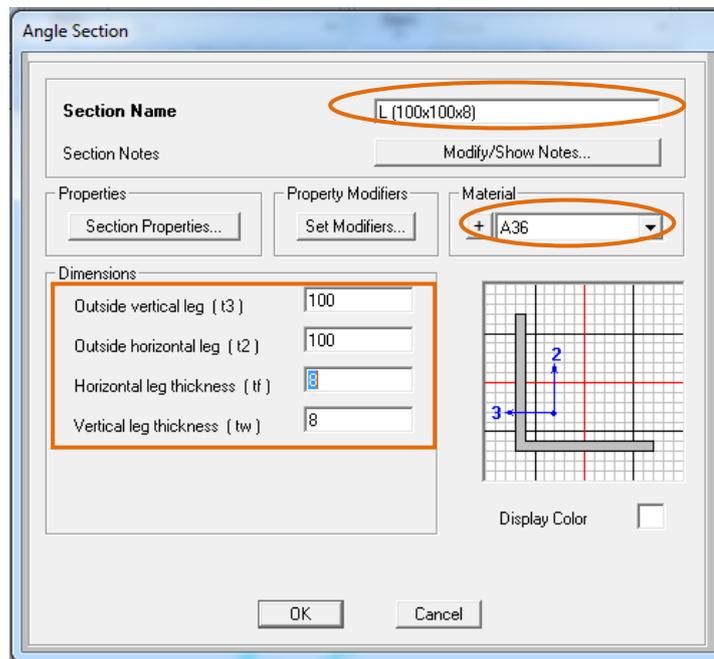


Figura 240.Configuración del ángulo de 100x100x8

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La segunda sección que se añade es la viga principal de 1165x450mm con un acero A588, para lo cual dar clic en “**New Frame**”, además elegir el tipo de material en este caso sería “**Steel**” y su forma es tipo “**I/Wide Flange**”

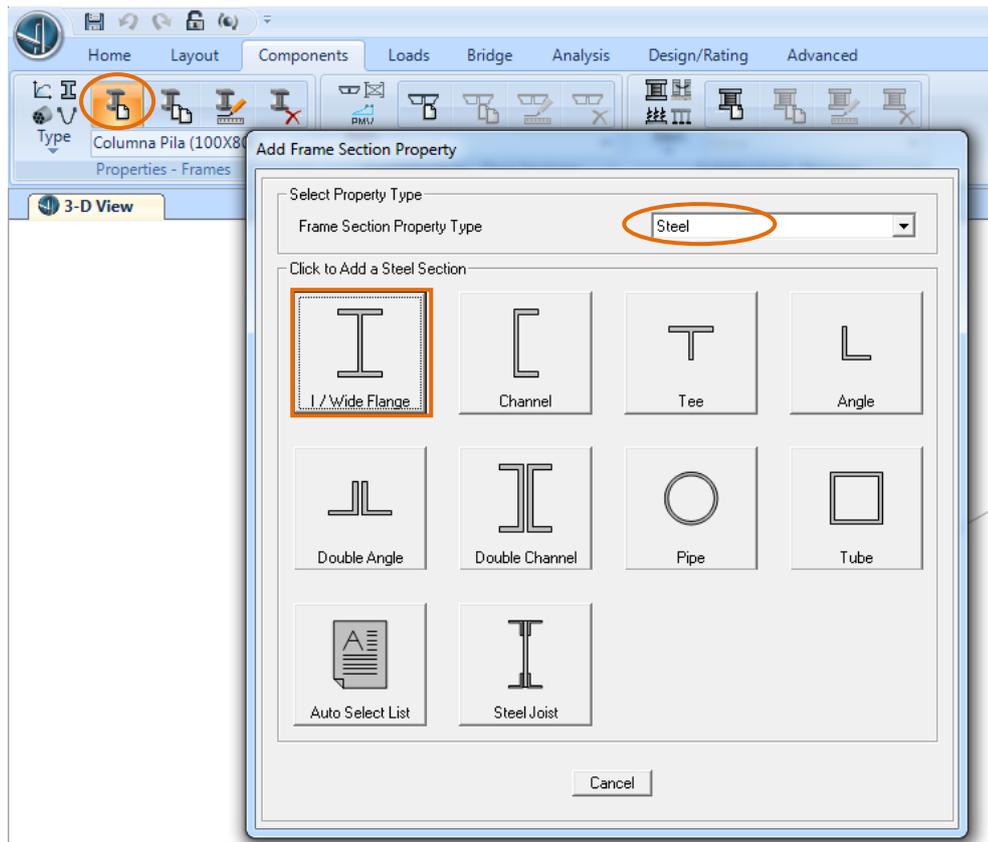
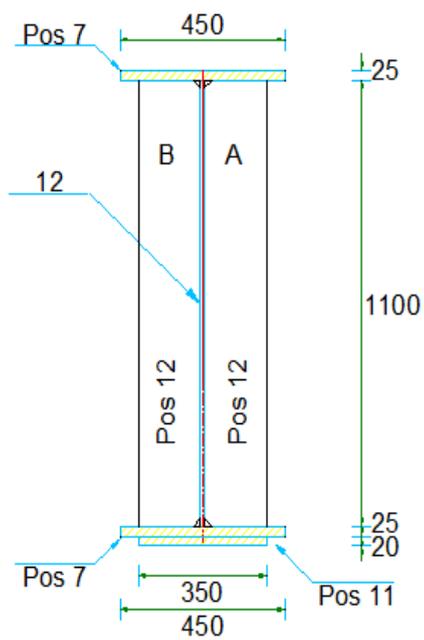


Figura 241. Elección de la forma de la viga de acero

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la ventana que se muestra a continuación se ingresan las dimensiones de la viga, la cual por ser de alma llena se añadió la sección de la platabanda en la parte inferior del ala, realizando el cálculo respectivo.



Sección de la platabanda inferior

Transformación de la platabanda al ancho del ala inferior

Altura del ala inferior

Nueva dimensión del ala inferior de la viga
450x40.55 mm

Figura 242.Detalles de la viga de acero

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el río Calshi

Valores de las dimensiones de la viga

Altura total (t3)=1165.5mm

Ancho del ala superior (t2)=450mm

Espesor del ala superior (tf)=25mm

Espesor del alma (tw)=12mm

Ancho del ala inferior (t2b)=450mm

Espesor del ala inferior (tfb)=40.5mm

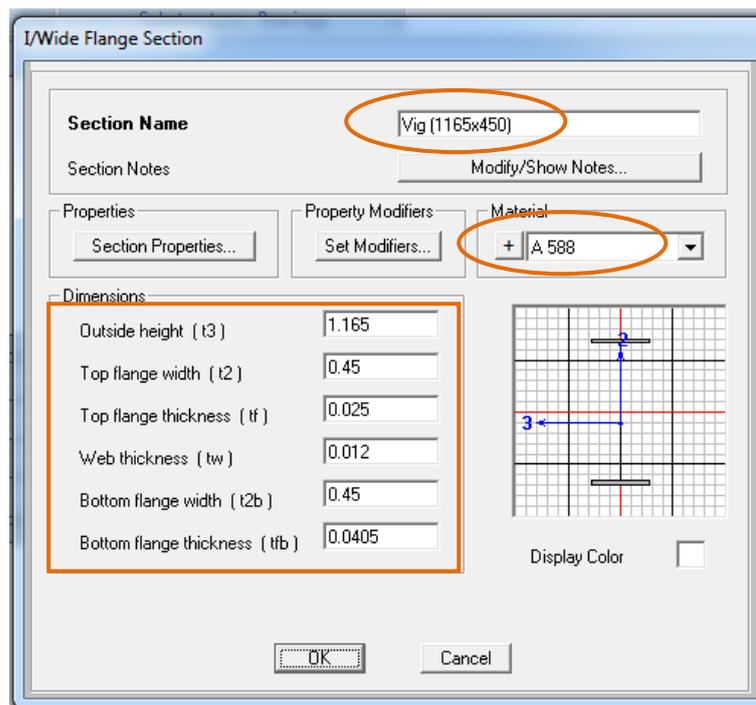


Figura 243. Definición de las características de la viga de acero

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.4. Acero de refuerzo

- Para ingresar las características de las varillas, ir al menú “Components” elegir la opción “Rebar Sizes”

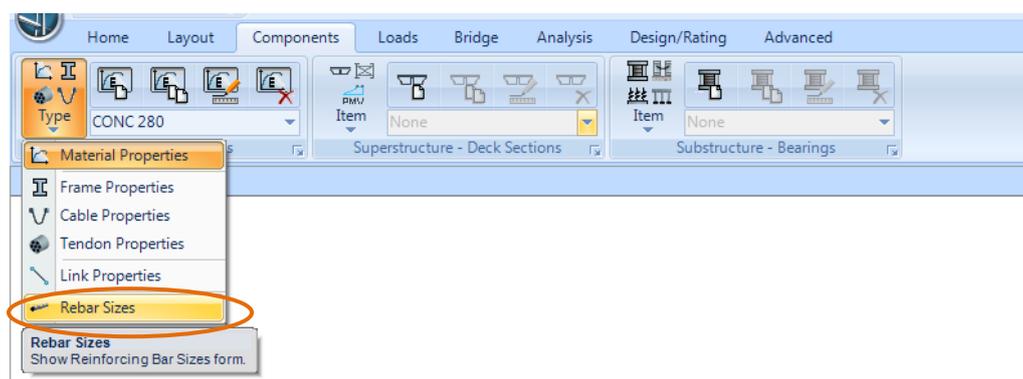


Figura 244. Crear el acero de refuerzo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se muestra la siguiente ventana en la cual se ingresa solo las varillas que se van a emplear con su respectiva área y diámetro, en este caso se tiene varillas de 18-32-12 mm

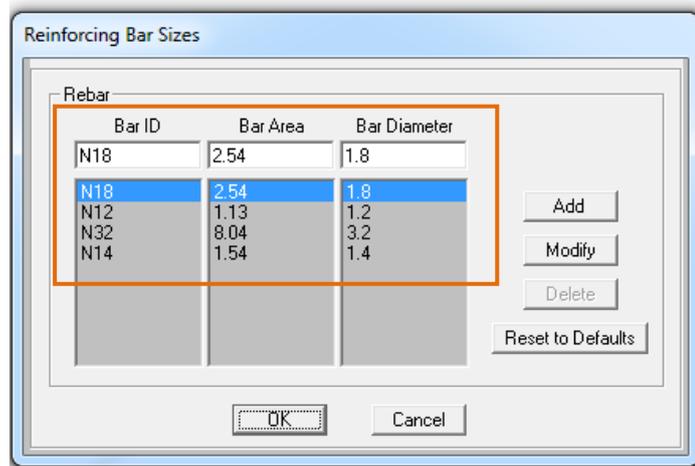


Figura 245. Añadir el acero de refuerzo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.5. Definición de la sección transversal del tablero

- Se inicia con la definición de la sección transversal de concreto; ir al menú “Components”, dar clic en “Items” y elegir la opción “Deck Sections”

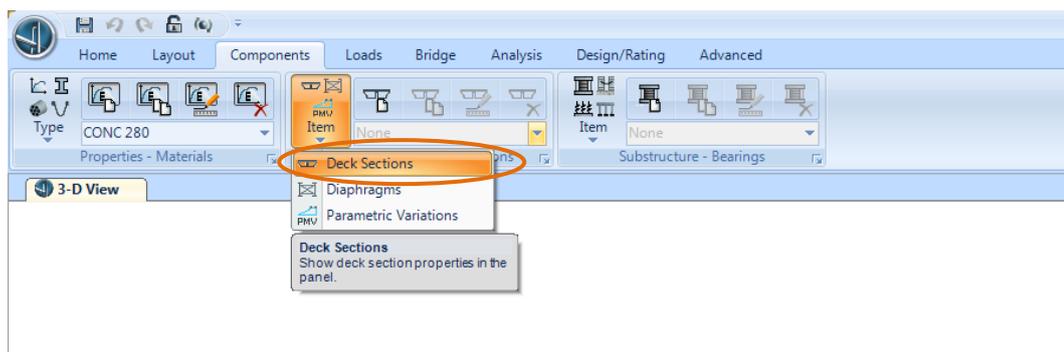


Figura 246. Ventana para crear una sección transversal del puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.5.1. Sección del tramo de concreto

- Luego hacer clic en “**New Section**” y se desplegara la siguiente ventana en la cual se elige un puente tipo “**Precast I Girder**”, esta sección se la utiliza para poder evaluar las vigas de forma independiente del tablero

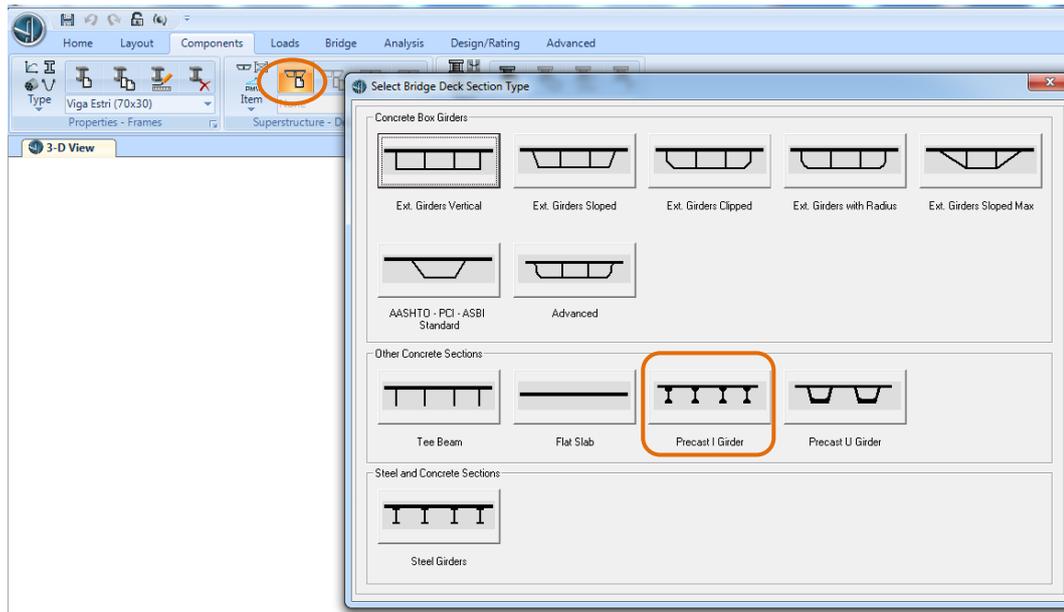


Figura 247. Elegir la sección transversal de concreto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se ingresan los valores de la sección transversal del puente de acuerdo a las medidas que se encuentran en el plano del tramo de concreto, y aparecerá automáticamente la sección de la viga principal de (40x126)cm en la opción “**Girder Section**”

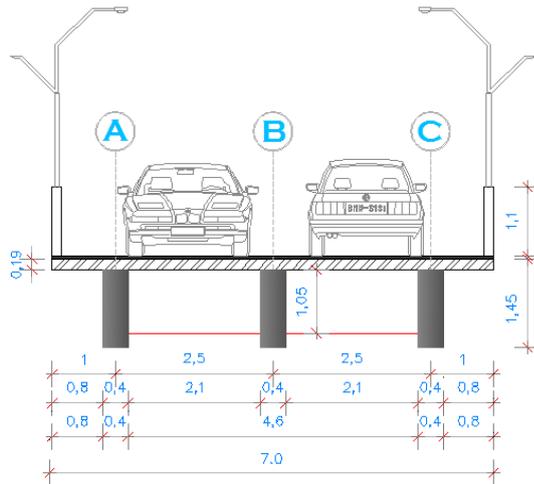


Figura 248. Sección transversal de concreto

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el río Calshi

Define Bridge Section Data - Precast Concrete I Girder

Item	Value
General Data	
Bridge Section Name	S. Concreto
Slab Material Property	CONCR=280
Number of Interior Girders	1
Total Width	7.
Girder Longitudinal Layout	Along Layout Line
Constant Girder Spacing	Yes
Constant Girder Haunch Thickness (t2)	Yes
Constant Girder Frame Section	Yes
Slab Thickness	
Top Slab Thickness (t1)	0.19
Concrete Haunch Thickness (t2)	0.
Girder Section Properties	
Girder Section	ga Principal (40x12)
Fillet Horizontal Dimension Data	
f1 Horizontal Dimension	0.
f2 Horizontal Dimension	0.
Left Overhang Data	

Figura 249. Configuración de la sección transversal de concreto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al deslizar hacia la parte de abajo se continúa llenando los datos del volado izquierdo y derecho

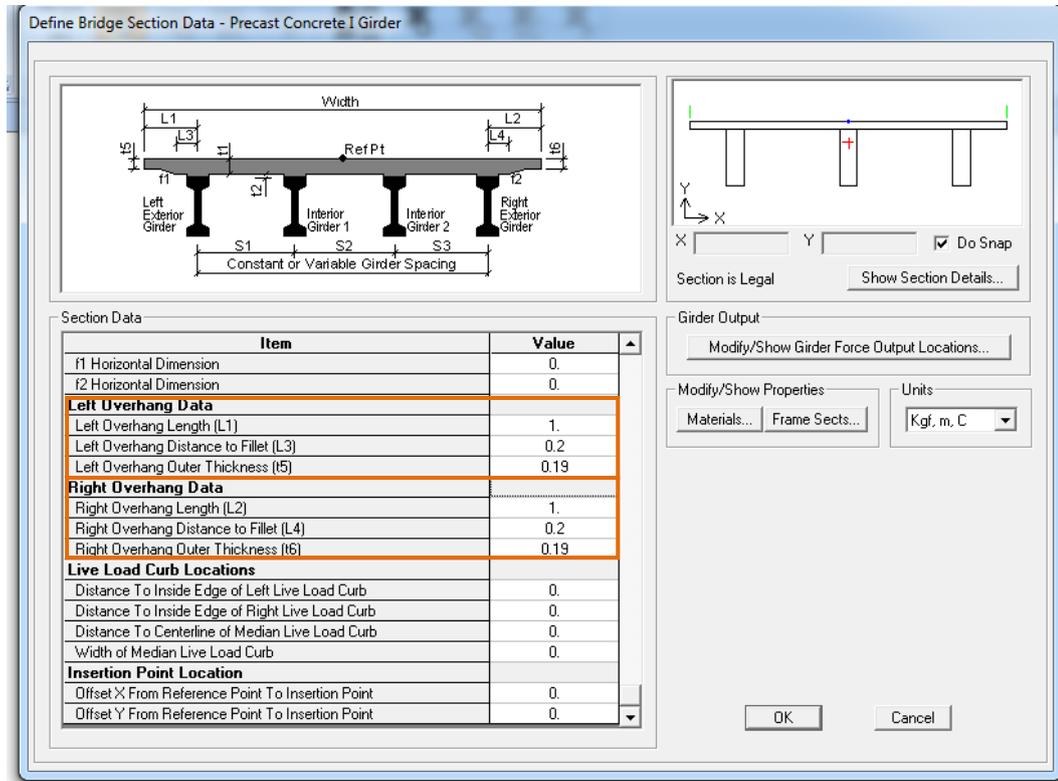


Figura 250. Configuración de la sección transversal de concreto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.5.2. Sección transversal metálica

- Hacer clic en “New Section” y se desplegara la siguiente ventana en la cual se elige el tipo de puente “Steel Girders”, es decir se define un tablero de hormigón con vigas metálicas.

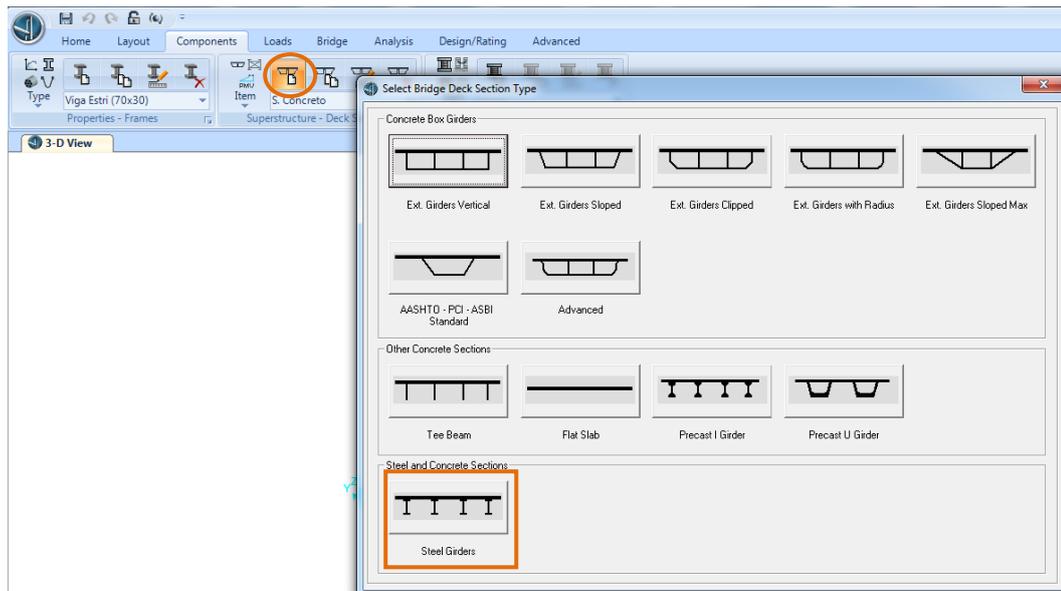


Figura 251.Elegir la sección transversal de Acero

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se ingresan todas las dimensiones de la sección transversal del puente en la sección metálica y en la opción “**Girder Section**” aparecerá automáticamente la viga de (1165x450) asignada anteriormente.

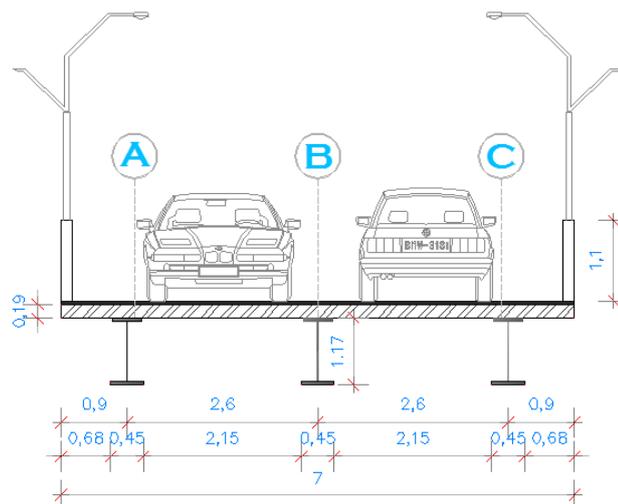


Figura 252.Detalle de la sección transversal metálica

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el rio Calshi

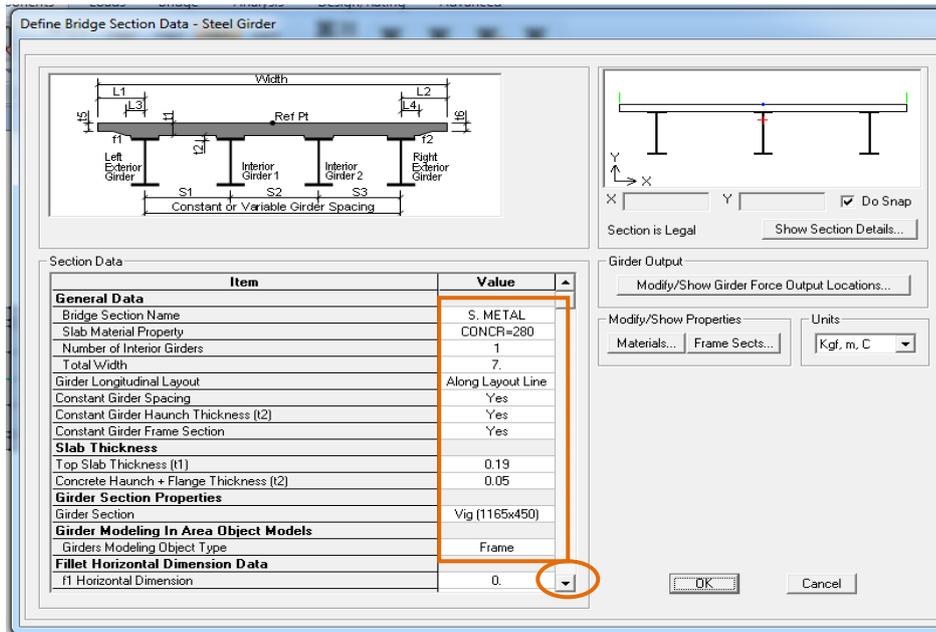


Figura 253. Configuración de la sección transversal metálica

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al deslizar hacia abajo se continua llenando los datos de los volados del puente tanto a la izquierda como a la derecha

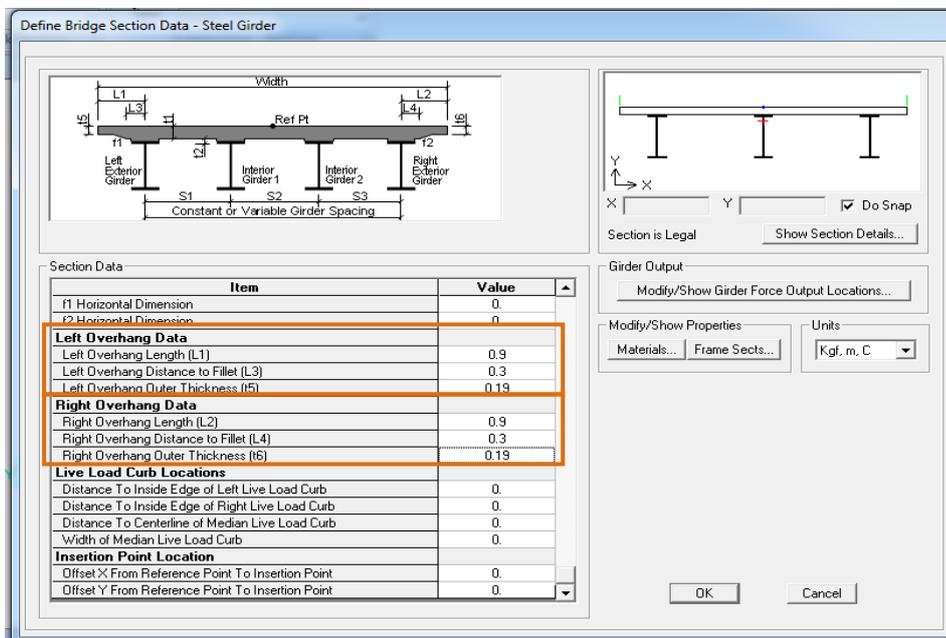


Figura 254. Configuración de la sección transversal metálica

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.6. Definición de los diafragmas

- Para crear las características de los diafragmas ir al menú “**Components**”, hacer clic en “**Items**” y elegir la opción “**Diaphragms**”

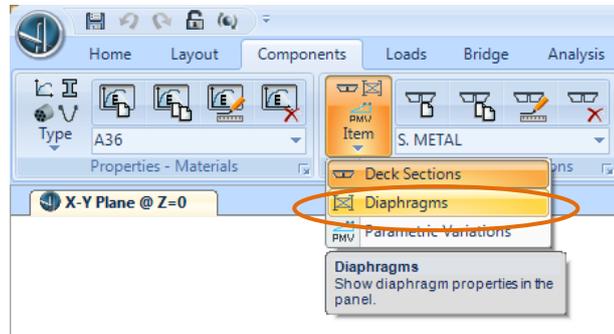


Figura 255. Crear un nuevo Diafragma

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al seleccionar la opción “**Diaphragms**” se activa el icono de “**New Diaphragms**”, que al hacerlo clic se abre la siguiente ventana en la cual se elige como “**Solid**” y se ingresa el espesor del diafragma de concreto en “**Diaphragms Thickness**”

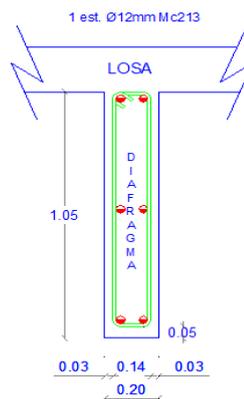


Figura 256. Detalle del diafragma

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el río Calshi

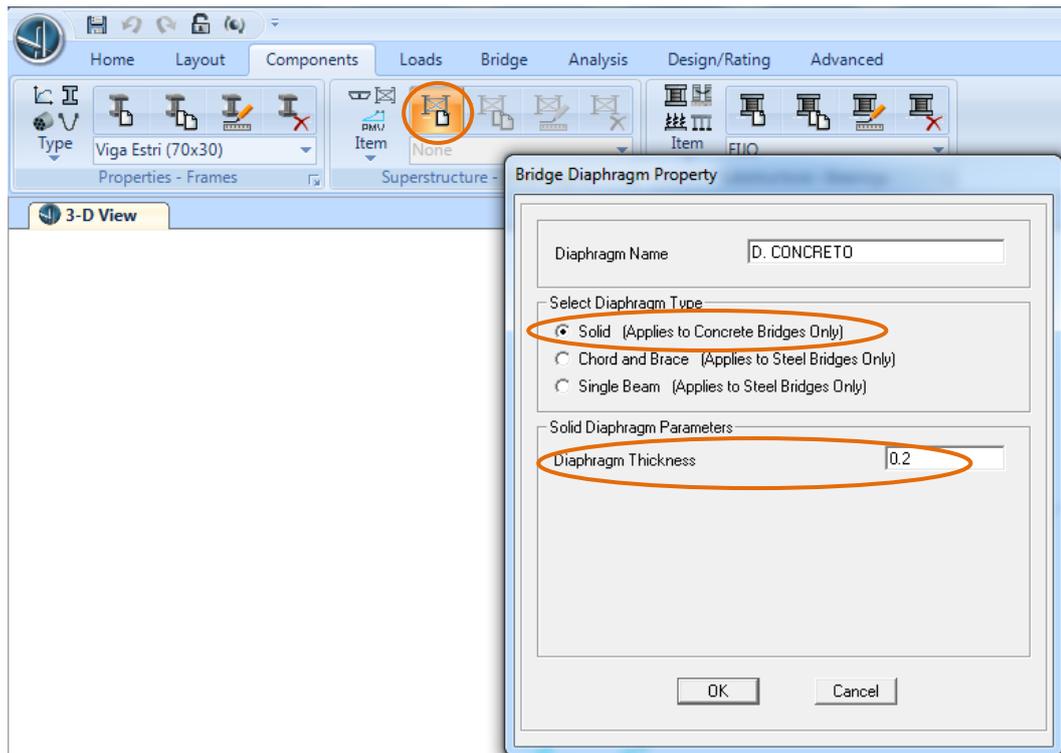


Figura 257.Definición del diafragma de concreto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se define el diafragma metálico al hacer clic en “**New Diphragm**” y en la ventana que se abre seleccionar la opción “**Chord and Brace**” y automáticamente aparecerá la sección de ángulo de 100x100x8 anteriormente creado, de acuerdo a la figura que se muestra a continuación se debe elegir “**X Brace**” y desactivar el enunciado de “**Incluide bottom chord**” adicional a esto se debe ingresar la distancia a la que se encuentran las diagonales en la parte superior a 0.10m y en la parte inferior a 0.12m.

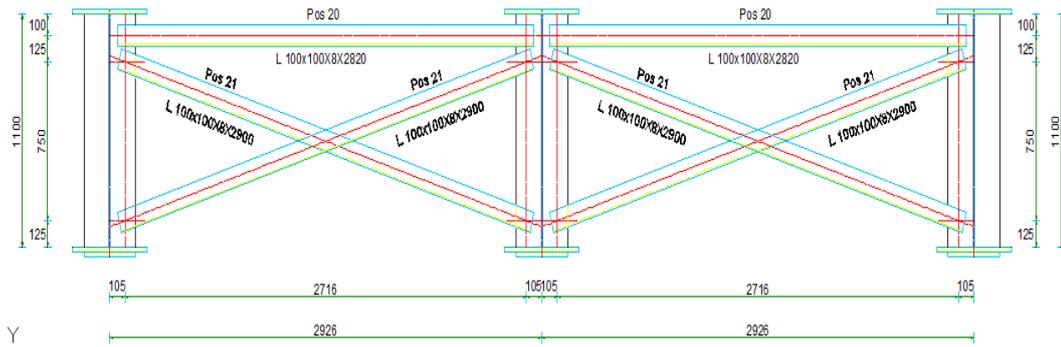


Figura 258.Detalle del diafragma metálico

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el rio Calshi

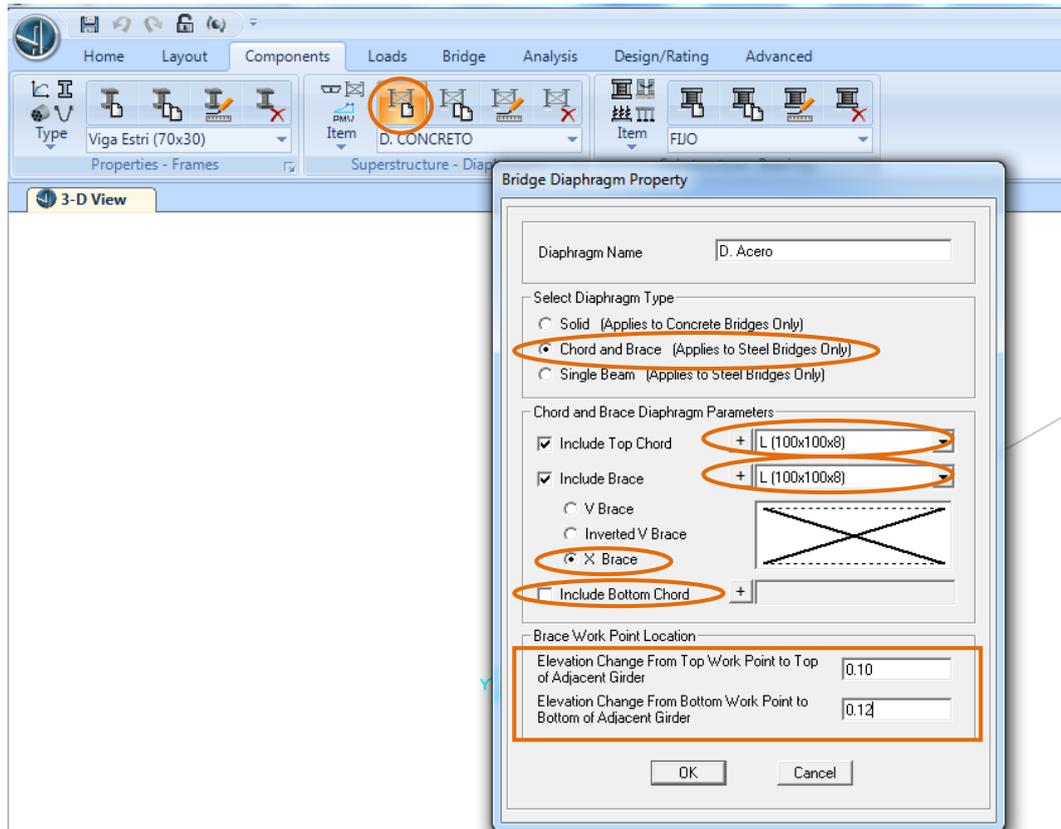


Figura 259.Definición del diafragma metálico

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.7. Definición de los apoyos

- Para la definición de los apoyos ir al menú “**Components**”, dirigirse al icono de “**Items**” de la sub-estructura y seleccionar la opción “**Bearings**”.

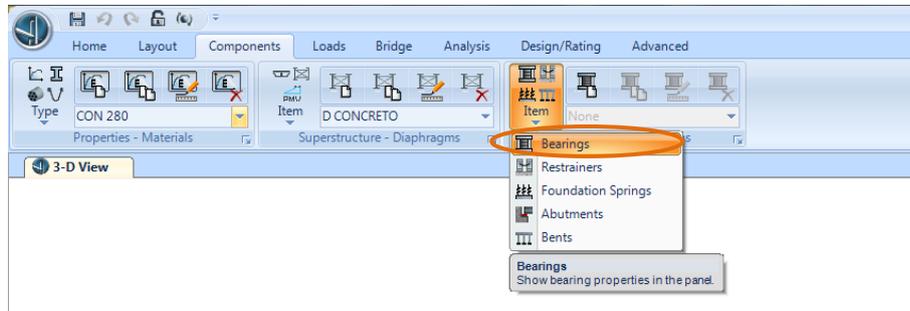


Figura 260. Crear un apoyo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego dar clic en “**New Bearings**” para definir el apoyo Fijo, en el cual todas las restricciones son fijas y las rotaciones se libera para trabajar como articulación fija como se muestran en la siguiente imagen.

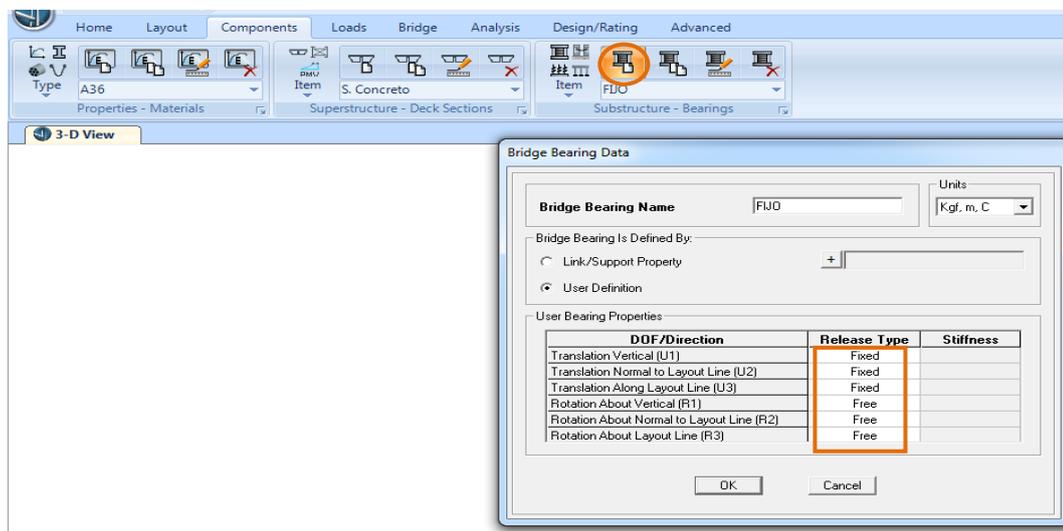


Figura 261. Definición del apoyo fijo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se designa un apoyo móvil haciendo clic en “**New bearings**” y liberar el desplazamiento horizontal en U3 al igual en las rotaciones colocar “**Free**”

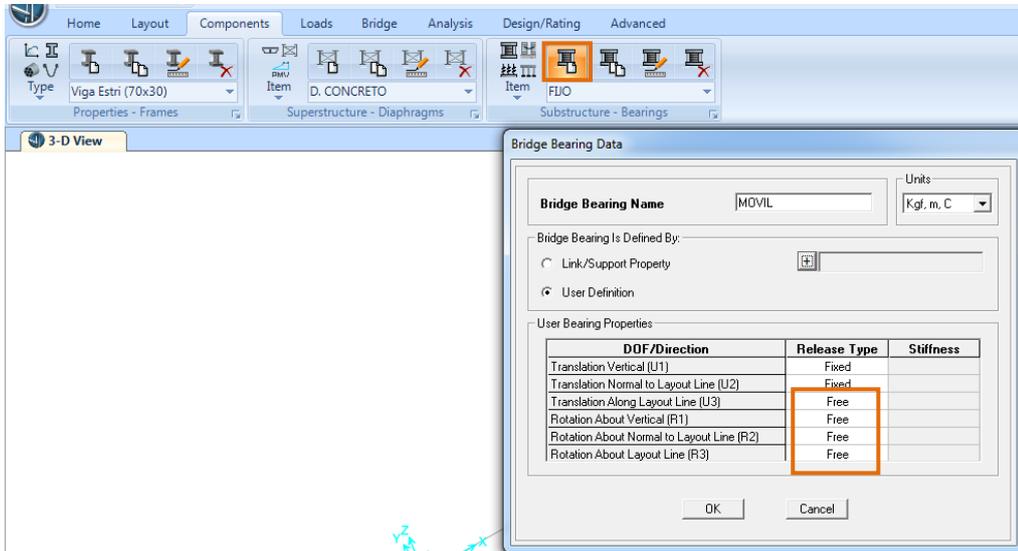


Figura 262.Definición del apoyo móvil

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.8. Definición de la Cimentación

- De la misma forma para asignar las condiciones de la cimentación ir al menú “**Components**”, hacer clic en el icono de “**Items**” y elegir la opción “**Foundation Springs**”

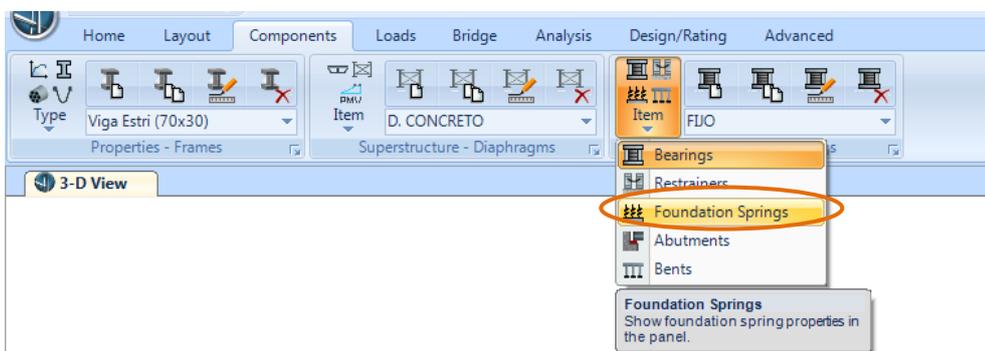


Figura 263.Crear la cimentación

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego hacer clic en “New foundation Springs” y se abre la siguiente ventana en la cual se le designa todo fijo “Fixed” ya que la cimentación se encuentra empotrada

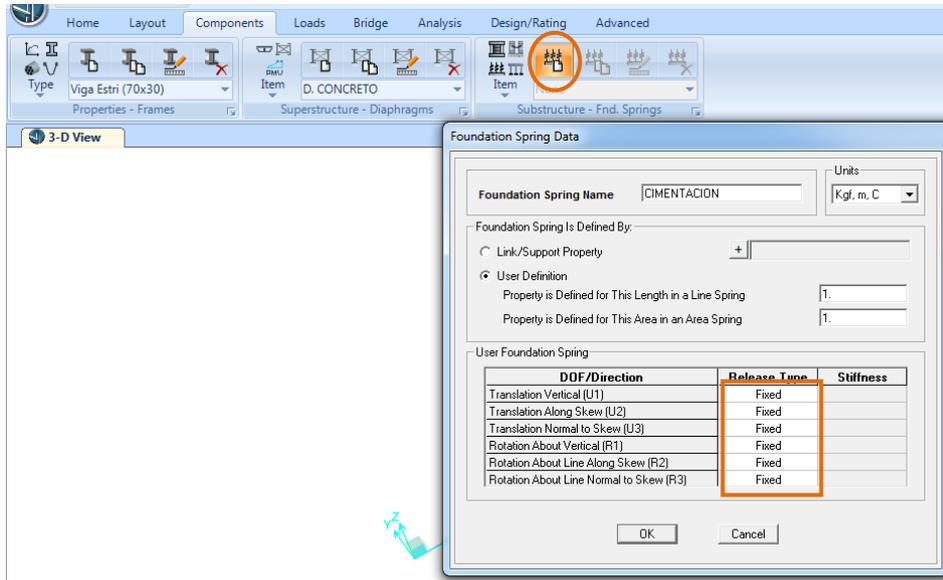


Figura 264. Definición de la cimentación

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.9. Definición de los Estribos

- Para la definición de los estribos ir al menú “Components”, en el icono “Items” de la sub-estructura elegir la opción “Abutments” y se activara la opción para crear los estribo

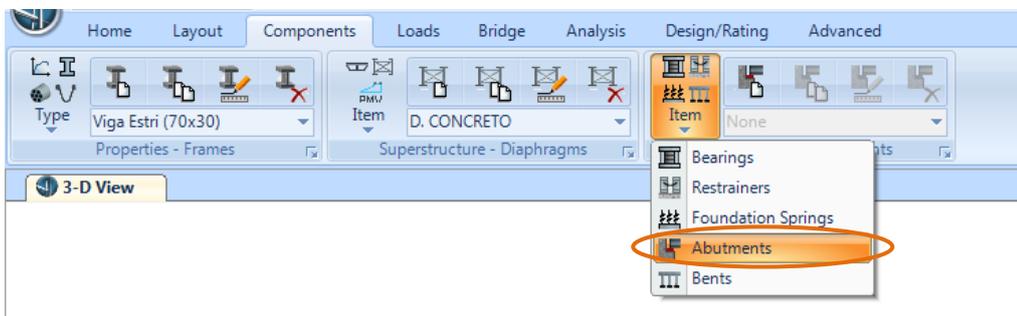


Figura 265. Crear un estribo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después hacer clic en **“New Abutment”** se despliega la siguiente ventana en la cual se debe elegir la opción **“Connect to Girder Bottom Only”**, e indica que el estribo se encuentra conectado solo a la parte inferior de la viga la cual se asienta en una viga continua **“Continuous Beam”** de 70x30 cm asignada anteriormente con su respectiva longitud de 8 metros que es el ancho del estribo y en cuanto a las propiedades de la fundación elegir la opción cimentación como se muestra en la siguiente figura.

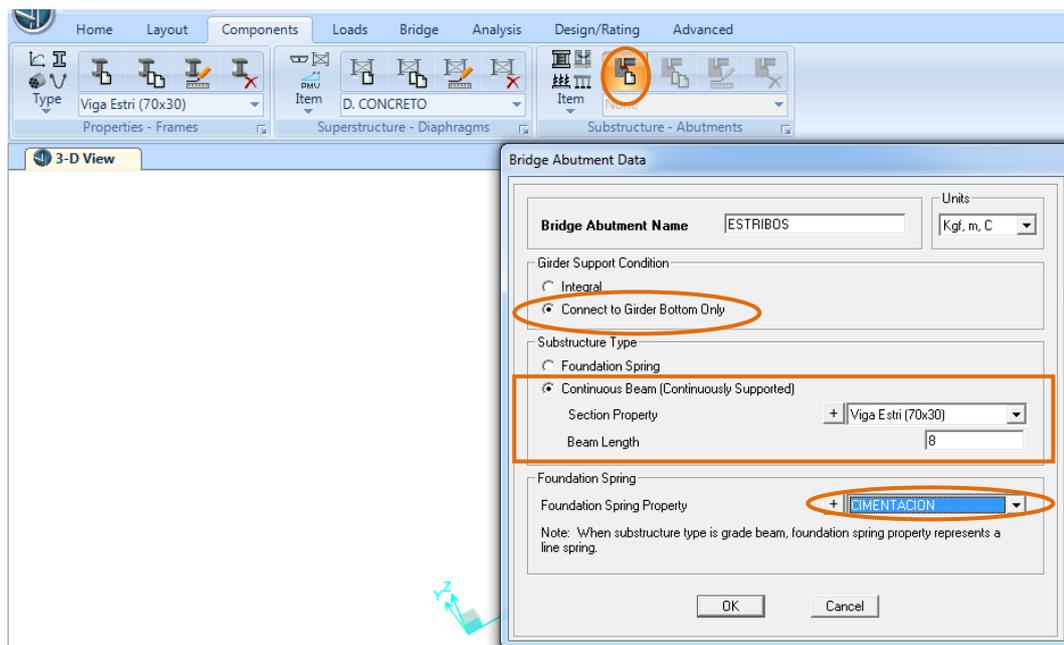


Figura 266.Definición del estribo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.10. Definición de la Pila

- En la definición de las pilas ir al menú **“Components”**, en el icono **“Items”** de la sub-estructura elegir la opción **“Bents”** y se activara la opción para crear la pila

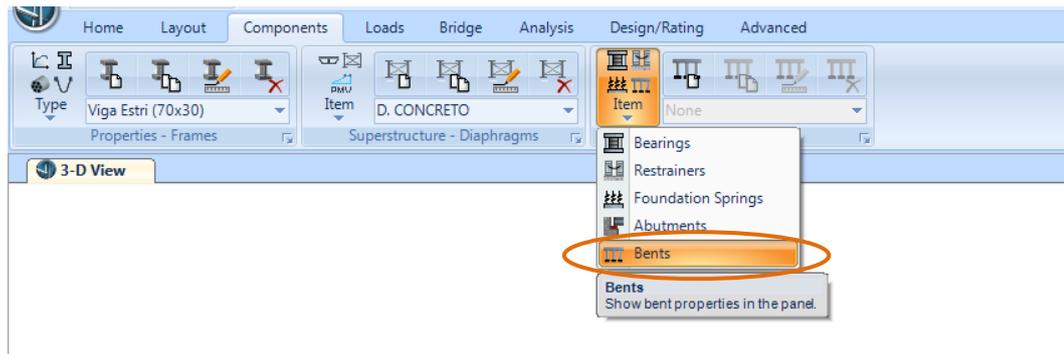


Figura 267. Crear la pila

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Hacer clic en “**New Bents**” y se abre la siguiente ventana que se muestra a continuación, la cual ha sido configurada de acuerdo a los siguientes pasos.
 - 1.- Ingresar el valor de 6.6m de la longitud de la viga sobre la cual se apoya la superestructura en la opción “**Cap Beam length**”
 - 2.- Ingresar en número de columnas que posee la pila, en el literal “**Number of column**” colocar el valor de 3
 - 3.- Verificar en el enunciado “**Cap Beam Section**” se encuentre la sección de la viga de 100x50 cm
 - 4.- En el tipo de pila seleccionar la opción “**Double bearings line**” debido a que el puente es de dos tramos el uno de hormigón y el otro de acero.
 - 5.- Luego indicar que la pila se encuentra ubicada a la parte inferior de la viga eligiendo la opción “**Connect to Girder Bottom Only**” de los dos apoyos
 - 6.- Ingresar la distancia a la que se encuentra el apoyo antes y después del eje de la pila en este caso es a 0.10m.

7.- Modificar las características de las columnas hacer clic en “**Modify Show columns Data**”

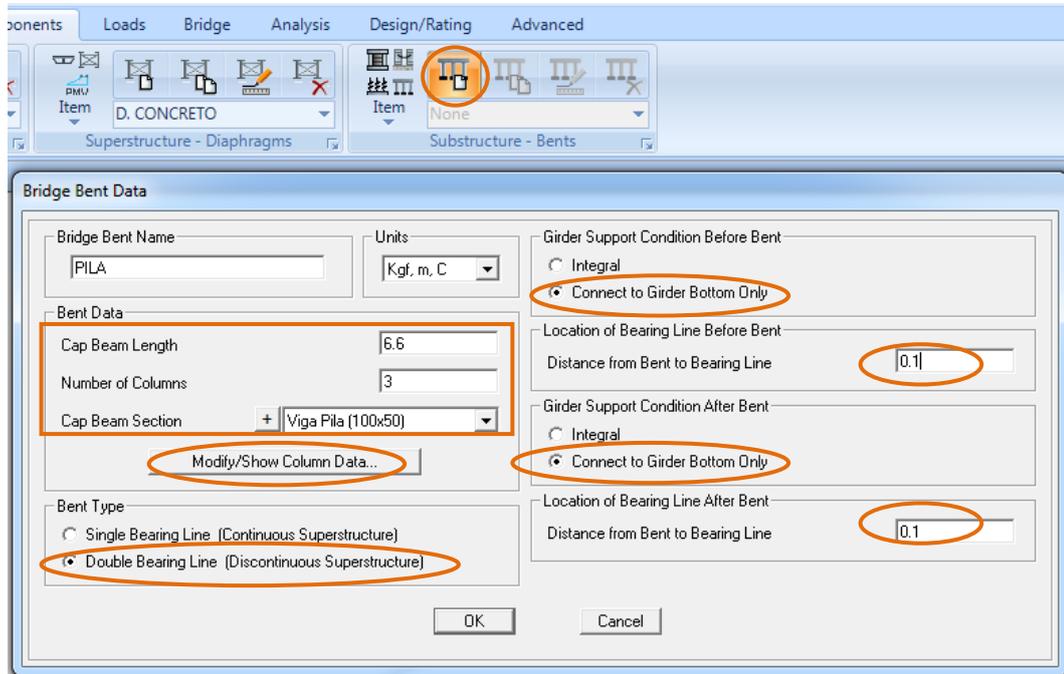


Figura 268.Definición de la pila

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se muestra la ventana para configurar las columnas con su respectiva sección “**Section**”, distancia “**Distance**”, altura ”**Height**”, ángulo ”**Angle**” y base de soporte “**Base Support**” especificadas en los detalles , también se debe verificar que las reacciones **R1-R2-R3** en las tres columnas se encuentren fijas “**Fixed**”

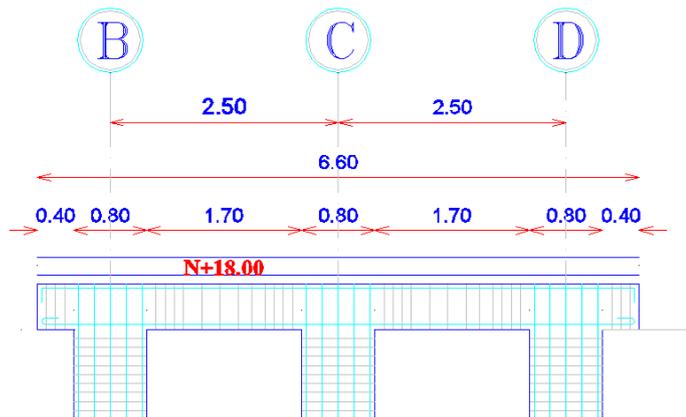


Figura 269.Detalle de las columnas de la pila

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el rio Calshi

Bridge Bent Column Data

Bridge Bent Name: BENT1

Modify/Show Properties: Frame Section Properties... Foundation Spring Properties...

Units: Kgf, m, C

Column Data

Column	Section	Distance	Height	Angle	Base Support
1	Columna Pila (100x80)	0.8	18.	0.	Fixed
2	Columna Pila (100x80)	3.3	18.	0.	Fixed
3	Columna Pila (100x80)	5.8	18.	0.	Fixed

Notes:

- The distance is measured from the left end of the cap beam to the center of the column.
- The column height is measured from the midheight of the cap beam to the bottom of the column.
- The column angle is measured in degrees counterclockwise from a line parallel to the bent to the column local 2 axis.

Moment Releases at Top of Column

Column	R1 Release	R2 Release	R3 Release	R1 Stiffness	R2 Stiffness	R3 Stiffness
1	Fixed	Fixed	Fixed			
2	Fixed	Fixed	Fixed			
3	Fixed	Fixed	Fixed			

OK Cancel

Figura 270.Configuración de las columnas de la pila

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.11. Definición del Vehículo de diseño

- Ir al menú “**Loads**” y hacer clic en el icono “**New Vehicle**” y se elige el vehículo **Hsn-44** que se asemeja al empleado en el diseño del puente y se activa automáticamente el factor de escala.

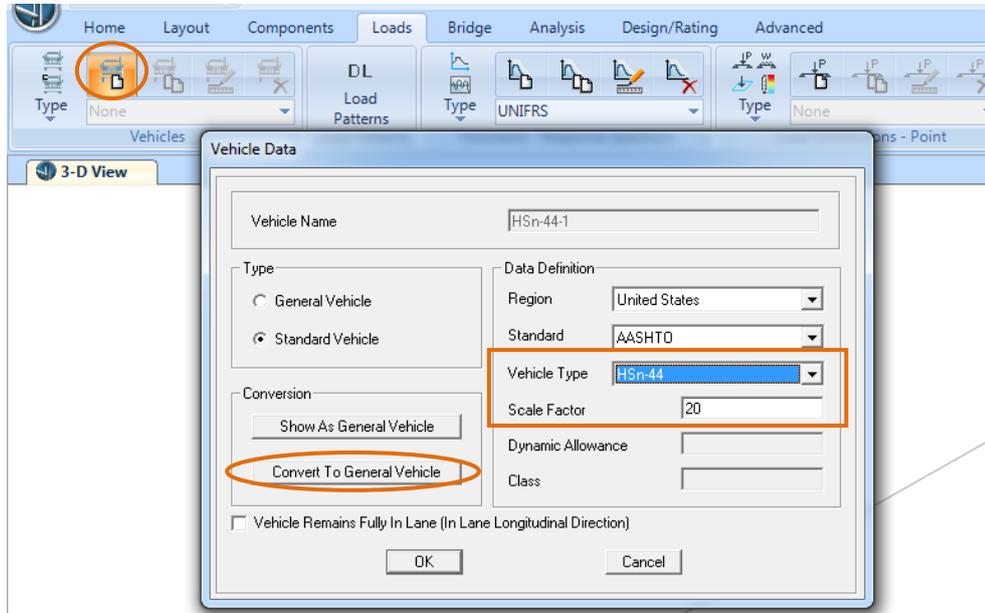


Figura 271. Elegir el vehículo tipo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego hacer clic en “**Convert to General Vehicle**” para modificar las medidas y cargas por eje del vehículo, de acuerdo a lo empleado en el diseño, donde se elige el valor a cambiar y se da clic en “**Modify**”.

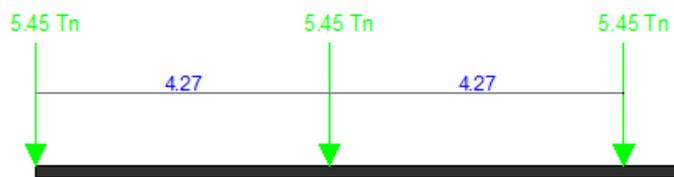


Figura 272. Vehículo tipo

Fuente: Diseño del Puente Mixto sobre el río Calshi

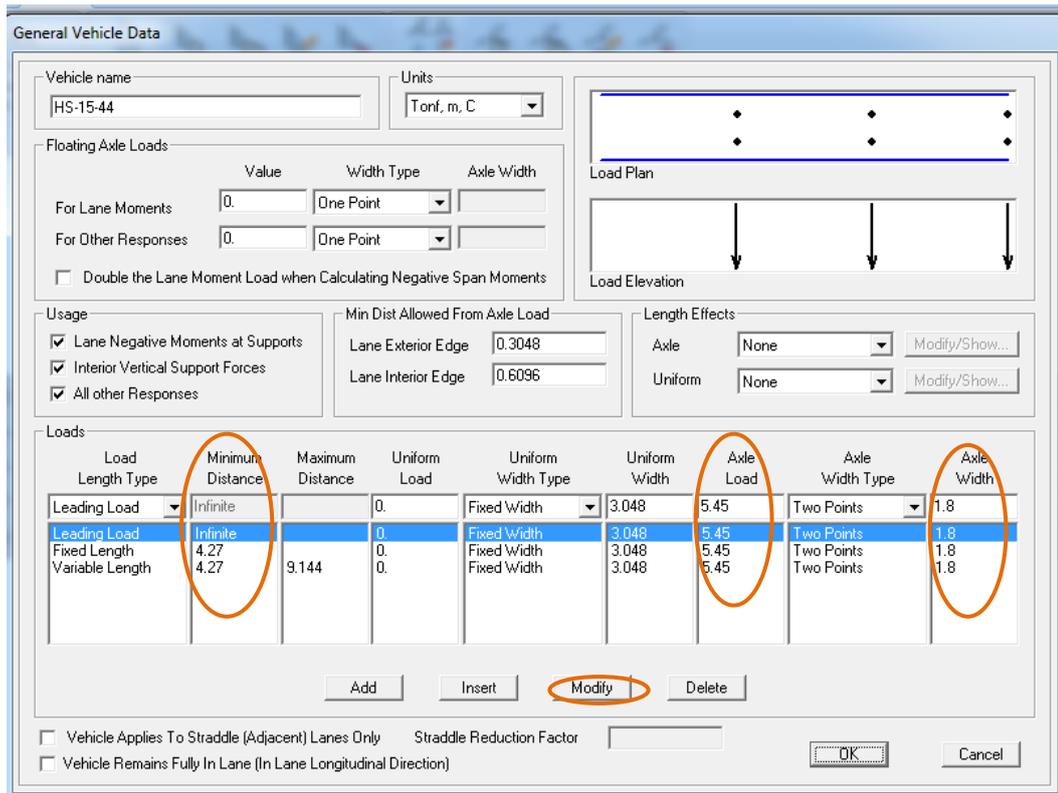


Figura 273.Características del vehículo tipo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez creado el vehículo tipo se crea la clase de vehículos al hacer clic en “Vehicle Classes”

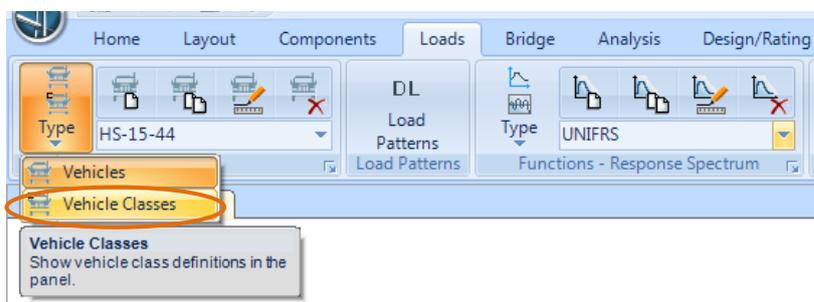


Figura 274.Crear una clase de vehículo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se debe hacer clic en “New Vehicle Classes” y añadir el vehículo creado **Hs-15-44**.

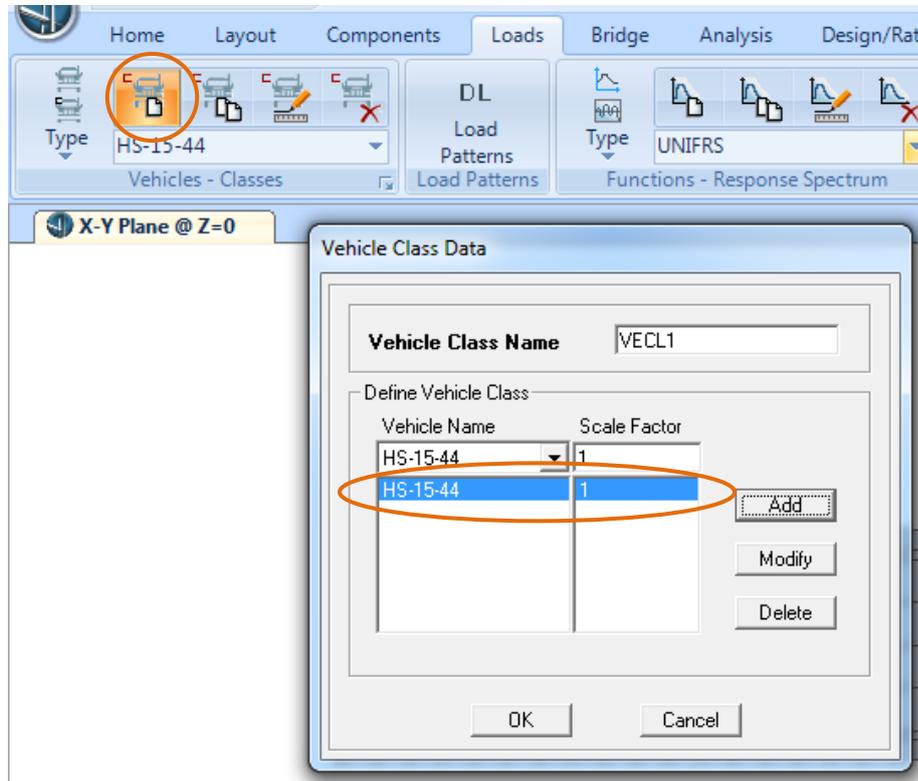


Figura 275.Definición de la clase de vehículo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.12. Definir los patrones de carga

- Para definir los patrones de carga ir al menú “**Loads**” elegir el icono “**Load Patterns**”, por defecto el programa tiene carga muerta de tipo “**Dead**” en la cual se escribió **CM** con un factor multiplicador de 1 para que se aplique el peso propio de la estructura y se presionó “**Modify Load Patterns**” las demás cargas se las añade con el tipo de carga que representa cada una y con un factor de 0 como se indica en la siguiente figura.

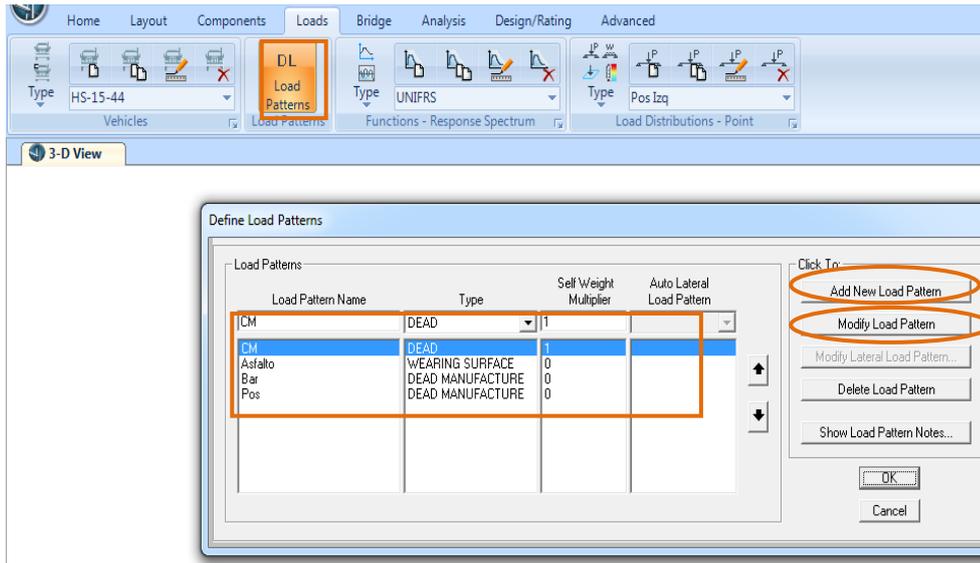


Figura 276.Definición de los patrones de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.13. Definición de las cargas del puente

- La primera carga que se añade es la carga puntual de los postes ubicado a la derecha, para lo cual ir al menú “**Loads**” seleccionar “**Type**” y elegir “**Point Load**”

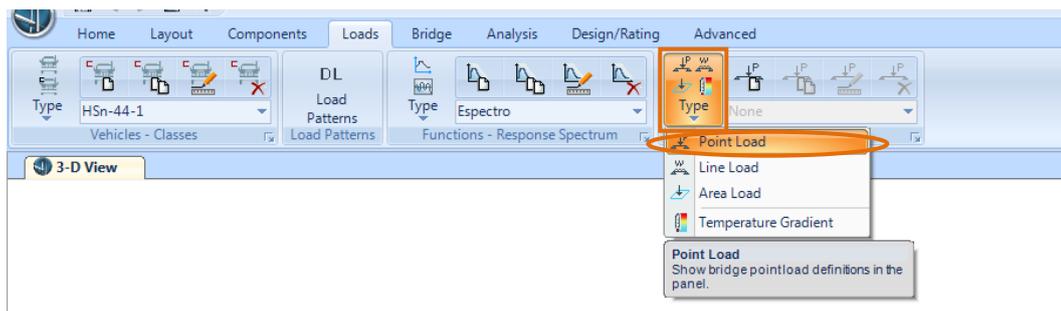


Figura 277.Creación de la carga puntual

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego hacer clic en “New” y se abre el siguiente cuadro de dialogo, tomado en cuenta la dirección de la carga en este caso es “Gravity”, ingresando el valor de la carga en la opción “Value” verificando las unidades en este caso es de 0.10 T, y por último se indica la ubicación “Right Edge of Deck” con su respectiva distancia a 0.10 del lado derecho.

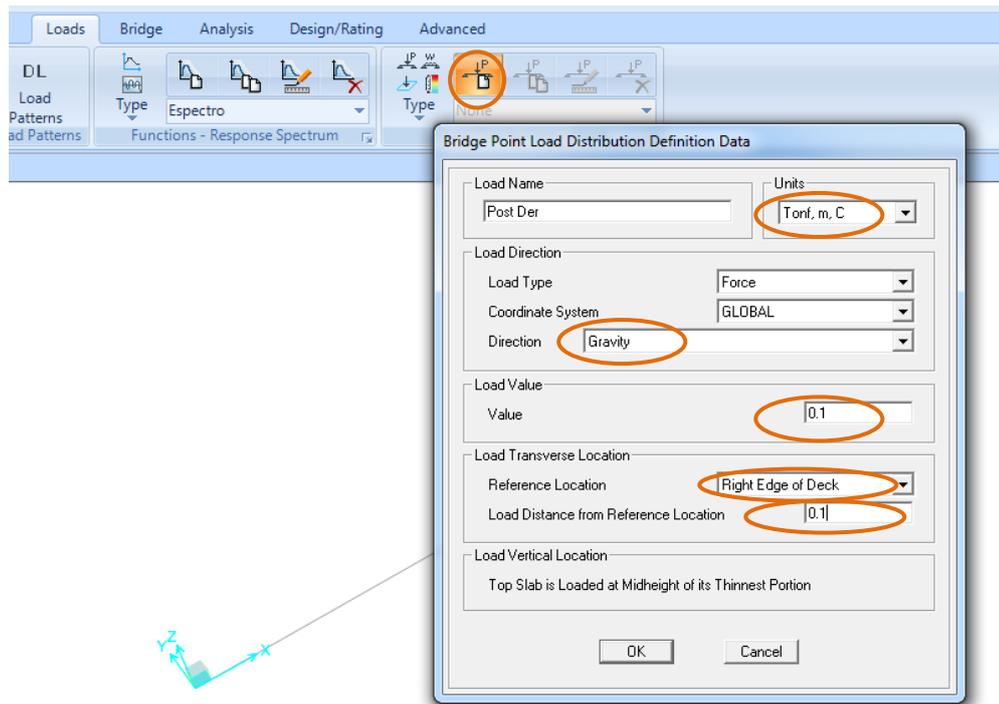


Figura 278.Definición de los postes a la derecha

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después crear una copia del anterior hacer clic en “Copy” y se abre el siguiente cuadro de dialogo, en el cual solo se debe cambiar la ubicación a la izquierda conservando las mismas características, es decir hacer clic en “Left Edge of Deck” y en “Ok”.

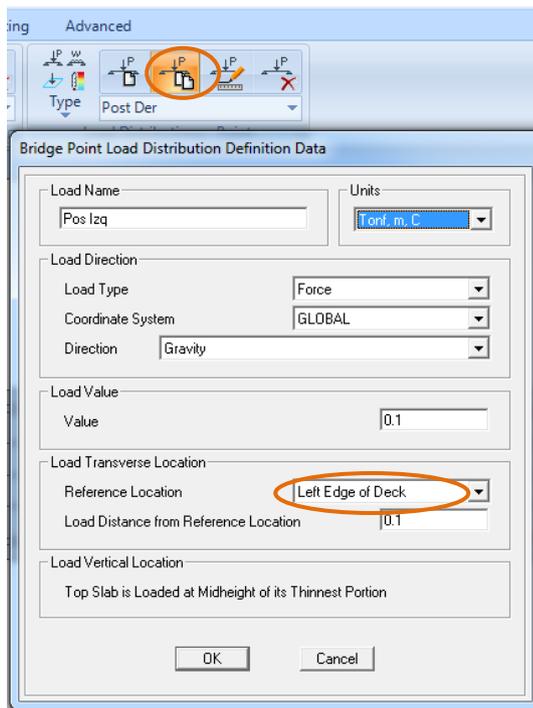


Figura 279.Definición de los postes izquierdos

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se define la carga lineal aplicada sobre el puente o también conocida como carga de baranda con un valor de 0.15 T/m, los pasos a seguir son: ir al menú **“Loads”** seleccionar el menú **“Type”** escoger el literal **“Line Load”**

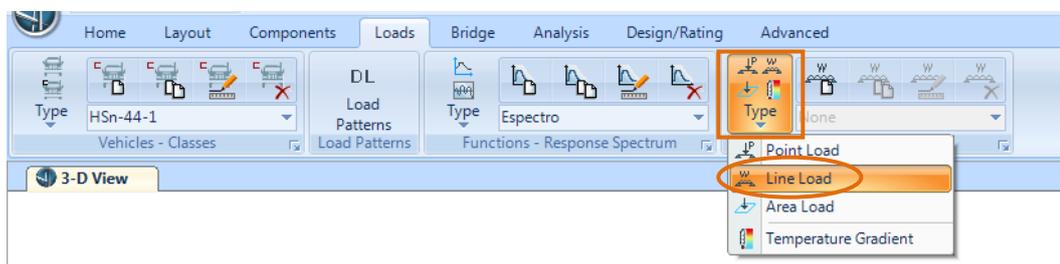


Figura 280.Crear la carga lineal

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se activa la opción “**New Line load**” , dar clic sobre tal opción y se desplegara el siguiente cuadro de dialogo en el cual primero se elige las unidades, después se indica la dirección de la carga es decir “**Gravity**” con un valor de 0.15T/m se encuentra ubicada a la derecha seleccionar el ítem “**Right Edge of Deck**” a una distancia de 0.10m

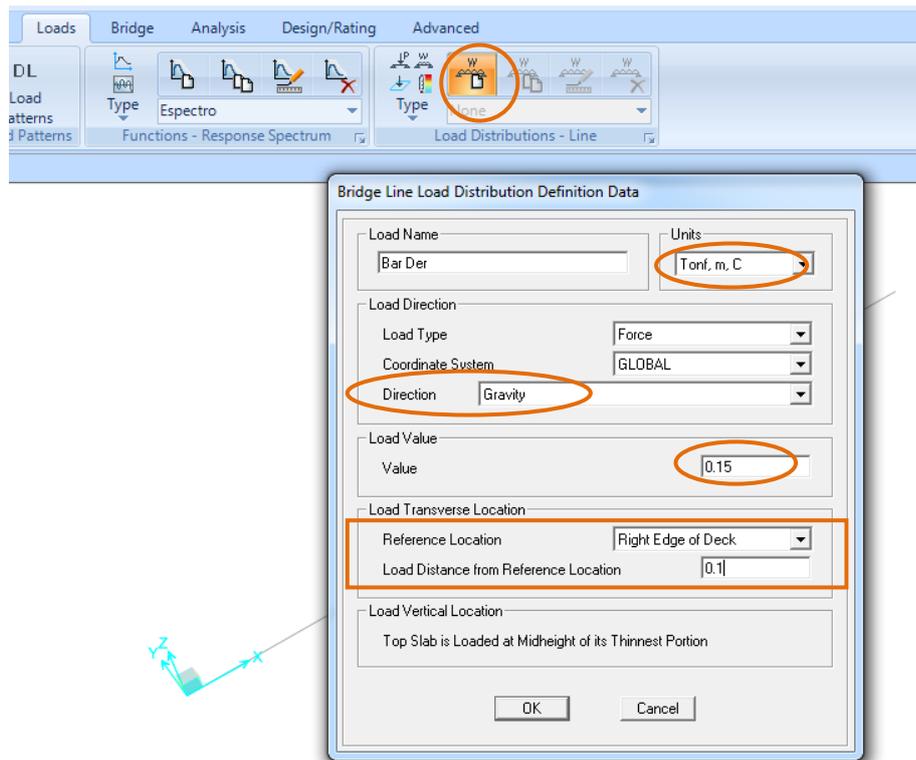


Figura 281.Definición de la carga de baranda derecha

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Para crear la carga de baranda izquierda se dio clic en “**New Line Load**” y se insertan los mismos valores y dirección de la baranda derecha a diferencia de su ubicación en este caso definimos “**Left Edge of Deck**” y con la distancia de 0.10m

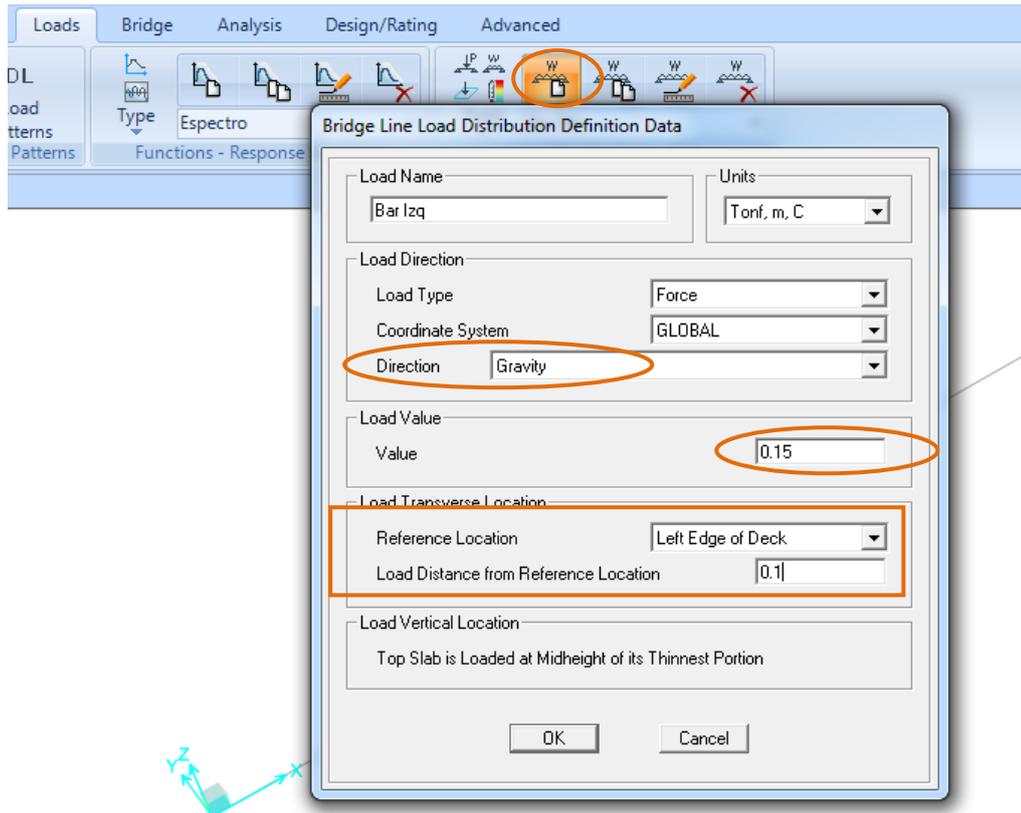


Figura 282.Definición de la carga de baranda Izquierda

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La tercera carga asignada es la carga en área , su definición inicia al dirigirse al menú “Type”, eligiendo el literal “Area Load”

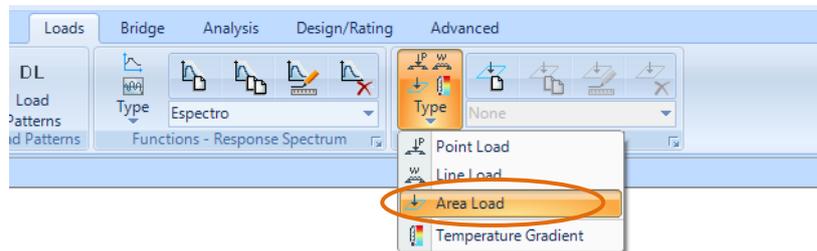


Figura 283.Crear la carga de asfalto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Posteriormente se hace clic en “New Area Load” y se desplegará el siguiente cuadro de diálogo, en el cual se ubica las unidades de trabajo en T-m, luego se ingresa la dirección “Direction” “Gravity”, se continúa insertando el valor de 0.12T/m² de la carga tanto a ala derecha como a la izquierda y por último se coloca su localización con su respectiva distancia es decir a la izquierda “Left Edge of Deck” a 0.15 m y a la derecha “Right Edge of Deck” a 0.15m

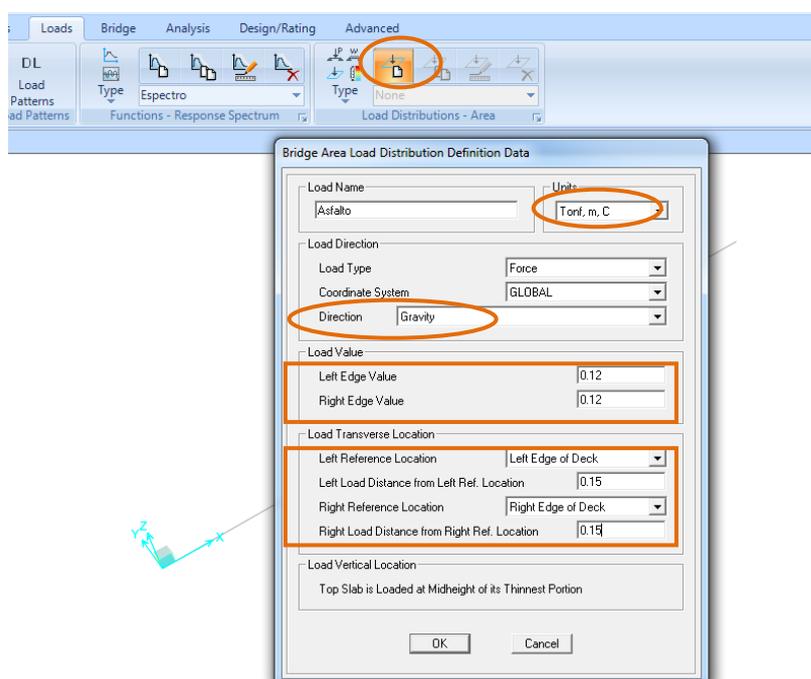


Figura 284.Definición de la carga de asfalto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.14. Definición de carga móvil

- Para la asignación de la carga móvil del camión de diseño ir al menú “Analysis”, después dar clic en el icono “Type” y seleccionar el literal “Moving Load”

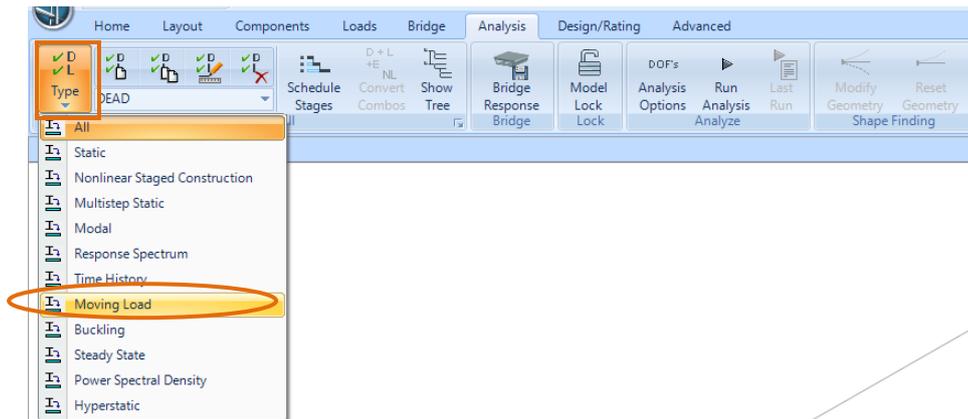


Figura 285. Crear la carga móvil

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se activará la opción “**New Moving Load**”, al hacer clic se despliega el siguiente cuadro de dialogo, en donde se añade la clase de vehículo al dar clic en “**Add**”, también se debe verificar que en el caso de carga o “**Load Case Type**” se encuentre especificado “**Moving Load**” y que el factor de reducción de escala sea igual a 1 cuando se tiene dos carriles, y por último seleccionar los dos carriles lo cual indica que sobre ellos circulará el vehículo tipo

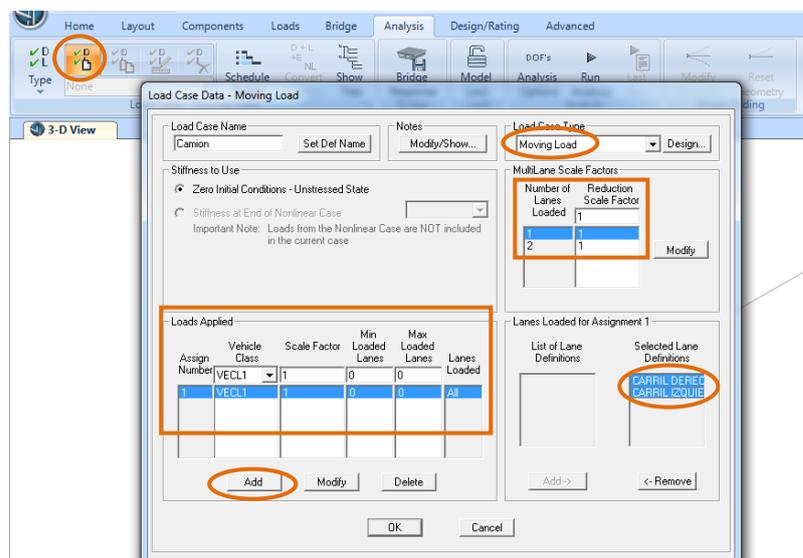


Figura 286. Configuración de la carga móvil

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.15. Definición del objeto puente

- Para la definición del objeto puente ir al menú “**Bridge**”, seleccionar al icono “**New Bridge Object**” y se abrirá la ventana que se muestra a continuación en la cual se debe configurar los espacios o “**Spans**” siguiendo los siguientes pasos

1.- En el enunciado “**Define Bridge Object Reference Line**”, elegir la fila de “**Start Abument**” y se le cambia el nombre a “**Estribo**” luego hacer clic en “**Modify**” para que se guarden los cambios.

2.-Luego se vuelve a seleccionar la fila de “**Estribo**” se cambia el nombre por “**TRAMO ACERO**” a una estación o “**Station**” de 25 m que es la longitud del tramo de puente de acero y al hacer clic en “**Add**” el puente se divide en dos tramos

3.-El segundo espacio se lo configura de acuerdo al literal uno y se lo llama “**TRAMO CONCRETO**” el cual se encuentra desde los 25m hasta los 46m

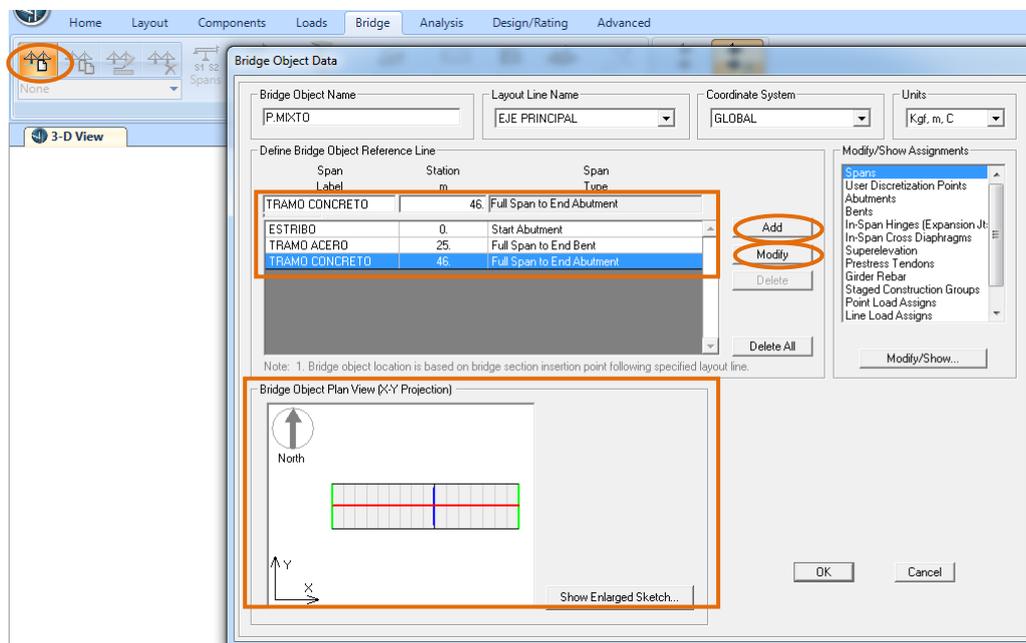


Figura 287.Asignación del tramo de concreto y acero

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.15.1. Asignación del Span

- Se procede a asignar la sección transversal de cada tramo, dar clic en “Spans” y en el primer espacio llamado “TRAMO ACERO” elegir la sección transversal “S.METAL” y para el segundo espacio “TRAMO CONCRETO” elegir la sección “S.CONCRETO”.

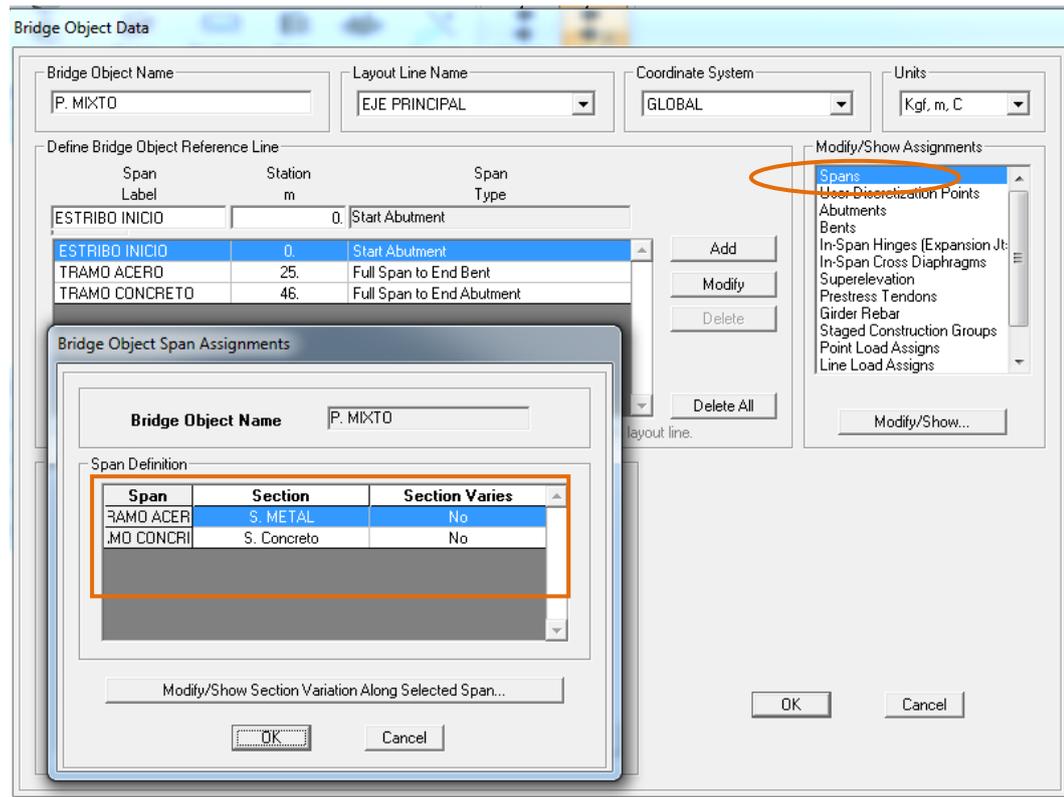


Figura 288. Asignación de los espacios

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.15.2. Asignación de los estribos

- Asignación de los estribos hacer clic en “Abutments” para configurar los siguientes parámetros en el estribo de inicio “Start Abutment”

1.-En la opción “**Abutment Property**” escoger la sección con las características anteriormente creadas en la sub estructura

2.-Dirigirse al literal “**Elevation (Global Z)** e ingresar la altura descendente a la que se encuentra ubicado el estribo con respecto al eje del puente, la cual es calculada de la siguiente manera.

altura de la viga + altura del tablero + altura del neopreno

$$1.167m + 0.19m + 0.05m = 1.405m \text{ se coloca } 1.41m$$

El valor calculado es de 1.41m se ingresa en este casillero con signo negativo debido a que es una altura descendente.

3.- Definir el apoyo móvil en la opción “**Bearing Property**”, también ingresar la altura descendente a la que se encuentra el apoyo que es de -1.36m tomando en cuenta solo la altura de la viga más el tablero.

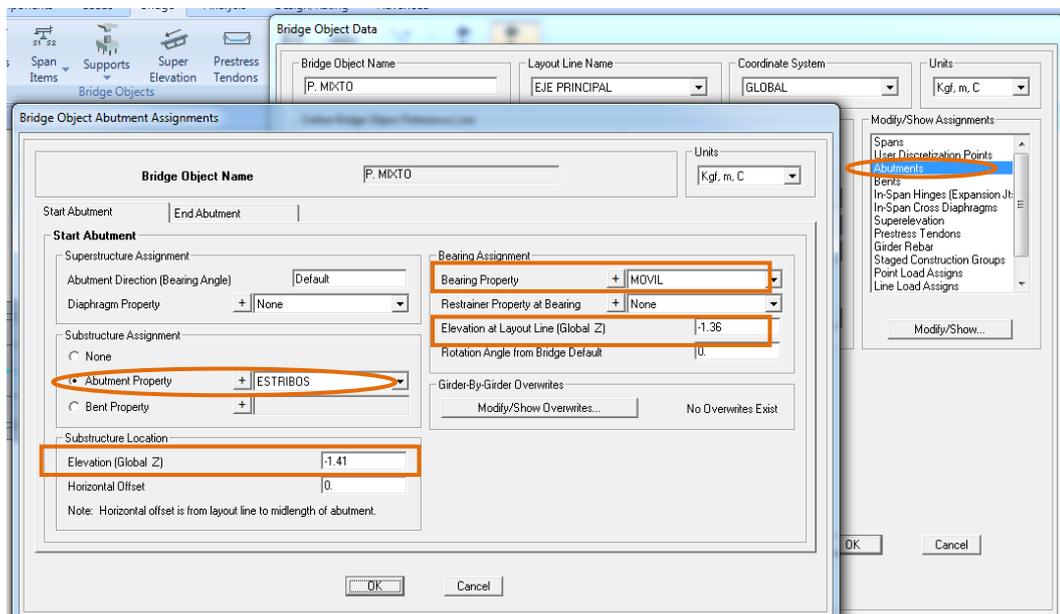


Figura 289.Asignación del estribo de inicio

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación seleccionar el enunciado “**End Abutment**”, que son las características del estribo ubicado al final del puente, se realiza el mismo análisis pero tomando en cuenta que contiene un diafragma de concreto y que la altura descendente del estribo es de -1.50 m y la altura del apoyo es de -1.45m esto varia por la diferencia de altura de las vigas.

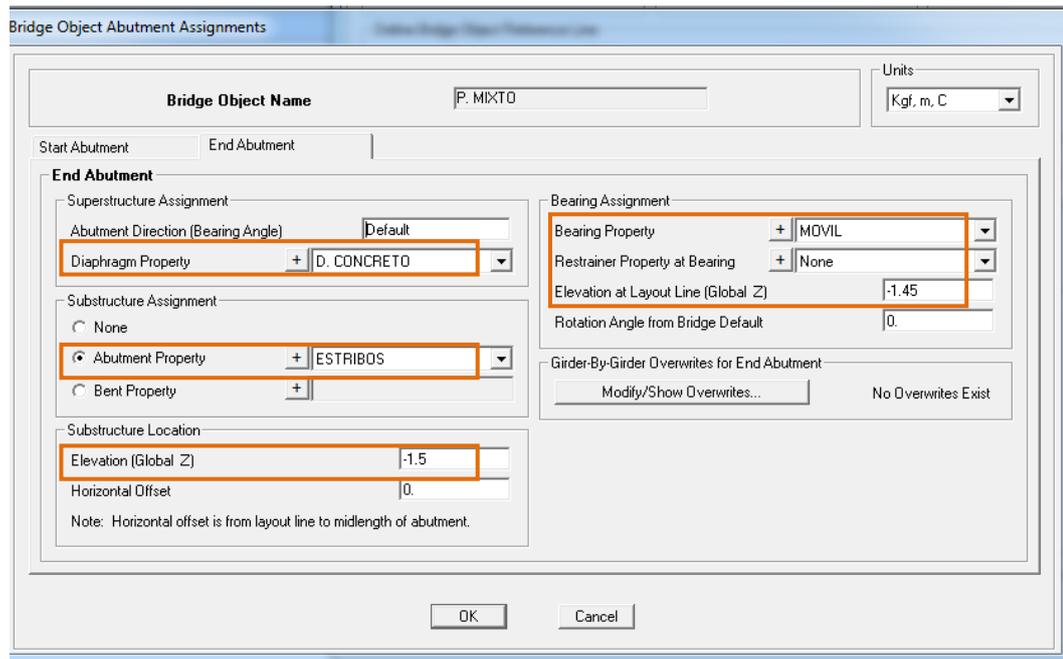


Figura 290.Asignación del estribo del fin

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.15.3. Asignación del Bent

- Se asignará las condiciones de la pila en el puente, para ello hacer clic en “**Bents**” y se abre la siguiente ventana de dialogo la cual se configura de la siguiente manera.

1.- El primer paso es identificar la ubicación de la pila que se encuentre a 25m al fin del “TRAMO DE ACERO” en la opción “Specify Bent Considered”

2.- El segundo paso es dirigirse al enunciado “Diaphragm Property After Bent” y elegir el diafragma de concreto “D.Concreto” que se encuentra después de la pila como se especifica en los detalles .

3.- Definir la altura descendente a la que se encuentra la pila en la opción “Elevation (Global Z)” insertar el valor de -1.50m, en este caso se adoptó la altura de las vigas de hormigón

4.- Asignar como fijo el apoyo ubicado antes de la pila en el enunciado “Bearing Assignment Before Bent” y en la elevación se colocó -1.45m, las mismas características se colocan en el apoyo después de la pila en la opción “Bearing Assignment After Bent”

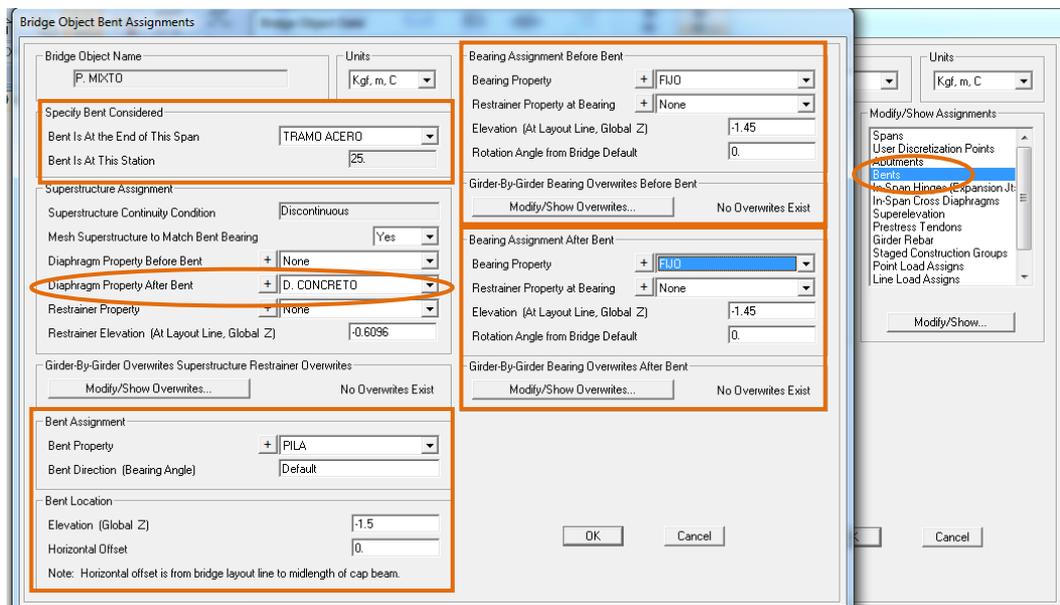


Figura 291. Asignación de la pila

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.15.4. Asignación de los Diafragmas

- El siguiente parámetro a definir en el puente son los diafragmas, hacer clic en **“In Span Cross Diaphragms”** e ingresar las distancias o **“Distance”** especificadas en los detalles de las vigas metálicas y de las vigas de hormigón, en el literal **“Diaphragm Property”** se elige la sección de diafragmas creadas anteriormente de acero o de concreto y se da clic en **“Add”**

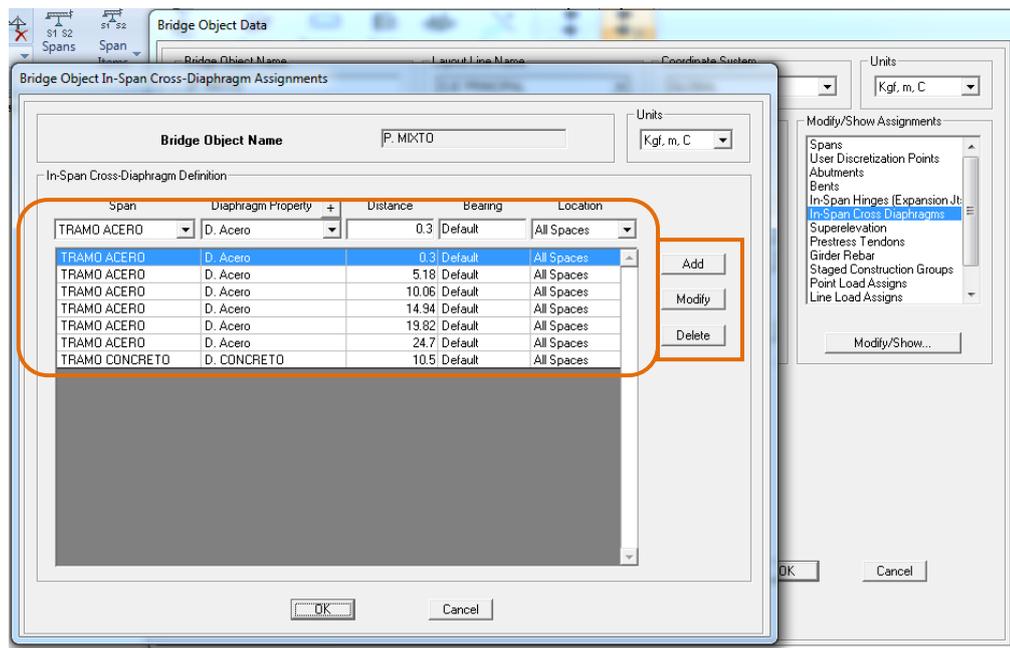


Figura 292. Asignación de los diafragmas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.15.5. Asignación de las varillas de refuerzo longitudinal

- A continuación se ingresa los aceros de refuerzo del tramo de concreto, seleccionar **“Girder Rebar”**, se abre un cuadro de dialogo para insertar cada uno de los aceros siguiendo una secuencia de pasos

1.-Elegir el nombre de la varilla “**Bar size**” la primera varilla ingresada es de nombre “**N32**”, luego elegir el número de la varilla en “**N.of Bars**” en este caso son 6

2.- Se indica la referencia de la línea “**Reference Line**” se escoge “**Center of TRAMO DE CONCRETO**” es decir: desde el centro del tramo de concreto

3.- Ingresar la distancia a la izquierda del centro “**Dist. Left**”, sería 10.45m la mitad del puente restando el recubrimiento

4.-Ingresar la distancia derecha con respecto al centro del tramo de concreto “**Dist. Right**”, sería 10.45m la mitad del puente restando el recubrimiento

5.-Insertar el valor de la distancia vertical “**Dist Vertical**” con respecto a la parte de la viga “**Bottom**” abajo, “**Top**” arriba en este ejemplo se tomó “**Bottom**” a 0.05m que representa el recubrimiento, luego de haber definido todos estos parámetros hacer clic en “**Add**” para añadir el acero longitudinal en las vigas

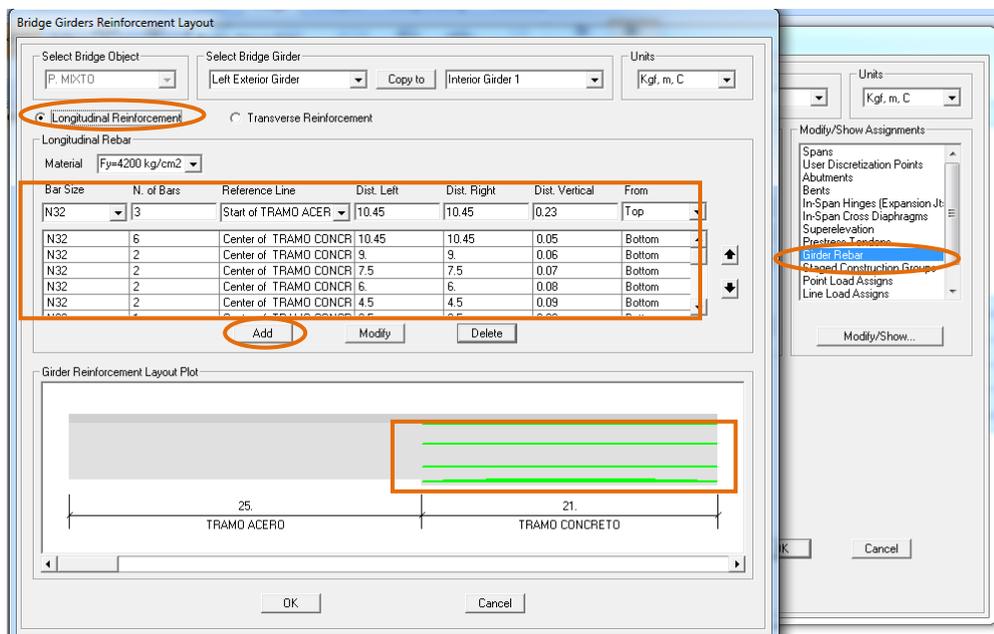


Figura 293. Asignación del acero de refuerzo longitudinal

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.15.6. Asignación de las varillas de acero de refuerzo transversal

- Luego se adiciona el acero transversal al elegir la opción **“Transverse Reinforcement”**, se abre la ventana para insertar cada uno de los aceros siguiendo una secuencia de pasos mostrada a continuación.

- 1.-Elegir el espacio o **“Span”** es el llamado **“TRAMO DE CONCRETO”**
- 2.-El segundo ítem es la localización del acero, es decir: se eligió al inicio del tramo de concreto o **“Spans Start”**
- 3.-Elegir el nombre de la varilla **“Bar size”** la varilla ingresada es de nombre **“N12”**
- 4.-Elegir el número de la varilla en **“N.of Bars”** en este caso son 4 por ser dos estribos que contiene cada viga
- 5.-Ingresar la dimensión de los espacios o **“Spacing”** que es de 0.35m
- 6.- Se indica el número de espacios en el literal **“N. of Spaces”** que son 16
- 7.- Por último se coloca el valor de la distancia de inicio y fin de este refuerzo transversal que sería de 0 hasta 5.6m de la viga

Nota: Siguiendo esta secuencia de pasos se ingresan los demás aceros de refuerzo y a medida que se va ingresando se puede ver en la parte inferior la gráfica de cada uno de ellos.

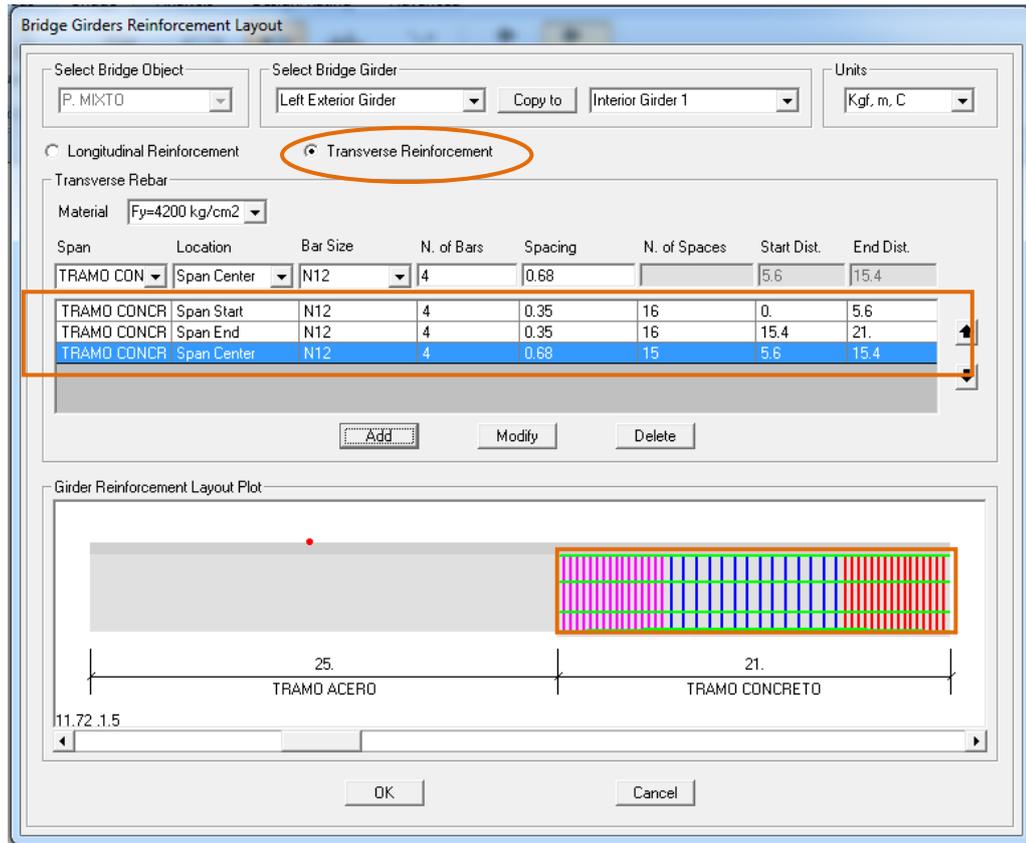


Figura 294.Asignación del acero de refuerzo transversal

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.15.7. Asignación de las cargas

- Para la asignación de las cargas puntuales anteriormente definidas hacer clic en “**Point Load Assignment**” luego se despliega una ventana en la cual se ingresa todas las cargas puntuales tomadas en cuenta en el diseño, así tenemos la carga de postes, tanto a la derecha como a la izquierda a lo largo del puente. En el tramo de acero se tiene 7 postes ubicados a 3.83m de longitud iniciando a 1 m del tablero luego continúan 5 postes más en el tramo de concreto a una distancia de 4.15m.

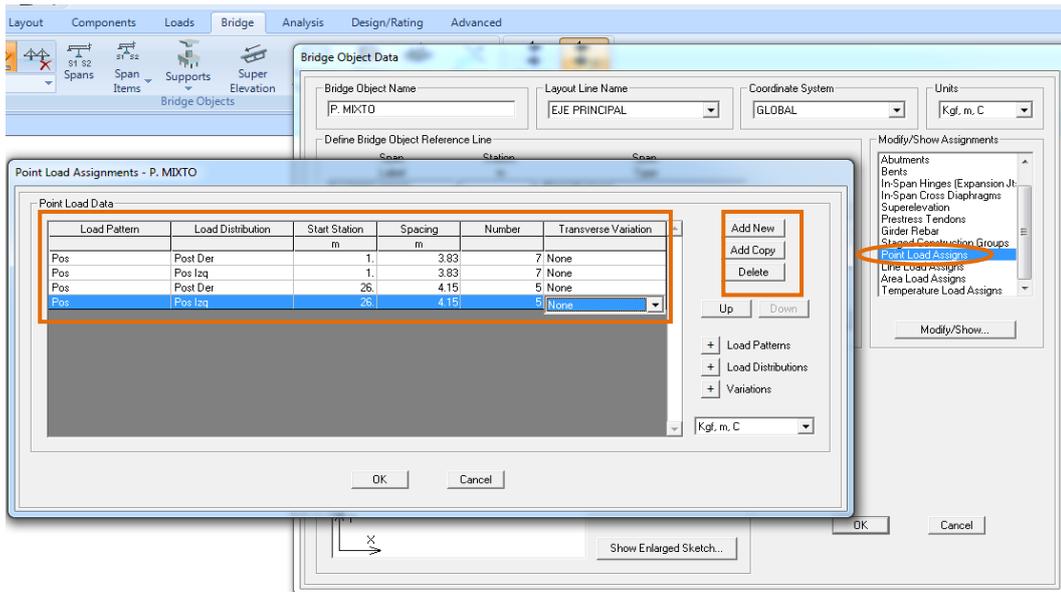


Figura 295.Asignación de la carga de frenado y postes

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La siguiente carga a asignar es la lineal por ello hacer clic en “**Line Load Assigns**” y elegir la carga de baranda tanto izquierda como derecha, la cual inicia en 0 y termina en la longitud del puente 46m

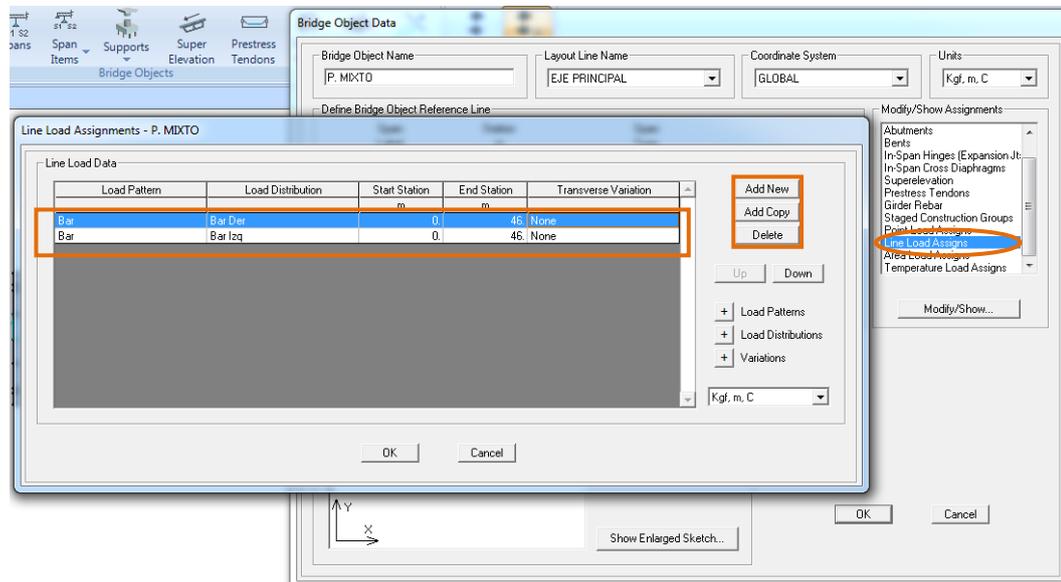


Figura 296.Asignación de la carga de baranda

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La siguiente carga a asignar es en área por ello hacer clic en “**Area Load Assigns**” y elegir la carga de Asfalto ya definida, la cual inicia en 0 y termina en la longitud del puente 46m

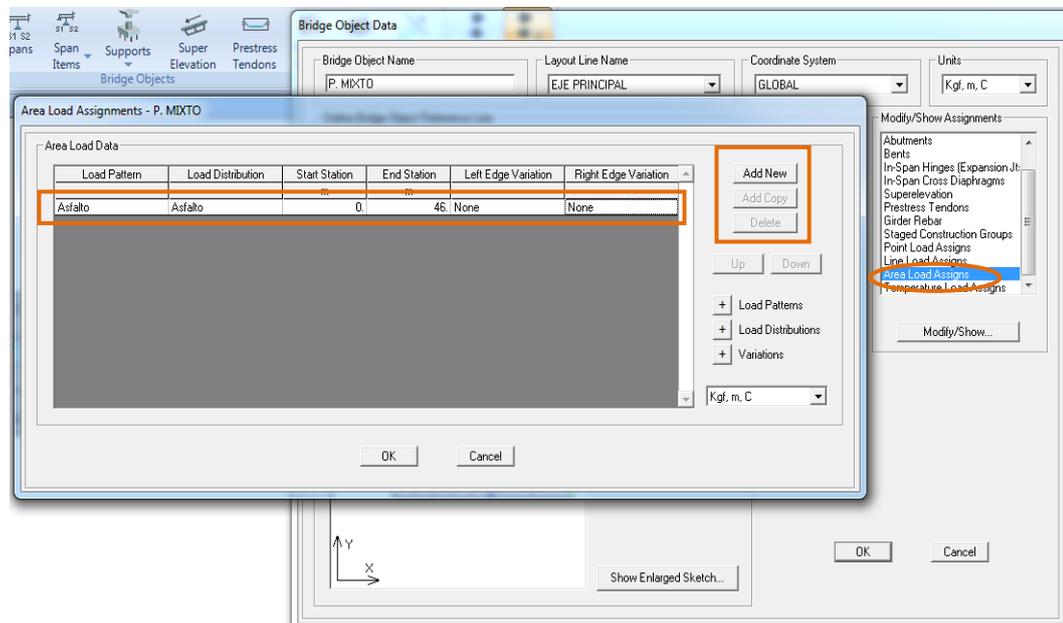


Figura 297.Asignación de la carga de asfalto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente figura se tiene ya asignados todos los parámetros del puente como se puede observar en la parte inferior de la ventana, finalmente hacer clic en “**Ok**” para cerrar el objeto puente

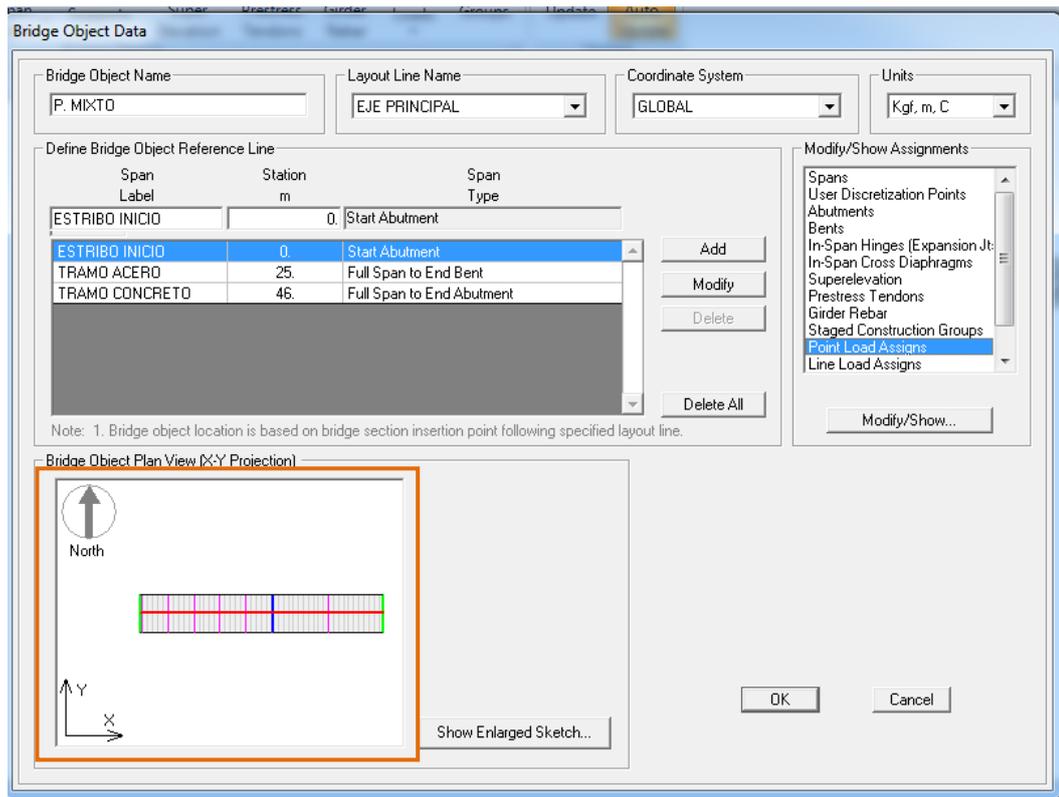


Figura 298. Ventana del objeto puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después de haber definido todos los parámetros del puente se actualiza en la opción **“Update”**, se abrirá una ventana de dialogo en la cual se debe configurar **“Update as Area Object Modal”** con un valor de uno y también se cambia a uno el ancho de la discretización especificado en el literal **“Discretization Information”**

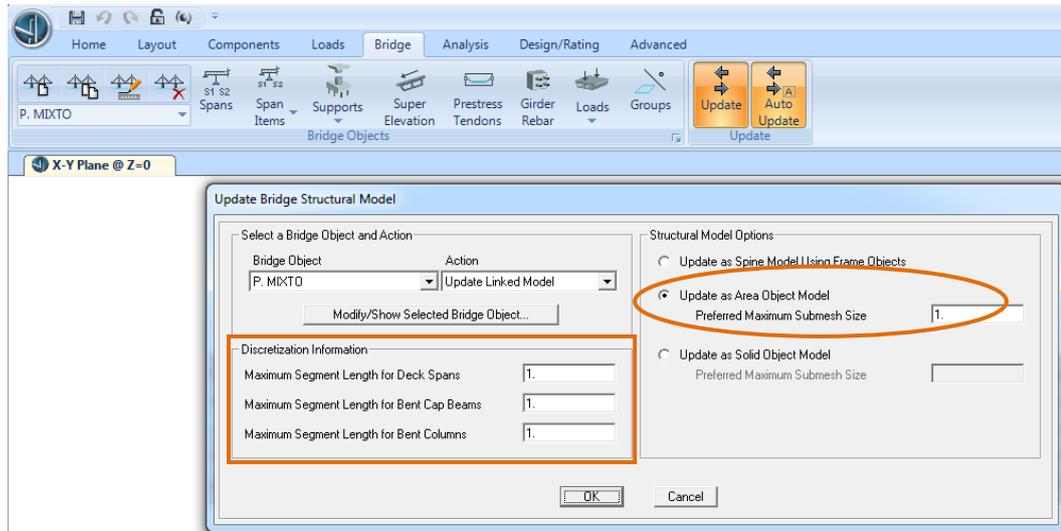


Figura 299.Actualización del modelo

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.16. Visualizar las cargas sobre el puente

- Una vez asignadas las cargas se pueden visualizar como actúan sobre el tablero del puente, para ello dirigirse al menú **“Home”**, dar clic en **“Show Bridge Loads”**, elegir la carga a observar en el enunciado **“Load Pattern”**, la primera carga es **“Asfalto”**, como es una carga en área será de color **“Magenta”** y hacer clic en **“ok”**

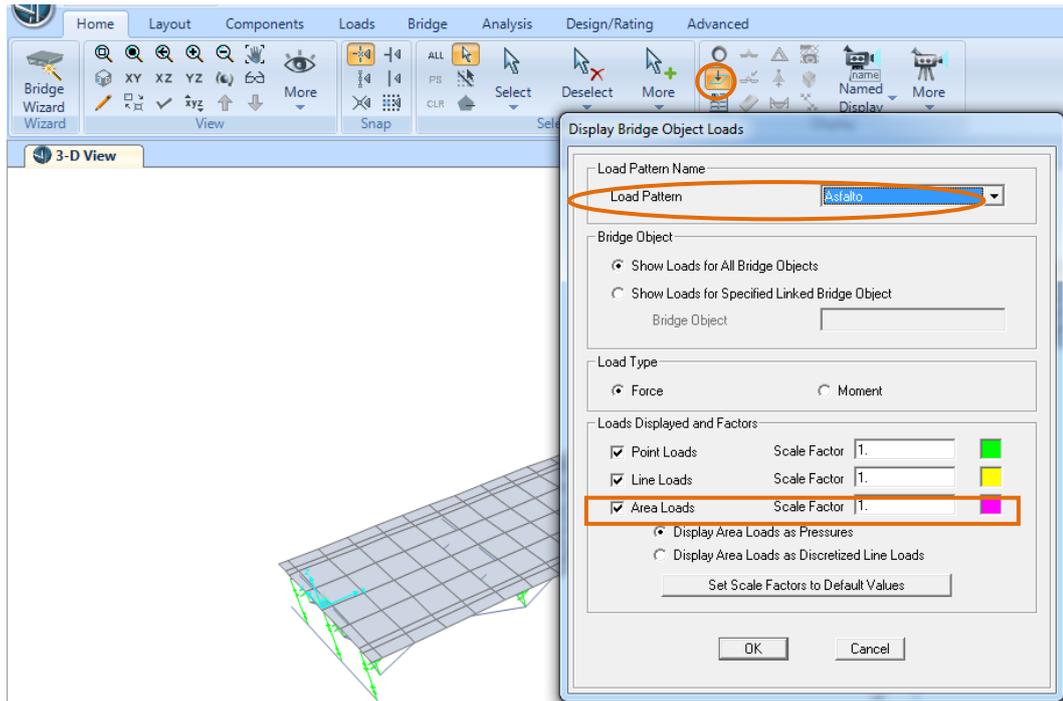


Figura 300.Configuración de la carga de asfalto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se muestra la ventana aplicada la carga de “Asfalto”

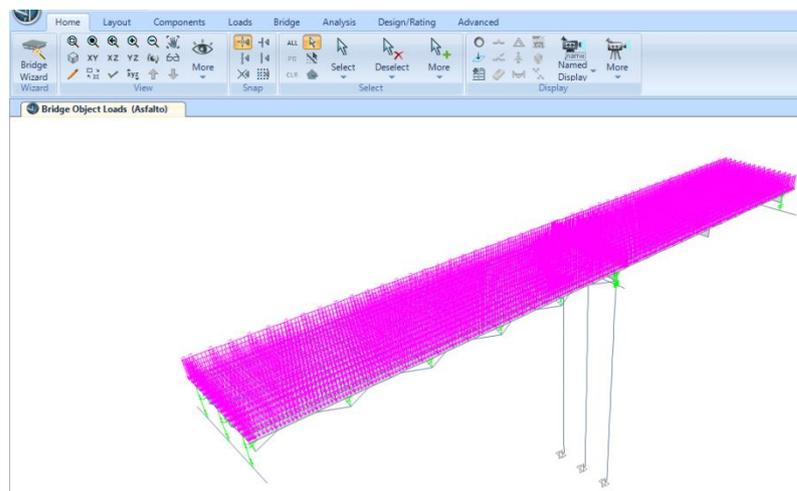


Figura 301.Visualización de la carga de asfalto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La carga que se muestra a continuación es la de la baranda siguiendo el mismo proceso ya mencionado, elegir la opción “Bar”, y como es una carga lineal será de color amarillo por último dar clic en “Ok”

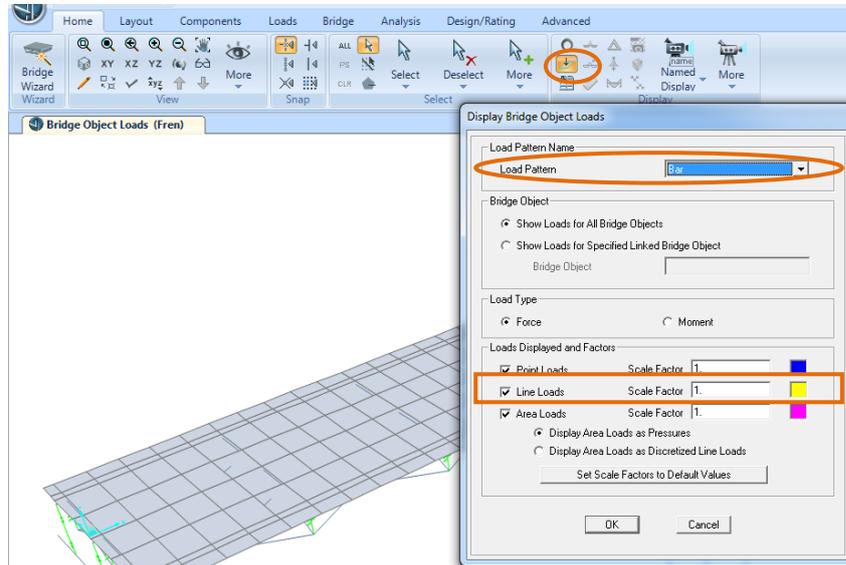


Figura 302.Configuración de la carga de baranda

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la figura que se muestra a continuación se observa la aplicación de la carga de baranda

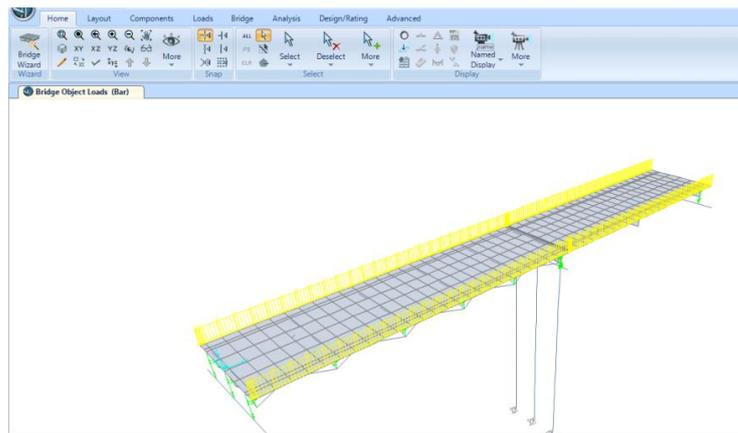


Figura 303.Visualización de la carga de baranda

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La última carga a observar es la de los postes siguiendo la misma secuencia de pasos, elegir la opción “Pos” y como son cargas puntuales se mostraran de color azul.

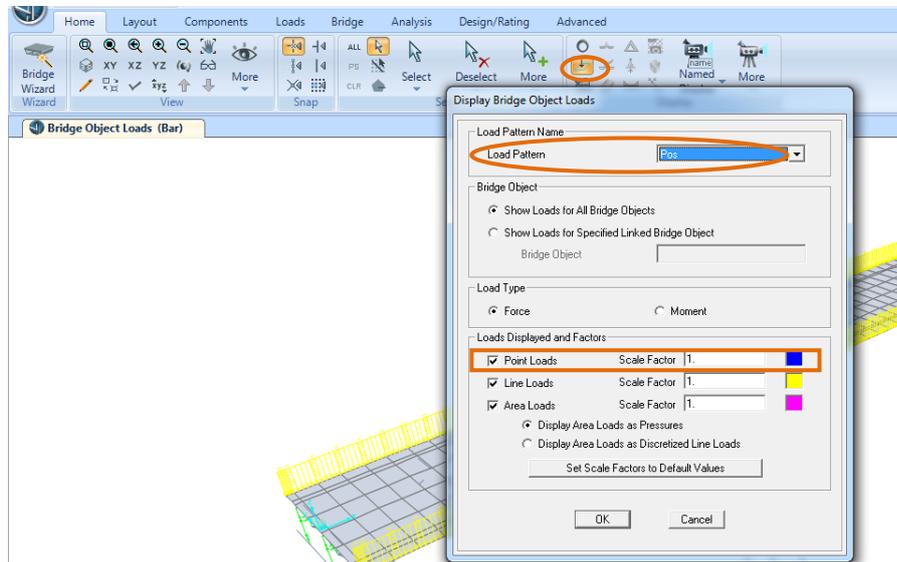


Figura 304.Configuración de la carga de postes

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente figura se muestra como están aplicadas las cargas de postes anteriormente asignadas

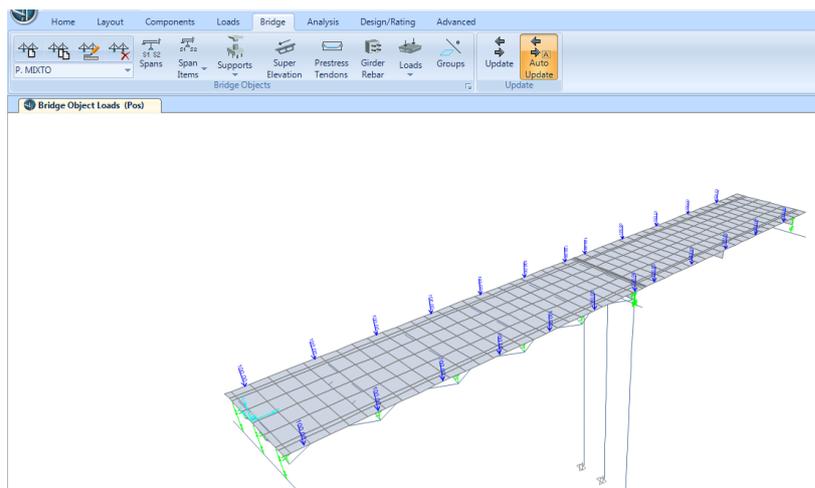


Figura 305.Visualización de las cargas de postes

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.17. Selección de las combinaciones de carga

- Para elegir las combinaciones de carga a emplear en el análisis, ir al menú “**Desing/Rating**” elegir el icono “**Add Defaults**”, se despliega el siguiente cuadro de dialogo en la cual se escoge el item “**Bridge Design**” y después dar clic en el enunciado “**Set Load Combination Data**”

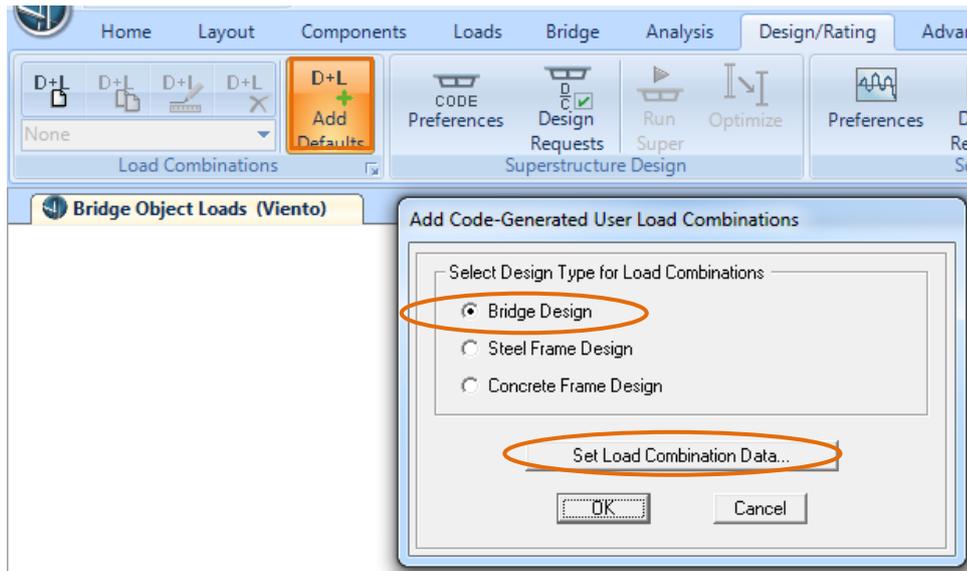


Figura 306. Configuración de las combinaciones de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se abre la siguiente ventana en la cual se elige las combinaciones de carga a trabajar en el puente, en este caso se emplean la combinación de Resistencia 1 “**Strength I**” y Servicio 1 “**Service I**”, quienes constan de las siguientes consideraciones.
 - **Resistencia I:** Combinación de carga básica para el camión normal sin viento.
 - **Servicio I:** Combinación de cargas que representa la operación normal del puente. También se relaciona con el control de las deflexiones de las

estructuras metálicas enterradas, revestimientos de túneles y de las estructuras de hormigón armado.

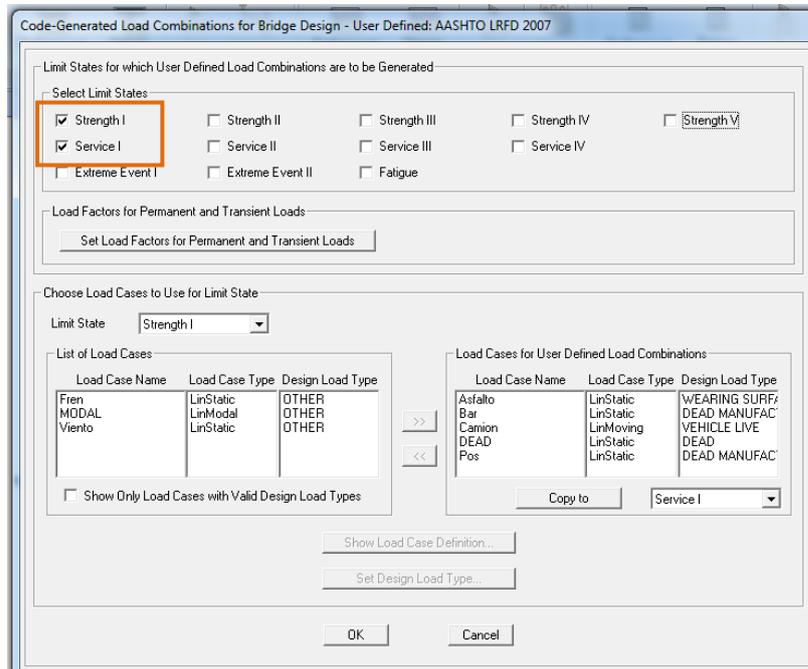


Figura 307. Elección de las combinaciones de carga

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se crean automáticamente las combinaciones de carga seleccionadas con su respectiva envolvente como se muestra en la siguiente figura

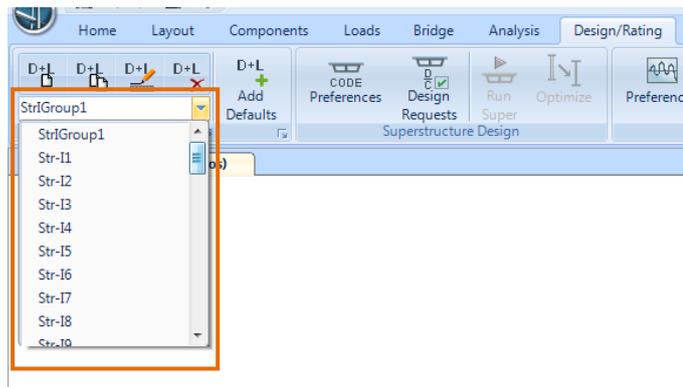


Figura 308. Combinaciones de carga creadas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.18. Definición de los arriostramientos horizontales

- El primer paso para definir los arriostramientos horizontales es desactivar la opción de juntas invisibles ir al menú “Home” y elegir el icono “” y desactivar la opción “Invisible”

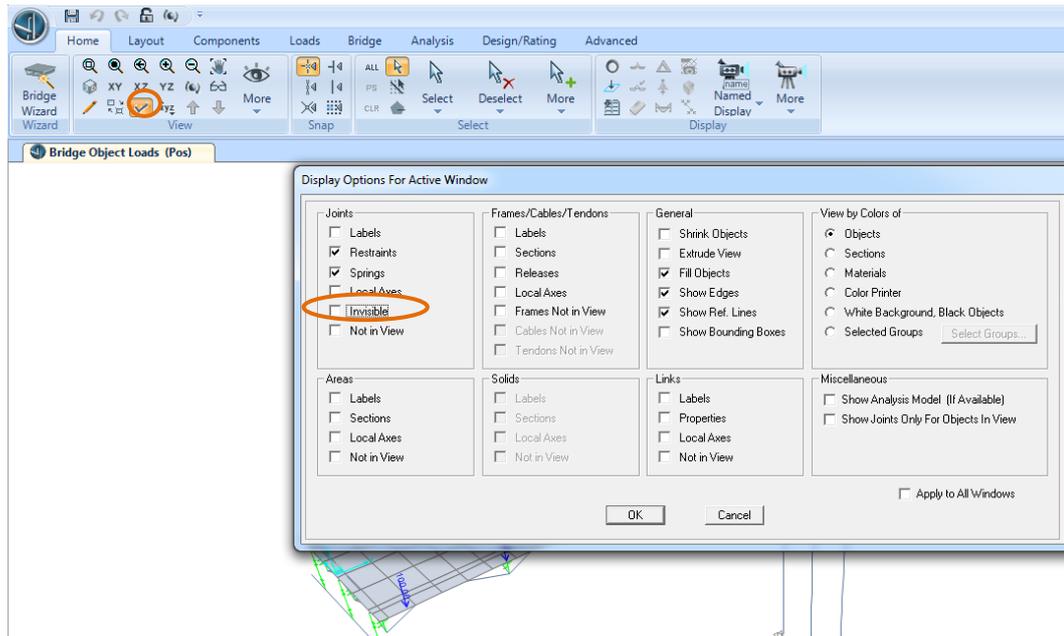


Figura 309. Configuración de la visibilidad de las juntas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Esto ocasionará que se visualicen las juntas de todo el puente como se muestra en la figura.

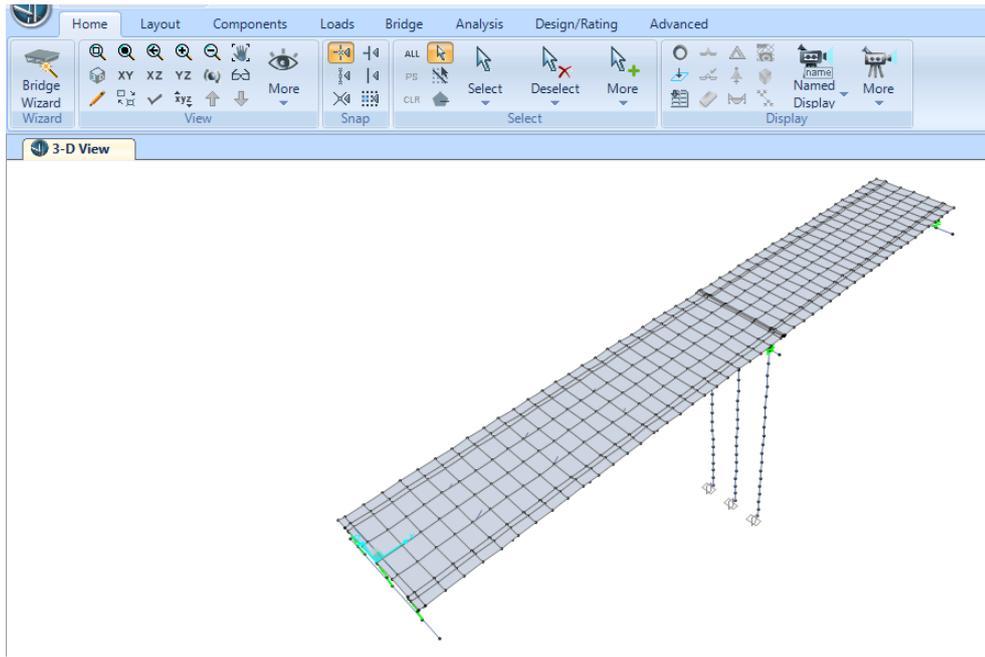


Figura 310. Visualización de las juntas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego hacer clic en el eje “XY” para obtener la vista en planta

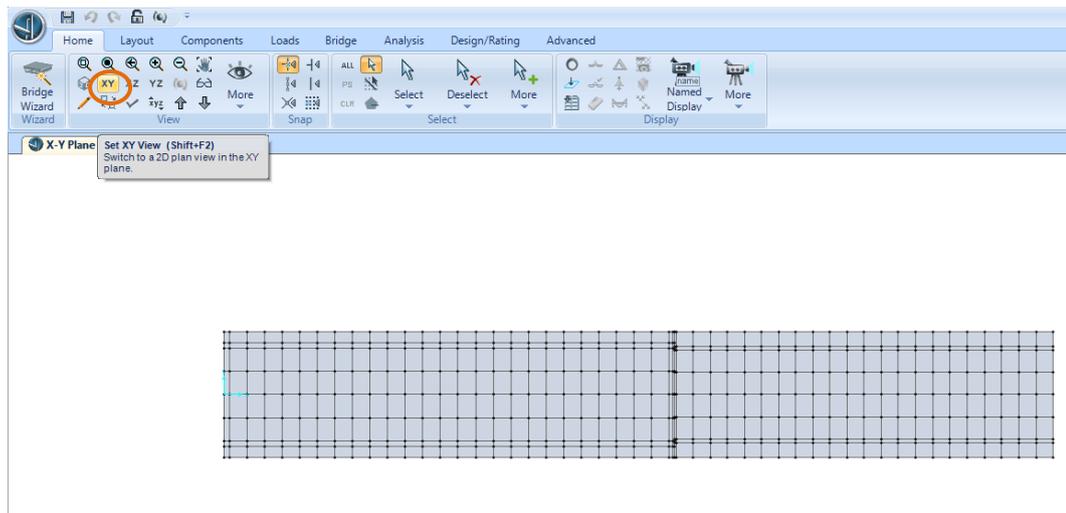


Figura 311. Vista en el plano “XY”

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- El siguiente paso es ir al icono “More” elegir la opción “Set 2D View” y se abrirá un cuadro de dialogo

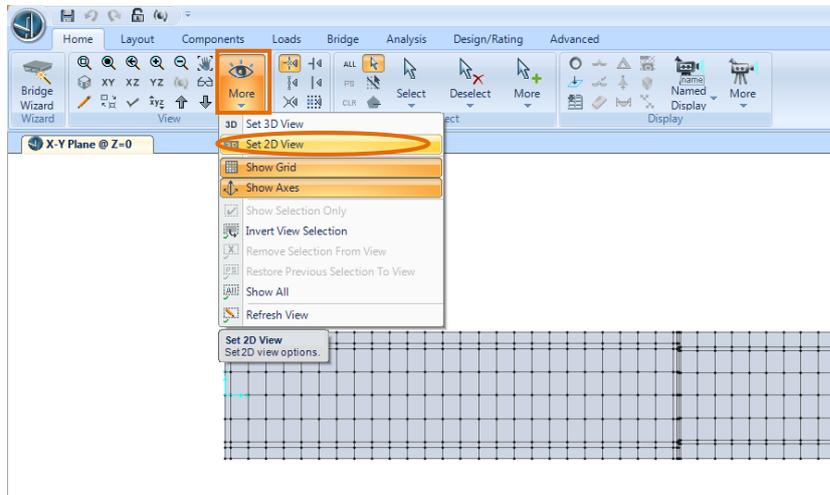


Figura 312.Configuración del puente para la vista en 2D

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después en el cuadro de dialogo dirigirse hacia el plano “XY” y colocar con respecto a “Z” una altura de -1.34 m de la viga metálica sin la platabanda más el espesor del tablero.

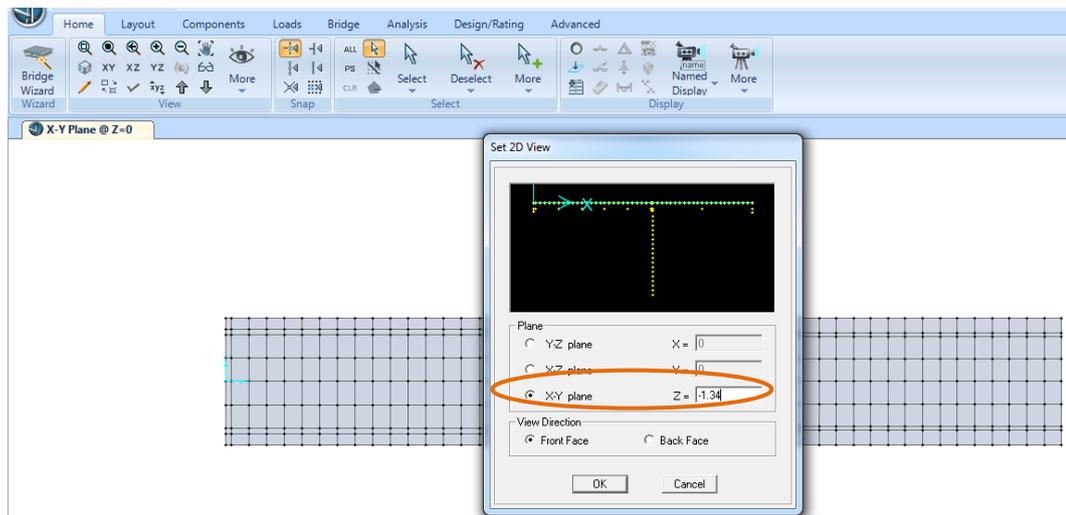


Figura 313.Vista en 2D

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez culminado el paso anterior se observan solo las juntas de las vigas metálicas en la parte inferior donde se ubican los arriostramientos horizontales como se muestran en los detalles de las vigas metálicas. Para dibujar estos elementos ir al menú “**Advance**” hacer clic en el icono dibujar, y se abrirá una pequeña ventana en la cual se debe seleccionar el ángulo de 100x100x8 mm y en la opción “**Moment Releases**” especificar como “**Continuous**” para simular el efecto de soldadura.

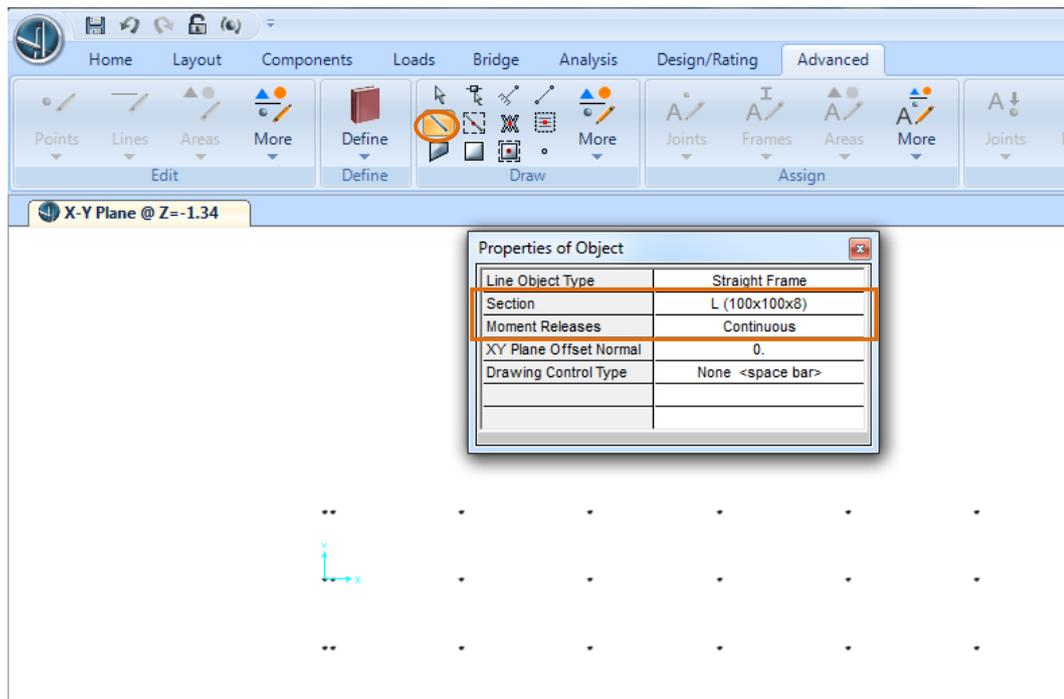


Figura 314. Elección de la sección a dibujar

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se procede a dibujar como se muestra en la figura.

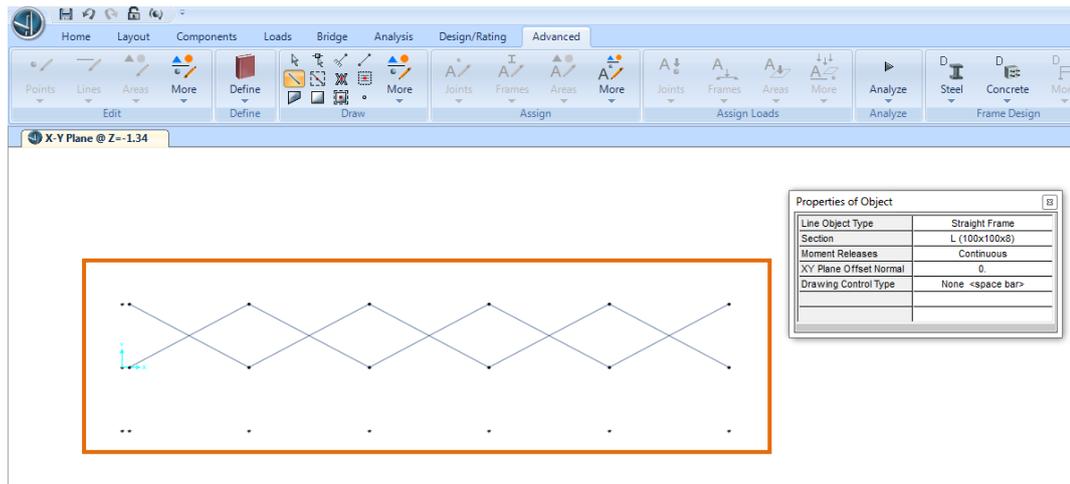


Figura 315.Dibujó de los arriostramientos horizontales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al terminar de dibujar se encuentra de la siguiente forma

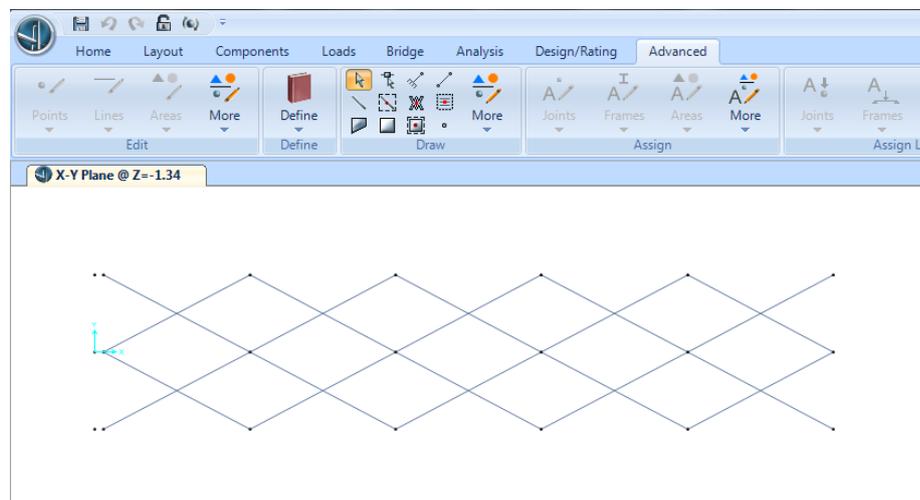


Figura 316.Vista de los arriostramientos horizontales

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Para volver a tener la vista 3D del puente elegir el icono “3D”

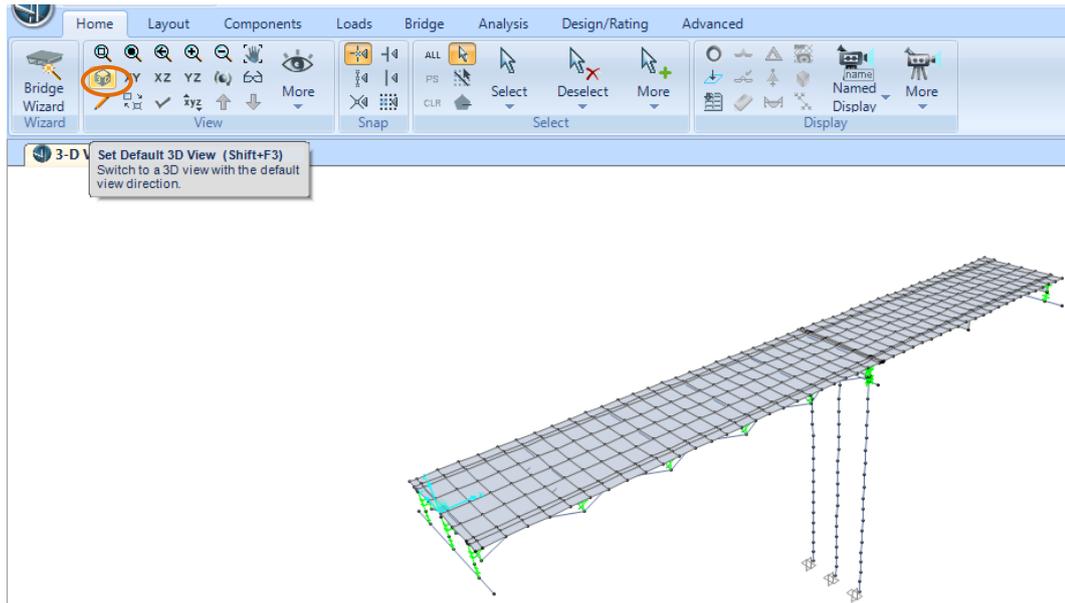


Figura 317.Vista en 3D

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Para poder visualizar los rigidizadores verticales y los arriostramientos horizontales ir al menú “Home” y dirigirse al icono “Select” luego seleccionar la opción “Properties”

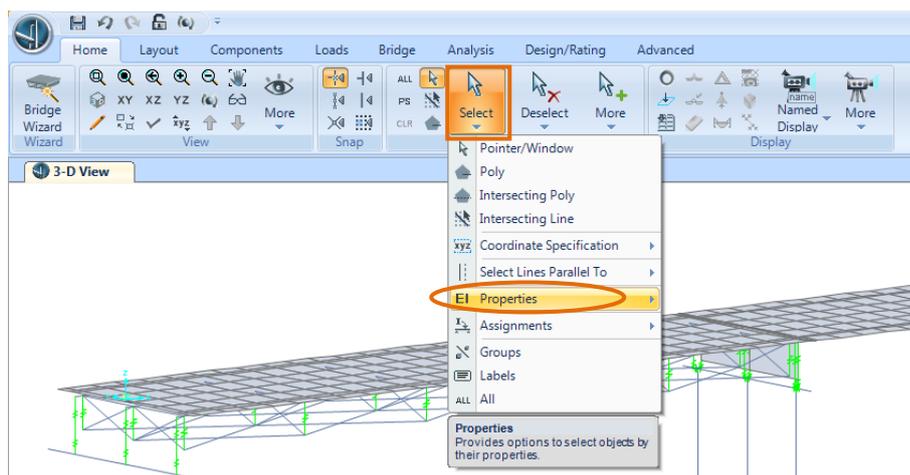


Figura 318.Seleccionar las propiedades

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se despliega una nueva ventana en la cual se debe seleccionar la opción **“Frame Section”**

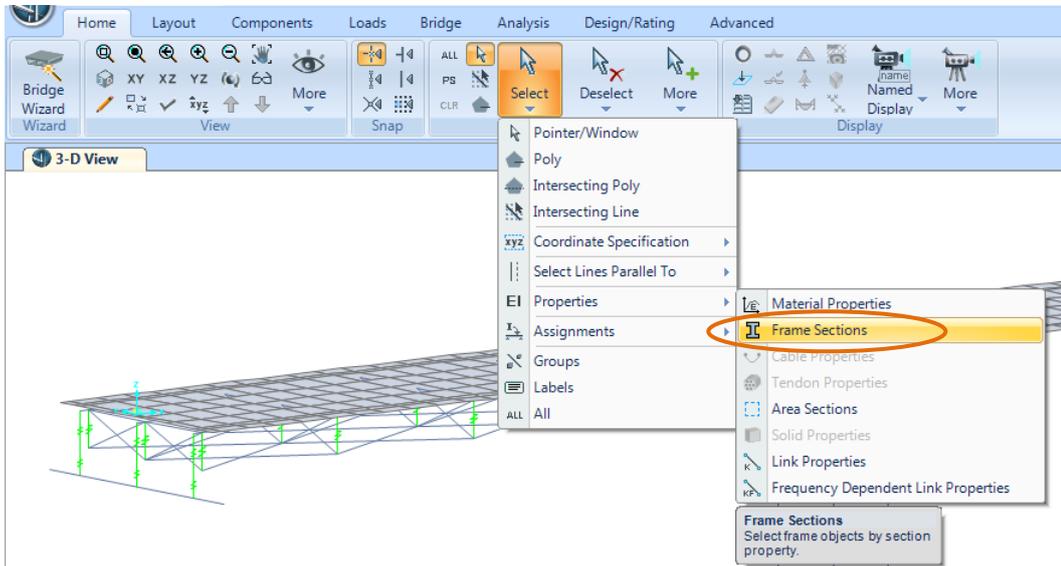


Figura 319.Elegir las secciones creadas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación se despliega la siguiente ventana en la cual se elige la sección de los diafragmas metlicos y los arriostramientos que seria el **“L100x100x8”**

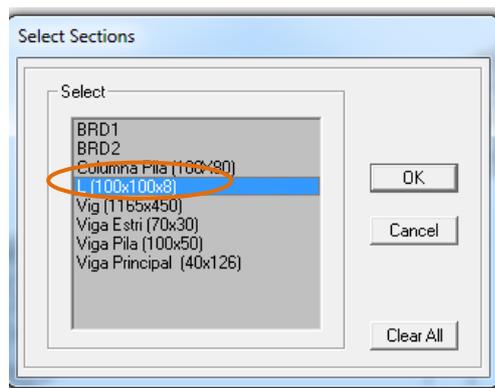


Figura 320.Selección del ángulo de (100x100x8)

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la siguiente figura indica los elementos seleccionados

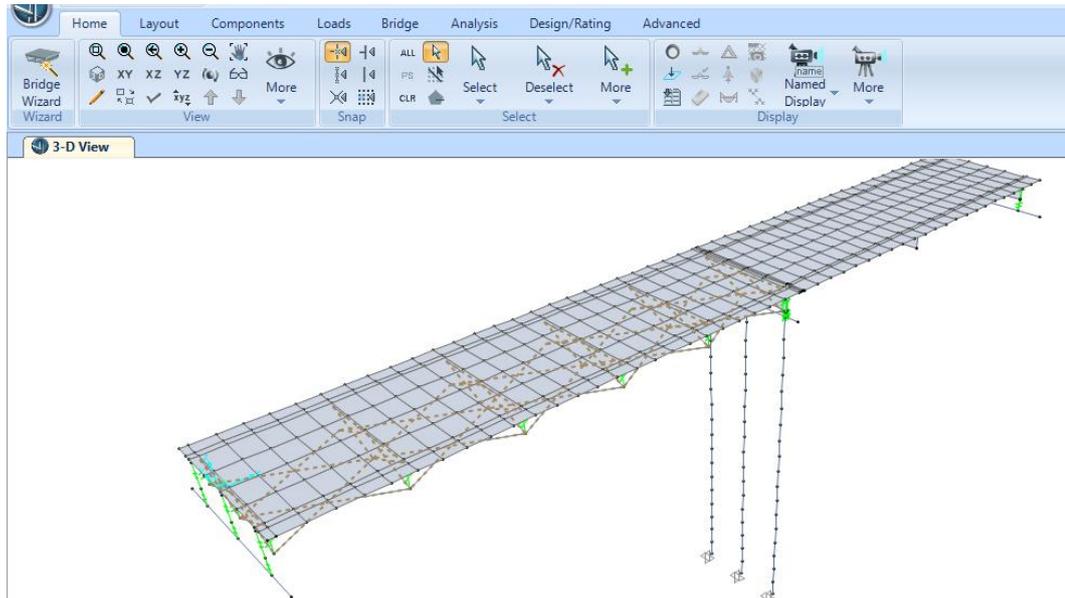


Figura 321.Elementos seleccionados

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después ir al icono “More”, elegir el literal “Show Section Only” lo cual permitirá visualizar solo los elementos seleccionados

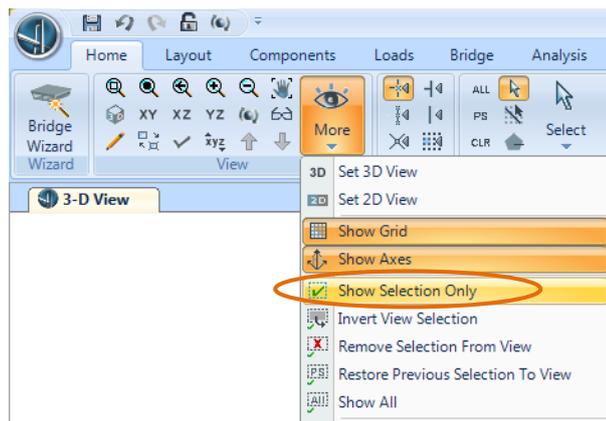


Figura 322.Configuración para visualizar la estructura metálica

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la figura siguiente se puede observar solo los diafragmas y los arriostramientos horizontales.

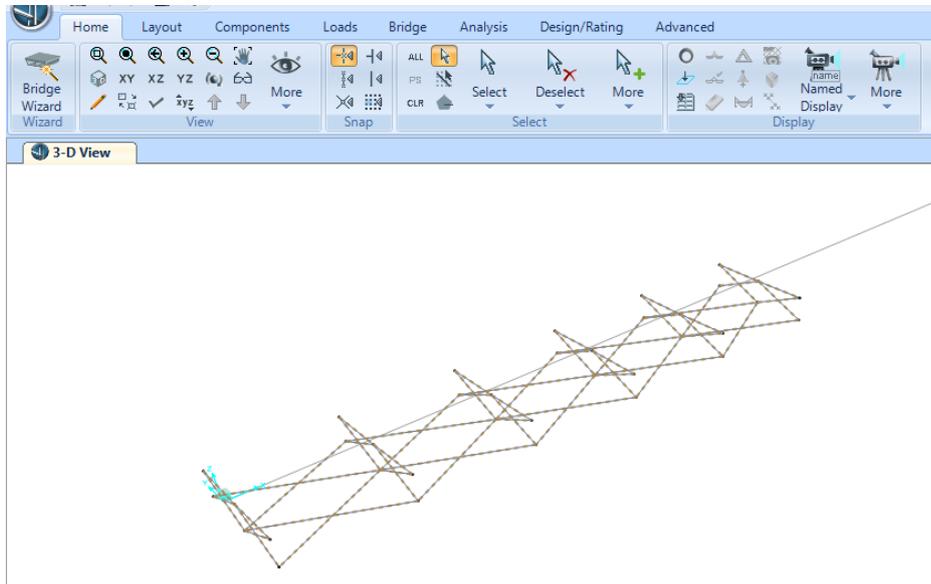


Figura 323.Arriostramientos horizontales y diafragmas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En seguida de verificar que se encuentren los arriostramientos horizontales con sus respectivos diafragmas regresar a la vista en 3D para lo cual hacer clic en “More” y elegir la opción “Show All”

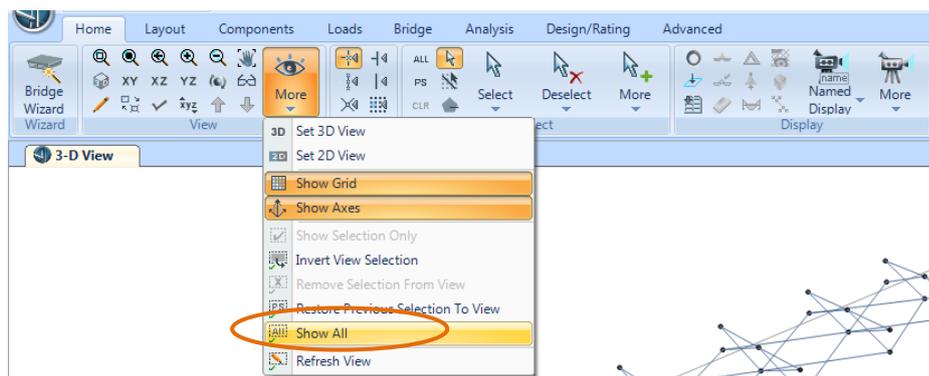


Figura 324.Configurar ver todo el puente

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al elegir la opción “**Show All**” se obtiene la Vista en 3D del puente

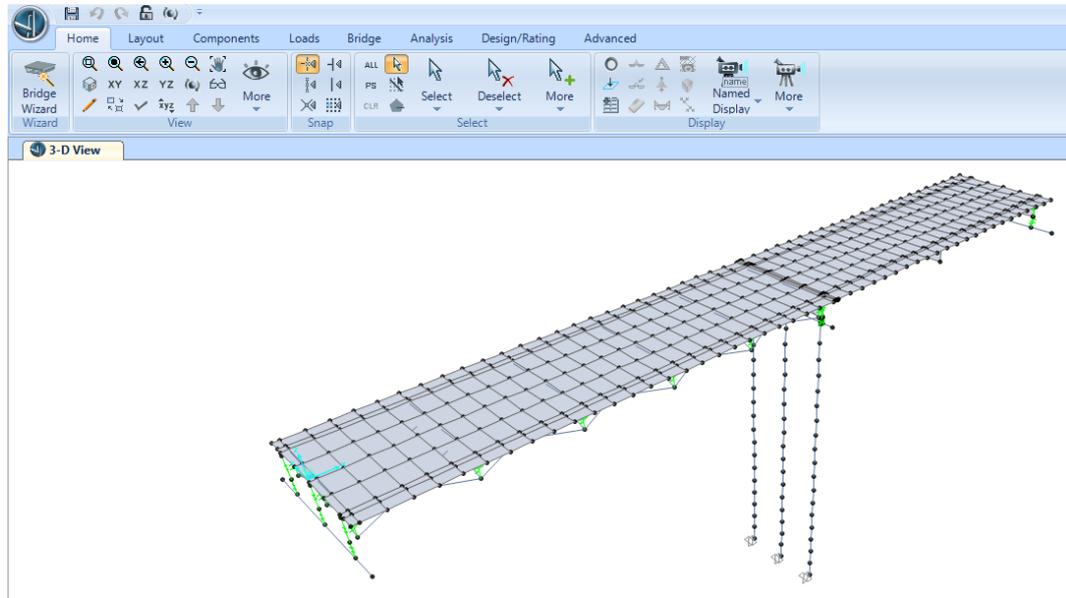


Figura 325.Vista en 3D

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.19. Enviar analizar el puente

- Inmediatamente después de crear todas las condiciones del puente se envió a analizarlo, para ello ir al menú “**Analisis**” y seleccionar el icono “**Run Analisys**”, se abrirá una ventana en la cual se debe elegir la opción “**Run Now**” que significa correr ahora

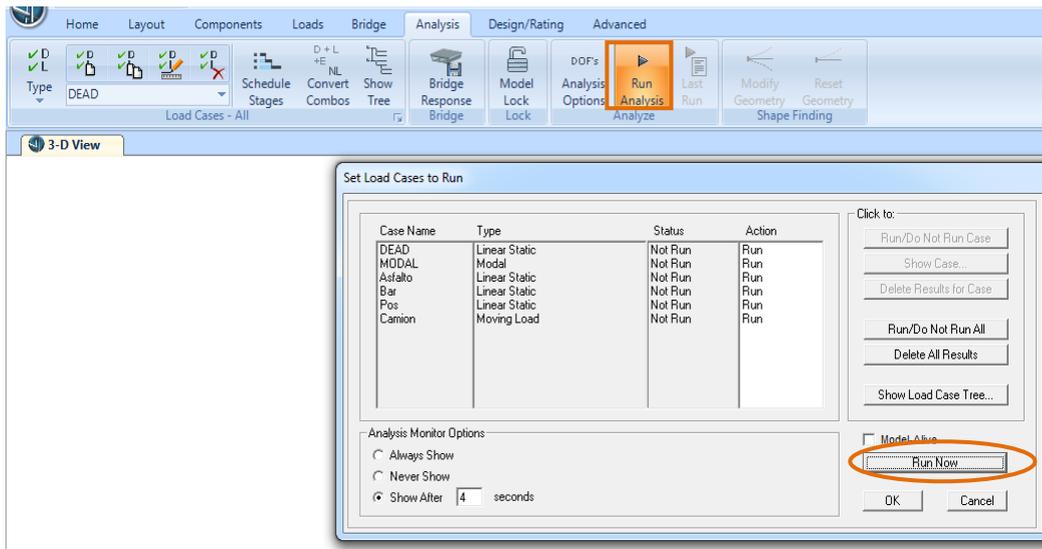


Figura 326. Correr el análisis

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Después de unos minutos aparecerá esta ventana la cual indica que ha completado el análisis

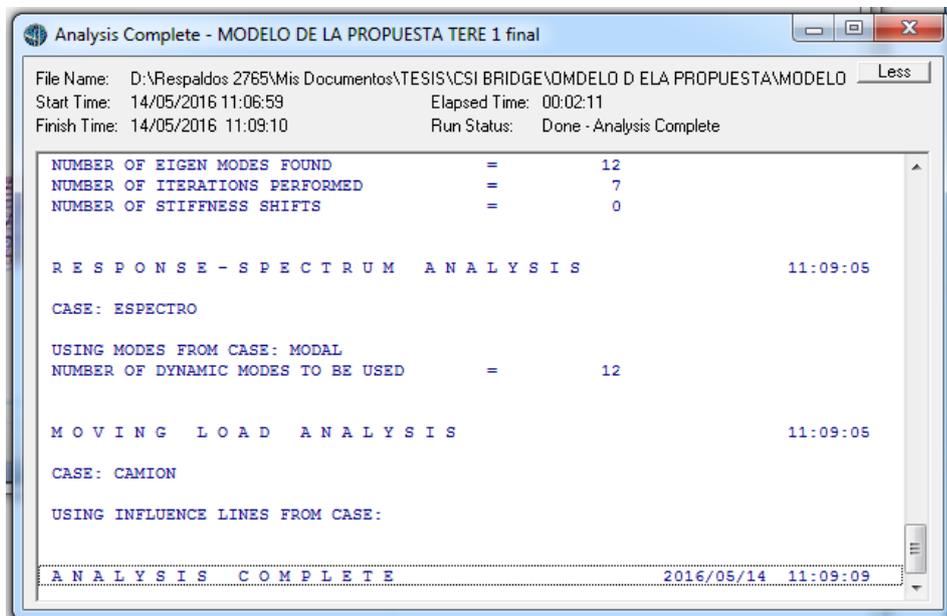


Figura 327. Proceso de análisis

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.20. Análisis de resultados

- Aparecerá la deformada por carga muerta o “Dead”

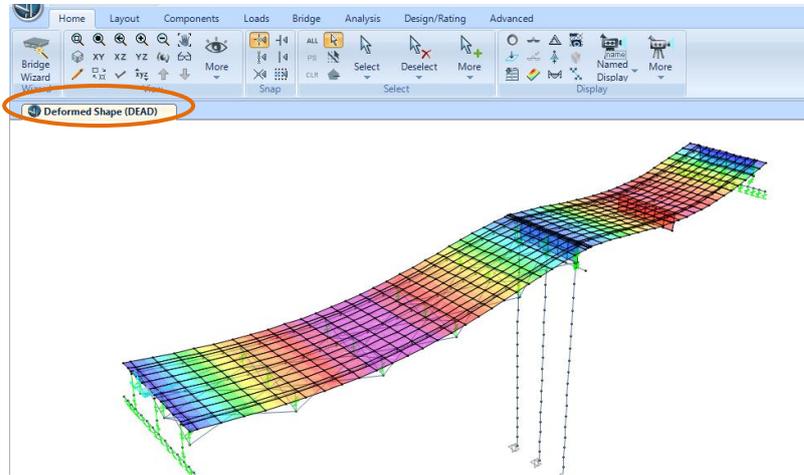


Figura 328. Deformada por carga muerta

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Se procede a realizar el chequeo de la deflexión con la envolvente de las cargas de servicio 1 “Service I” de acuerdo a lo especificado en la AASHTO LRFD

Tabla 25. Fórmulas para el cálculo de las deformaciones

FORMULAS PARA CALCULAR LA DEFORMACION	
CARGA	FORMULAS
Vehicular	$L/800$
Vehicular y/o peatonal	$L/1000$
vehicular sobre voladizos	$L/300$
vehicular y/o peatonal sobre voladizos	$L/375$

Fuente: AASHTO LRFD, sección 2.5.2.2

- El puente analizado es solo Vehicular por ende se toma la deflexión para la carga vehicular.

Con la formula $L/800$ donde L =Longitud del puente, en este caso se analiza la deflexión para el tramo de acero y para el de hormigón.

9.1.2.20.1. Tramo de acero

$L=25m$

$$\frac{25m}{800} = 0.031m * 100cm = 3.1cm$$

Nota: La deflexión máxima permitida para el tramo de Acero es de 3.1 cm

- Para visualizar en el software ir a la opción “**Show deformed Shape**”, en el enunciado “**Case /combo Name**” elegir la envolvente de la carga de servicio luego ir a elegir un contorno de área respecto a “**Uz**” y dar en “**Ok**”.

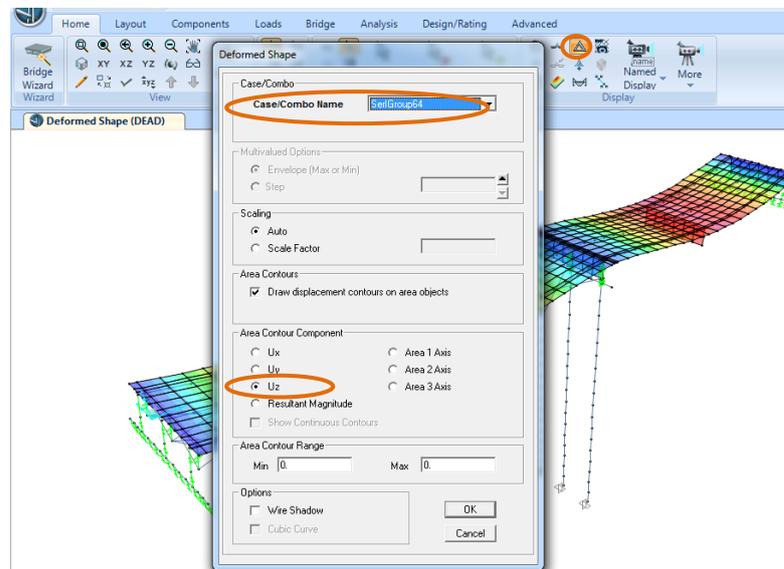


Figura 329.Configuración de la deformada

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Rápidamente aparecerá la siguiente ventana en la cual cambiaremos las unidades a kg/cm para poder observar la deformación en centímetros.

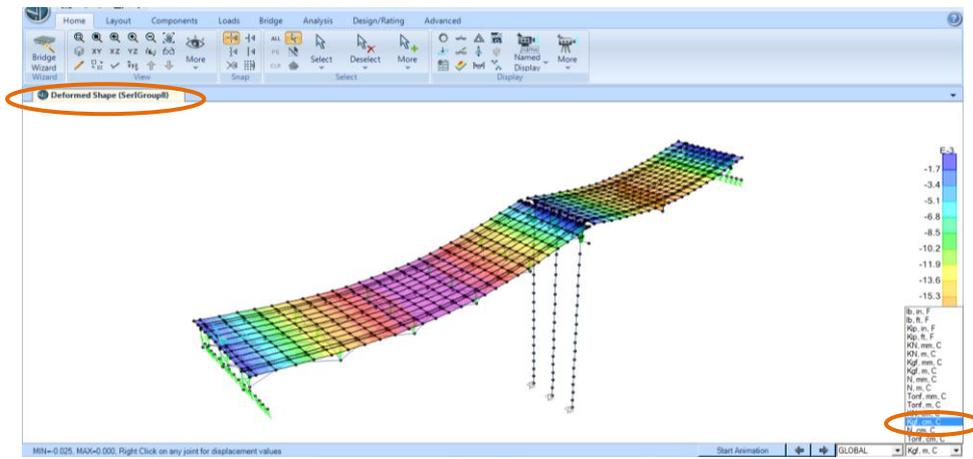


Figura 330.Deflexión con la carga de servicio

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego acercamos el cursor hacia el centro donde se produce la mayor deflexión y al hacer clic derecho aparece el cuadro de dialogo en donde indica que tiene una deflexión de 2.52 cm con respecto al eje vertical “U3”

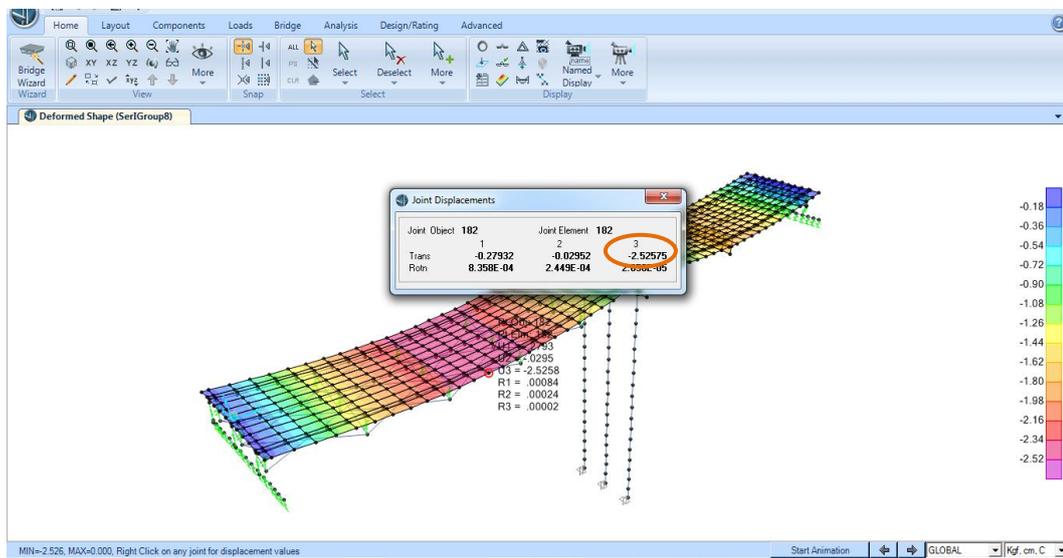


Figura 331.Deflexión tramo metálico

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Nota: La deformación obtenida es de 2.52 cm mientras que la máxima permisible es de 3.1 cm lo cual indica que el diseño del tramo de acero se encuentra dentro de los parámetros permitidos por la AASHTO

9.1.2.20.2. Tramo de concreto

L=21m

$$\frac{21m}{800} = 0.026m * 100cm = 2.6cm$$

Nota: La deflexión máxima permitida para el tramo de Concreto es de 2.6 cm

- En la misma deformada del tramo de acero acercamos el cursor hacia el centro del tramo de concreto donde se produce la mayor deflexión y al hacer clic derecho aparece el cuadro de dialogo en donde indica que tiene una deflexión de 1.75 cm con respecto al eje vertical “U3”

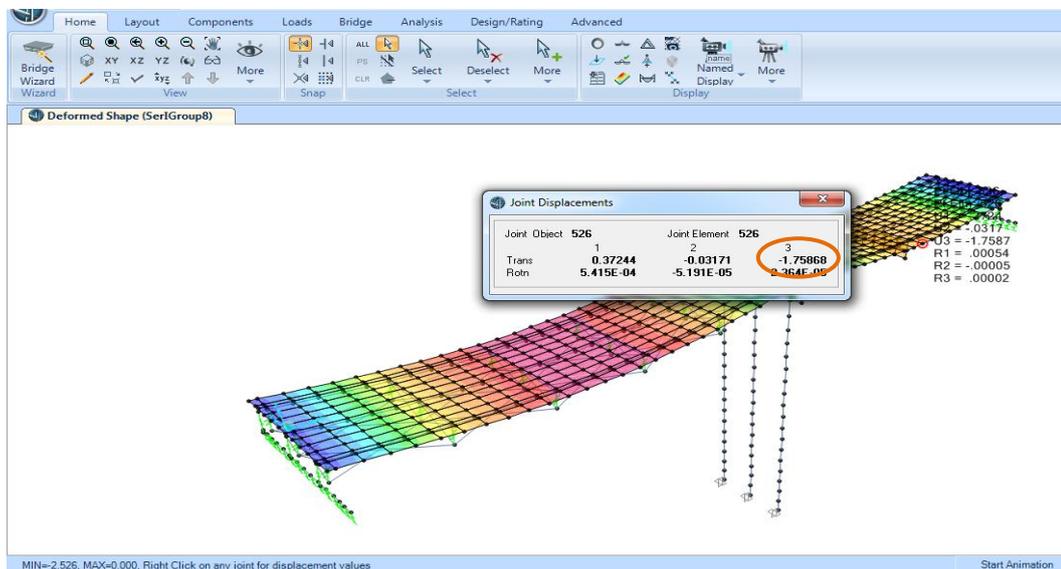


Figura 332.Deflexión del tablero de concreto

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Nota: La deformación obtenida es de 1.75 cm mientras que la máxima permisible es de 2.6 cm lo cual indica que el diseño del tramo de concreto se encuentra dentro de los parámetros permitidos por la AASHTO LRFD

9.1.2.20.3. Desplazamiento con respecto a la carga de resistencia

- Después se determinan los desplazamientos producidos en los estribos y en la pila por efectos de la carga de resistencia, para ello ir a la opción “**Show deformed Shape**” se abrirá la ventana de dialogo y en el enunciado “**Case /combo Name**” elegir la envolvente de la carga “**Str1Group1**” luego ir a elegir un contorno de área respecto a “**Uz**” y dar en “**Ok**”.

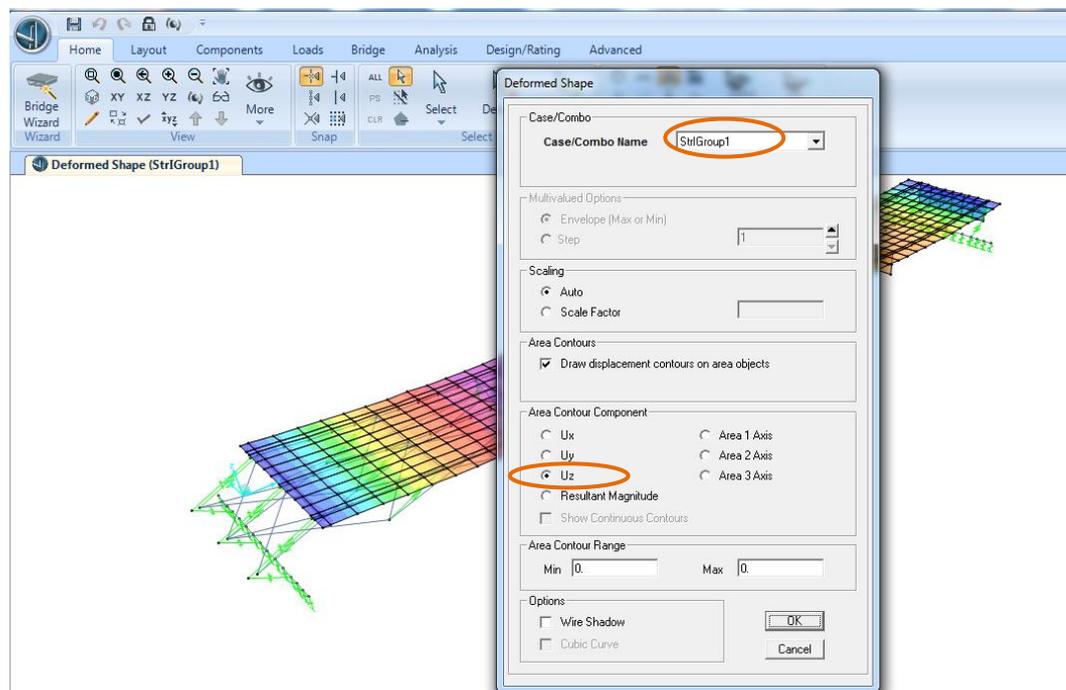


Figura 333. Configuración del desplazamiento con la combinación de resistencia

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Posteriormente se presenta la deformada con la carga de resistencia para la cual, acercamos el cursor hacia el extremo del tablero y al hacer clic derecho aparecerá un cuadro de dialogo en donde se elige el valor de “U1” , obteniendo como desplazamiento 0.30 cm

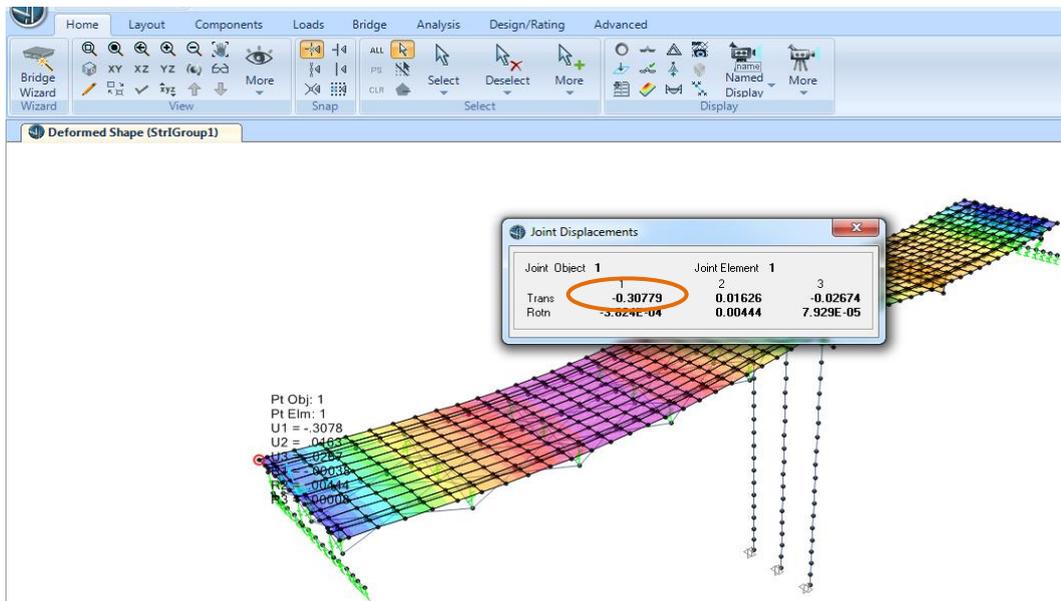


Figura 334. Desplazamiento en el estribo con la combinación de resistencia

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.20.4. Diagramas de Momentos y cortantes de las vigas con el combo de “Resistencia 1”

- Para obtener los diagramas de momento de las vigas ir a la opción “**Show Bridge Superstructure Forces/Stresses**”, se desplegará la siguiente ventana en la cual se muestra el diagrama de momento de todo el puente respecto a la carga muerta.

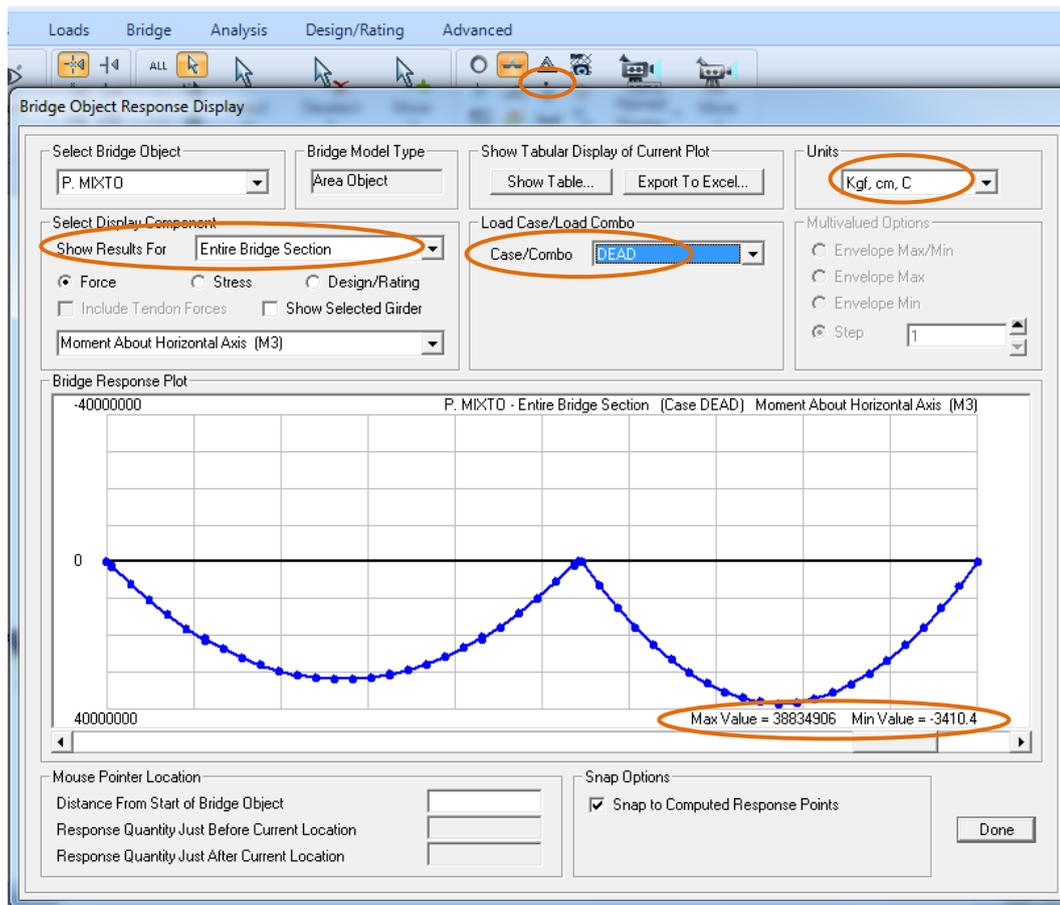


Figura 335.Diagrama de momento respecto a la carga muerta

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Diagrama de momentos de la Viga exterior izquierda

- Para configurar la ventana ir a la opción “**Show Results For**”, elegir “**Left Exterior Girder**”, verificar que se encuentre en el combo de carga “**StrIGroup 1**” y las unidades cambiara **T-m**, para obtener valores de momento solo se debe mover el cursor por el contorno del diagrama y en la parte inferior muestra tal valor con su respectiva distancia mientras que en la parte inferior derecha se indica el valor máximo del momento positivo igual a **262.32 T-m** y el valor del momento negativo es de **-3.00T-m**

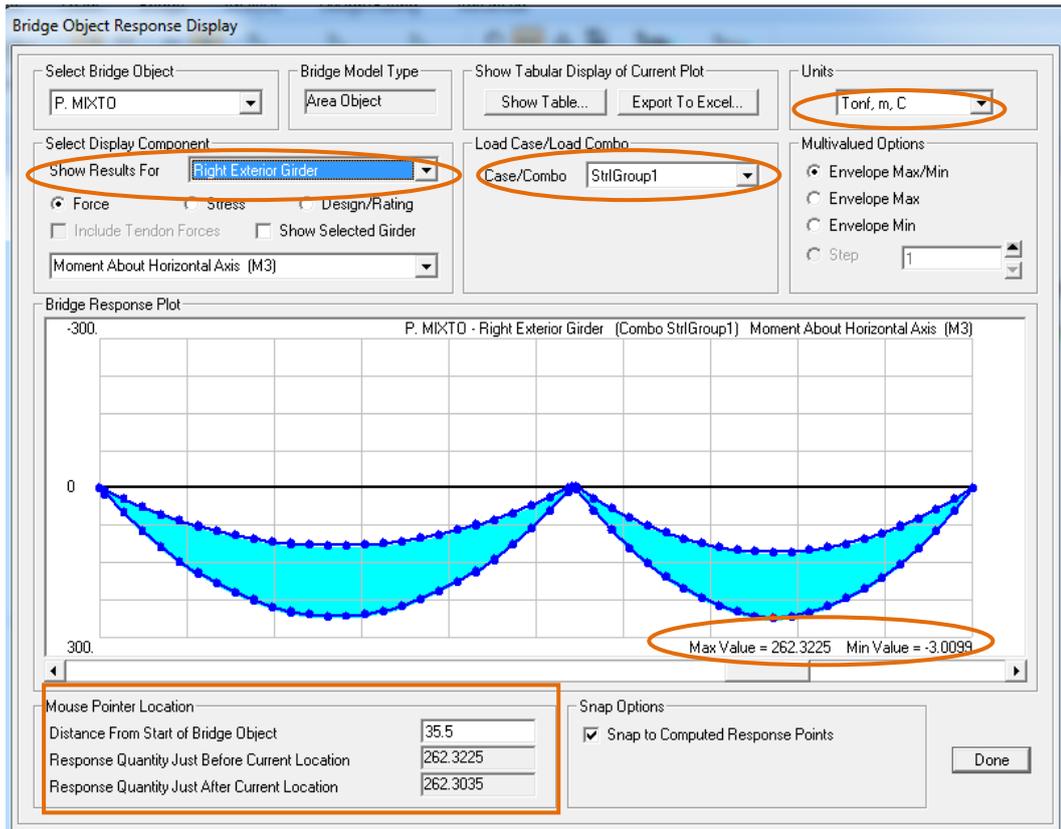


Figura 336.Diagrama de momento con el combo de resistencia de la viga exterior

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Diagrama de momentos de la Viga interior

- Se realiza la misma configuración para observar los resultados de la viga interior, el único cambio es en la opción “**Show Results For**”, elegir “**Interior Girder I**”, así se obtiene un valor máximo del momento positivo igual a **271.08 T-m** y el valor del momento negativo es de **-2.1-m**

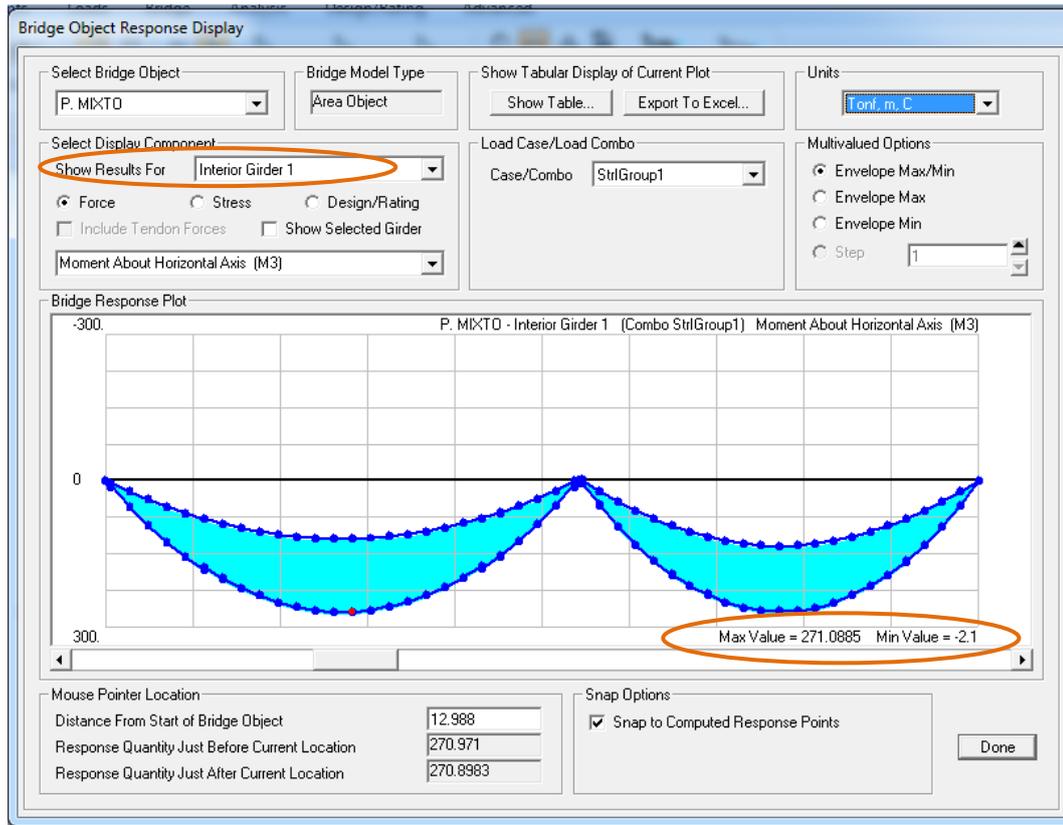


Figura 337.Diagrama de momento con el combo de resistencia de la viga interior

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Diagrama de cortante viga exterior izquierda

- En la misma ventana dirigirse al enunciado “**Moment About horizontal Axis(M3)**” cambiar a “**Shear Vertical (V2)**” y en la opción “**Show Results For**”, elegir “**Left Exterior Girder**”, así se obtiene un valor máximo de cortante positivo igual a **48.73 T-m** y el valor del cortante negativo es de **-48.84-m**

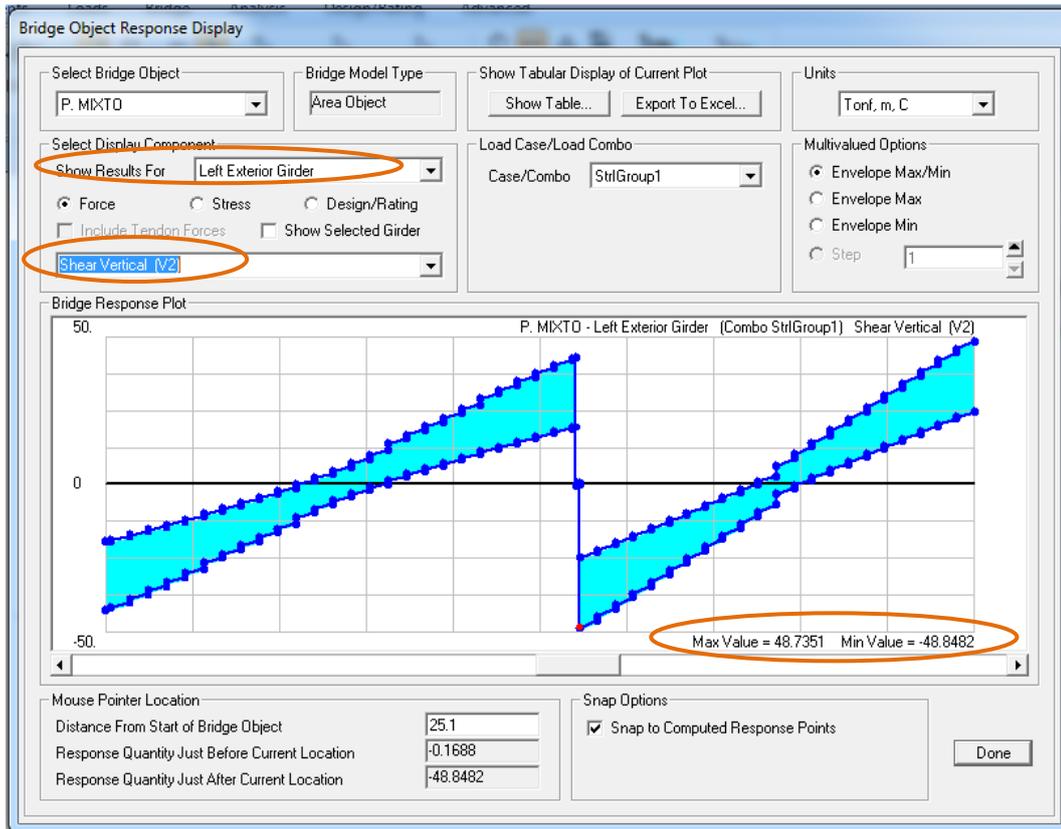


Figura 338.Diagrama de cortante con el combo de resistencia de la viga exterior

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Diagrama de cortante de la viga interior

- Para observar el diagrama de corte cambiar en la opción “**Show Results For**” y elegir “**Interior Girder**”, así se obtiene un valor máximo de cortante positivo igual a **53.54 T-m** y el valor del cortante negativo es de **-53.49T-m**

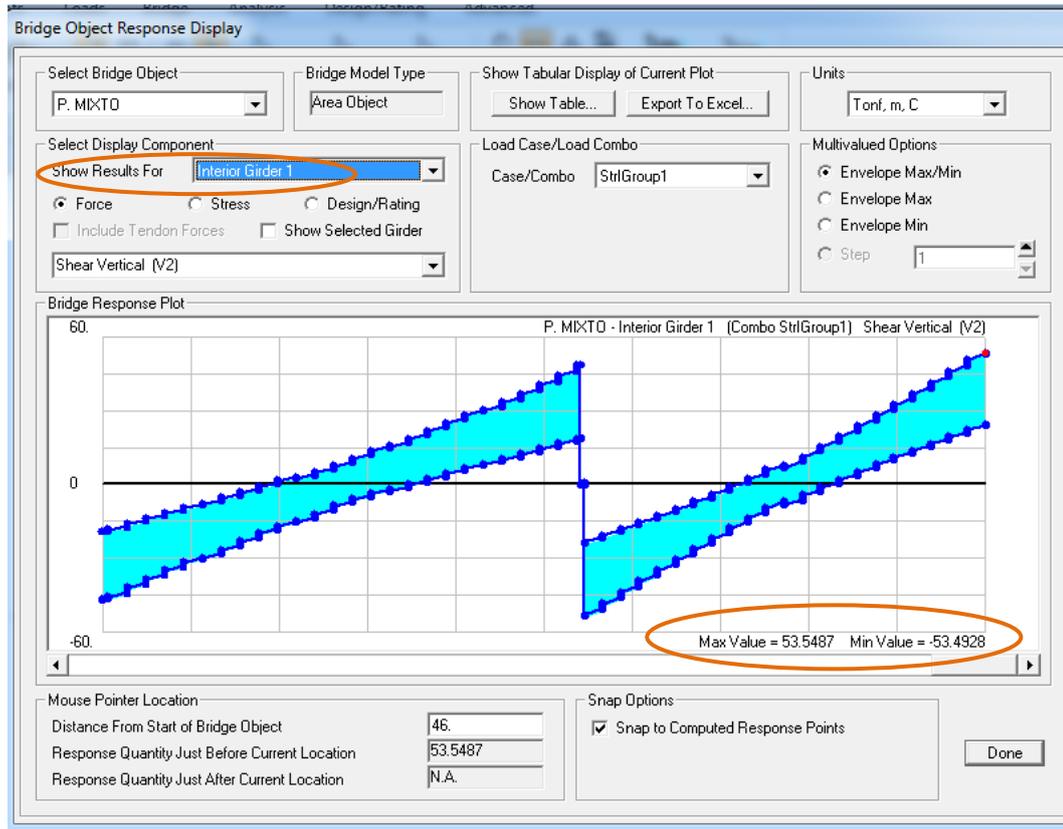


Figura 339. Diagrama de cortante con el combo de resistencia de la viga interior

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.21. Diseño y Evaluación de las vigas.

- Ir al menú “**Design/Rating**”, crear la solicitud de diseño seleccionar el icono “**Design Request**” y se abrirá una ventana de dialogo en la cual elegir la opción “**Add New Request**”.

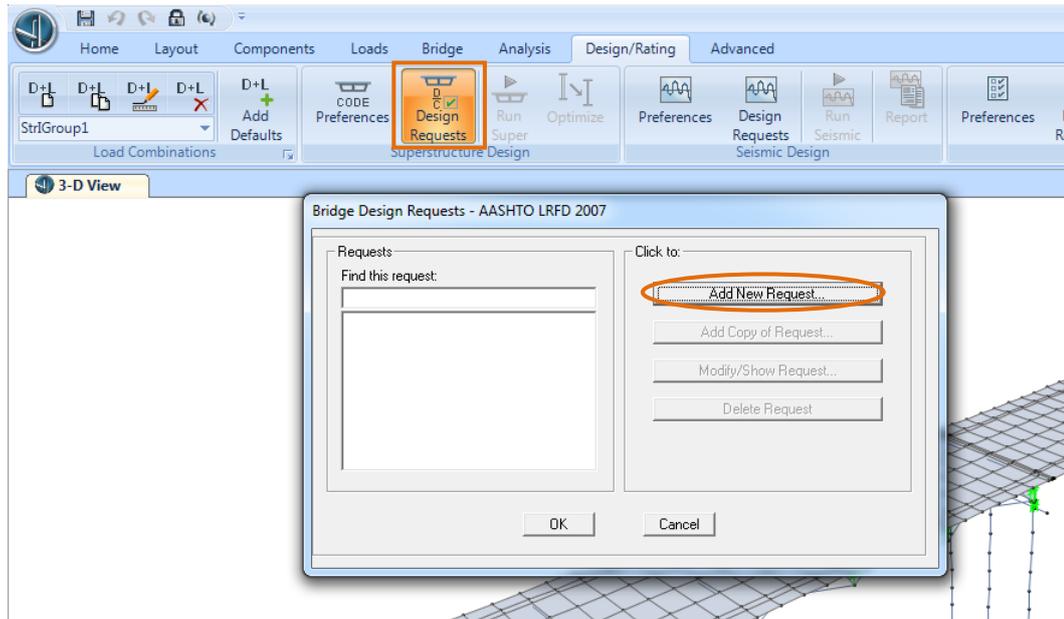


Figura 340. Añadir las solicitudes de diseño

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- En la ventana que se muestra a continuación se plantea la primera solicitud de diseño que sería el análisis a flexión de las vigas de concreto, empleando la combinación de resistencia 1, donde debe constar de los siguientes parámetros: en la opción “**Check Type**” seleccionar el enunciado “**Precast Comp Flexure**”, en el combo elegir la envolvente de la combinación “**Str1Group1**” y por último escoger el método para la distribución de la carga viva en el enunciado “**Method**” optar por el ítem “**Use Directly Girder Forces From Analisis**” donde se indica que use directamente las fuerzas de las vigas desde el análisis.

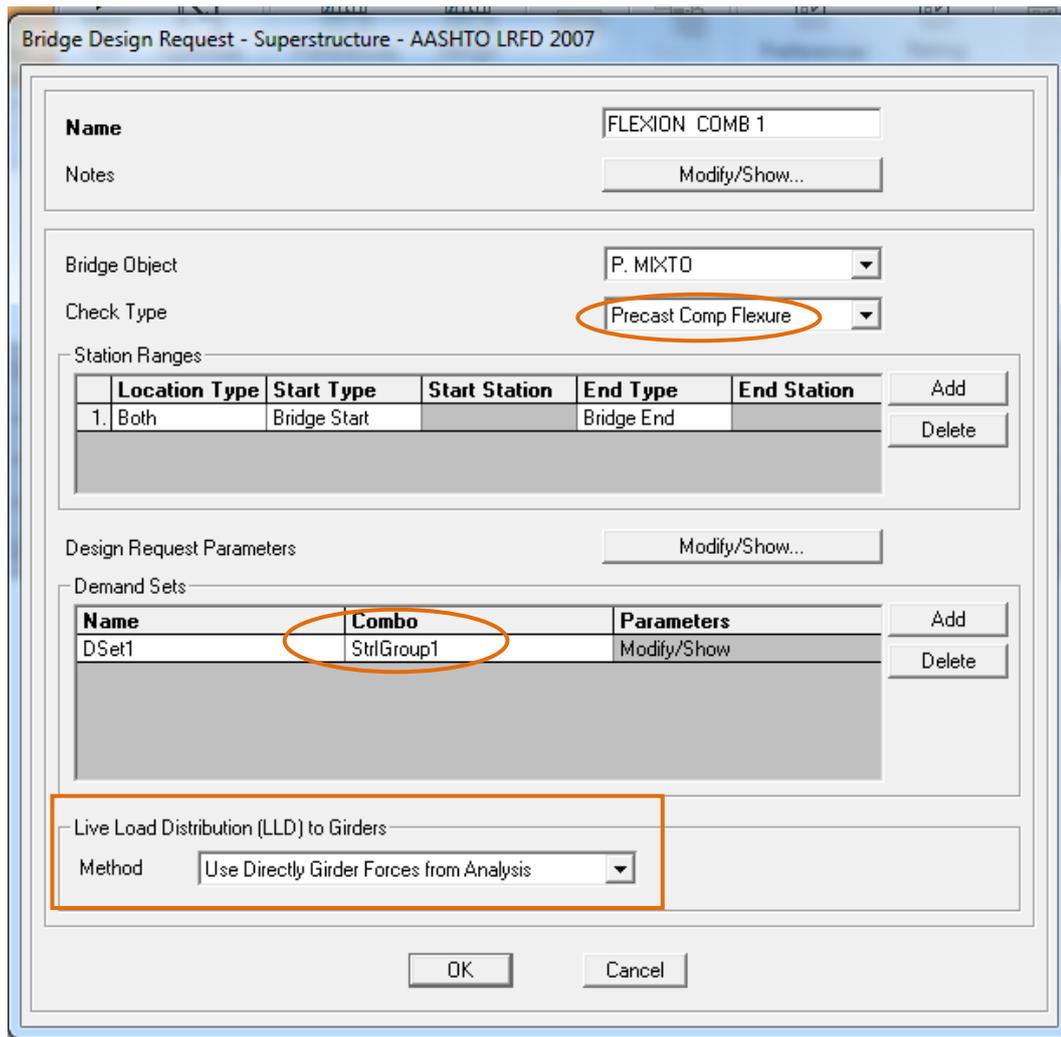


Figura 341. Solicitud de diseño por flexión con el combo 1

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La segunda solicitud de diseño es a resistencia para el tramo de vigas metálicas empleando la combinación envolvente de resistencia 1 “StrlGroup1” los demás parámetros se los configura de la siguiente manera: en la opción “Check Type” seleccionar el enunciado “Steel Comp Strength”, en el combo elegir la envolvente de la combinación “StrlGroup1” y por último escoger el método para la distribución de la carga viva en el enunciado “Method” optar por el ítem “Use Directly

Girder Forces From Analysis” donde se indica que use directamente las fuerzas de las vigas desde el análisis.

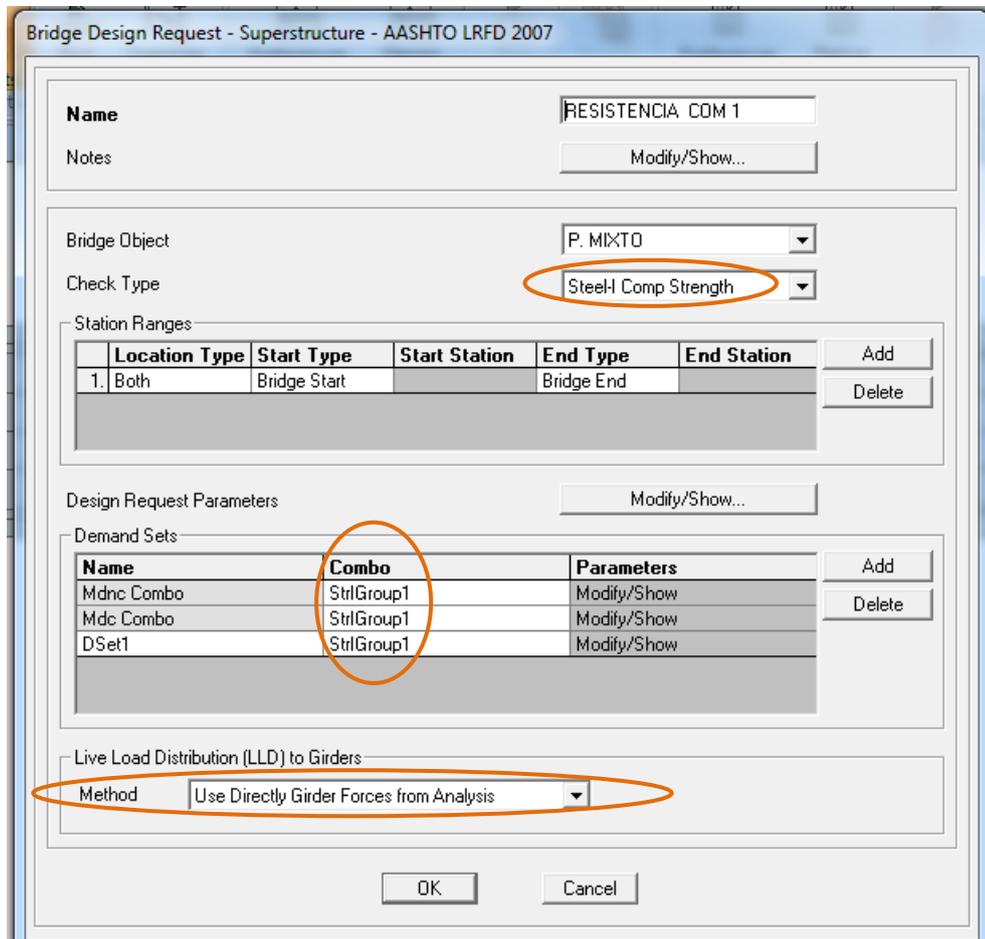


Figura 342.Solicitud de diseño por resistencia combo 1

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- La tercera solicitud de diseño es a corte para el tramo de vigas de concreto empleando la combinación envolvente de resistencia 1 “**StrlGroup1**” los demás parámetros se los configura de la siguiente manera: en la opción “**Check Type**” seleccionar el enunciado “**Precast Comp Shear**”, en el combo elegir la envolvente de la combinación “**StrlGroup1**” y por último escoger el método para la distribución de la carga viva en el enunciado

“Method” optar por el ítem “Use Directly Girder Forces From Analysis” donde se indica que use directamente las fuerzas de las vigas desde el análisis

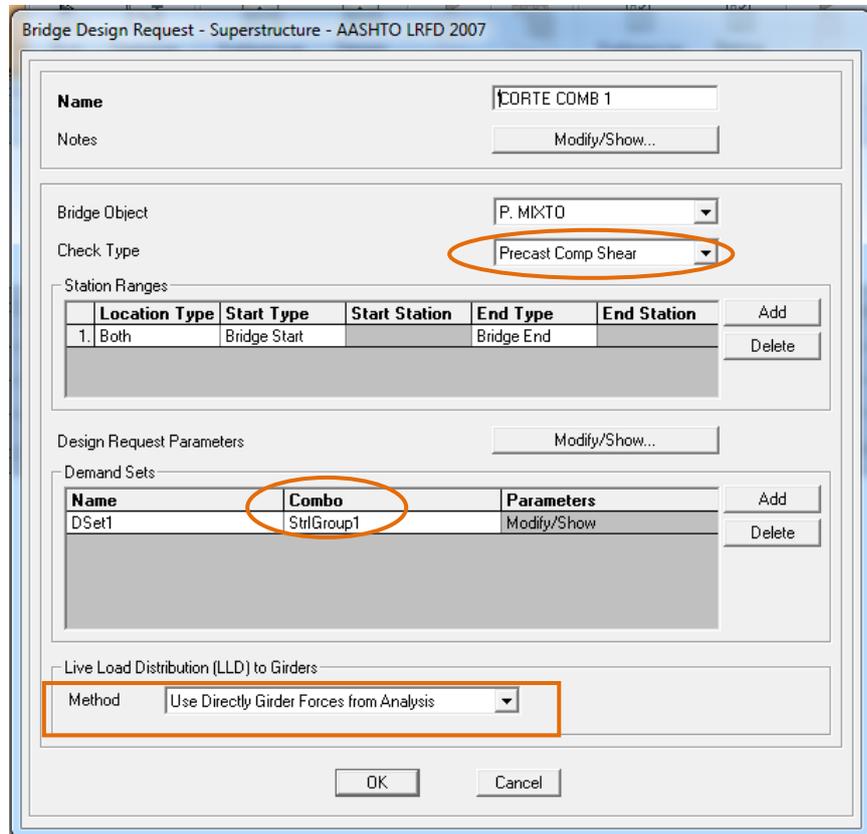


Figura 343.Solicitud de diseño a corte

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Una vez definidas todas las solicitudes de diseño se obtiene la siguiente ventana donde se puede apreciar todas las solicitudes creadas

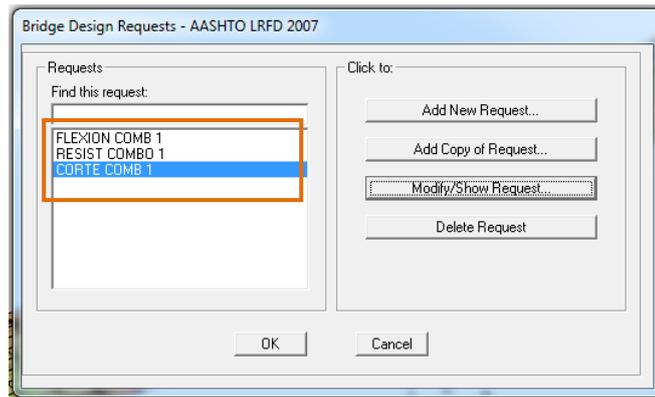


Figura 344. Solicitudes de diseño creadas

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- A continuación dirigirse al icono “**Run Super**” y al hacer clic sobre él se desplegara la siguiente ventana en al cual se envía a diseñar las solicitudes creadas para ello dar clic en “**Design Now**”

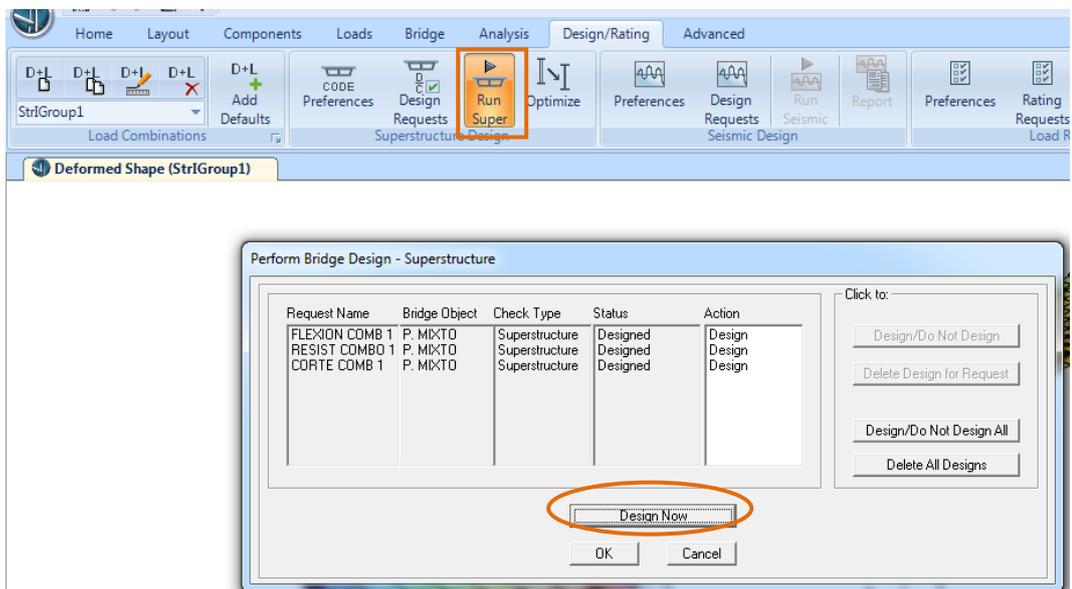


Figura 345. Diseño de la superestructura

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.21.1. Resultados de la evaluación Demanda/ Capacidad

- Luego de haber corrido el diseño se abre automáticamente la siguiente ventana de resultados.
- Se analiza la primera solicitud o “Requests” llamada “Flexión Combo1” para la viga izquierda “Left Exterior Girder”, en el tramo de concreto

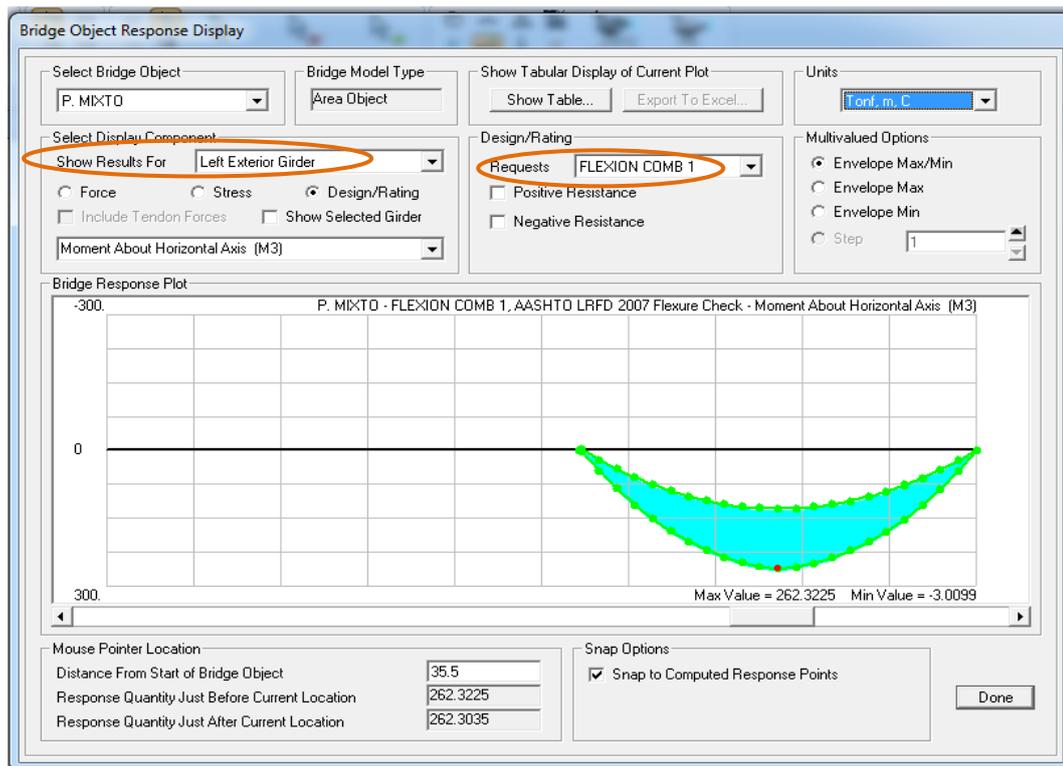


Figura 346. Ventana que aparece después de correr en programa

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Al hacer clic en “Positive Resistance” y “Negative Resistance” indican la capacidad de la viga para soportar el momento con las líneas de color tomate que se muestra en la siguiente figura, las cuales indican que el acero de refuerzo positivo y negativo cumple con el armado colocado.

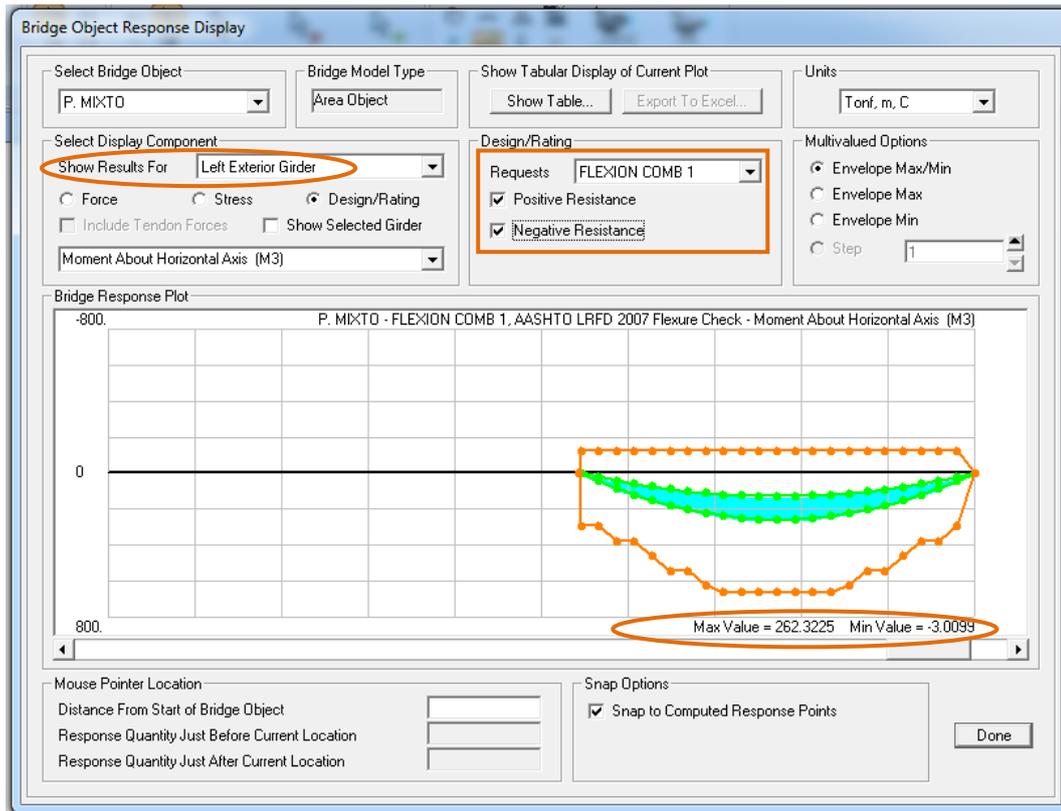


Figura 347. Evaluación de la viga exterior de concreto con el combo de resistencia

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se cambia la solicitud de diseño en la opción “**Requests**” elegir “**Resistencia Combo1**” para la viga izquierda “**Left Exterior Girder**”, ahora se analiza las vigas del tramo de acero, en este caso hacer clic en “**D/C Limit**” para visualizar la demanda capacidad de la viga en donde indica que cubre el momento requerido.

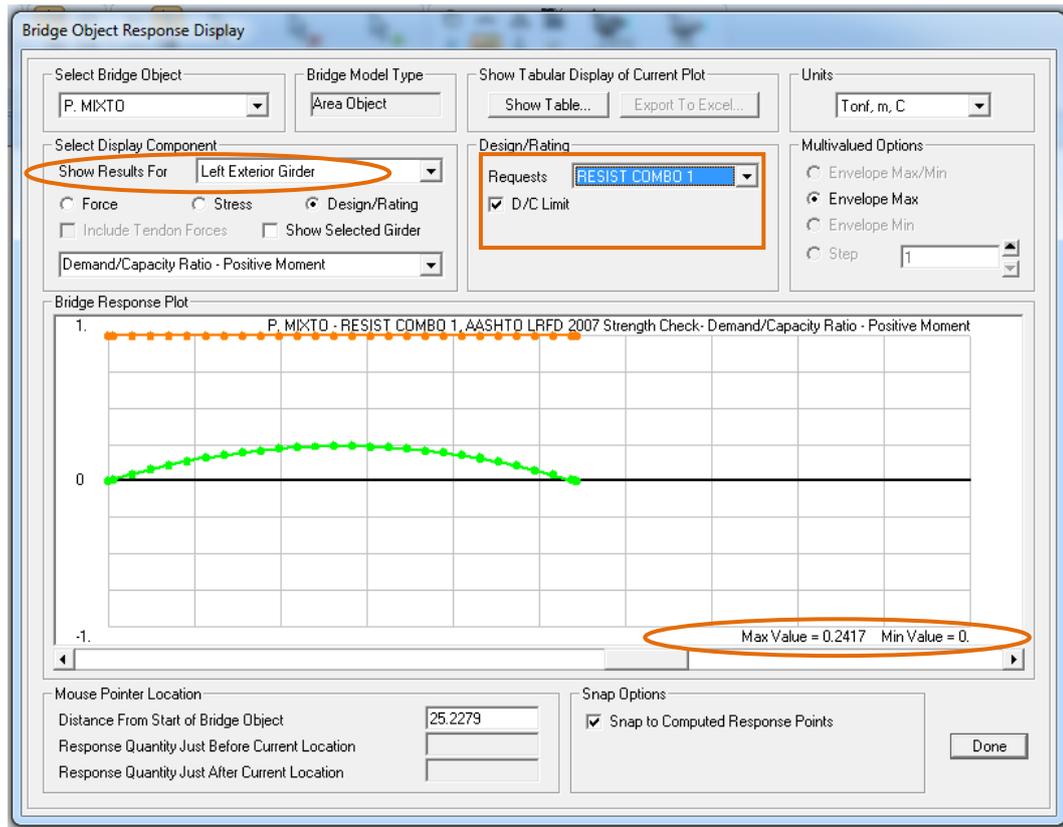


Figura 348.Evaluación de la viga exterior metálica combo de resistencia

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Viga interior

- Se analiza la solicitud o “Requests” llamada “Flexión Combo1” para la viga interior “Interior Girder 1”, en el tramo de concreto
- Al hacer clic en “Positive Resistance” y “Negative Resistance” indican la capacidad de la viga para soportar el momento con las líneas de color tomate que se muestra en la siguiente figura, las cuales indican que el acero de refuerzo positivo y negativo cumple con el armado colocado.

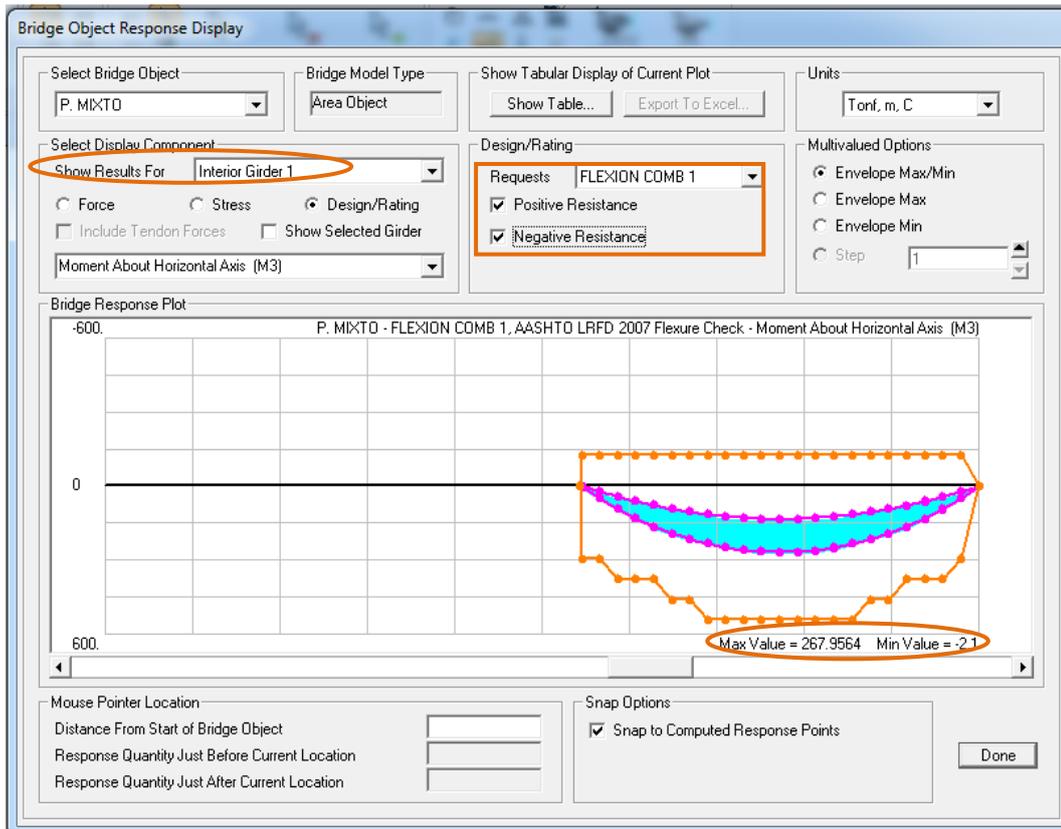


Figura 349.Evaluación de la viga interior de concreto con el combo de resistencia

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

- Luego se cambia la solicitud de diseño en la opción “**Requests**” elegir “**Resistencia Combo1**” para la viga interior “**Interior Girder 1**”, ahora se analiza las vigas del tramo de acero, en este caso hacer clic en “**D/C Limit**” para visualizar la demanda capacidad de la viga en donde indica que cubre el momento requerido.

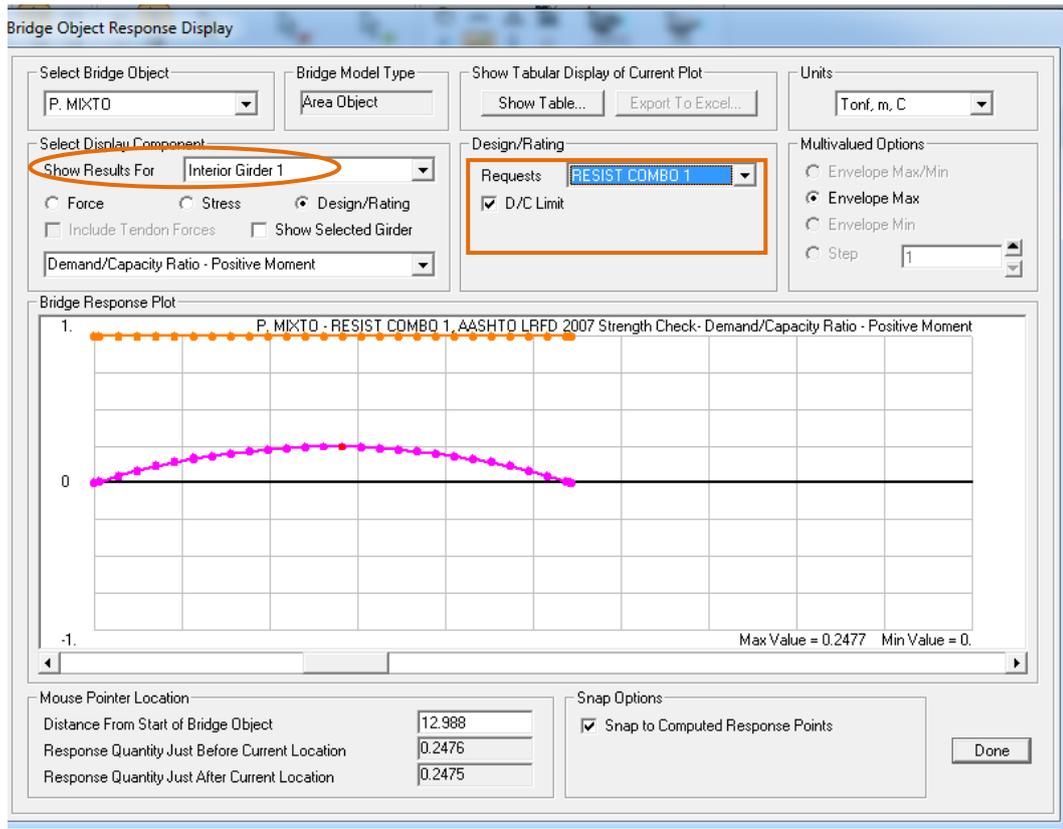


Figura 350.Evaluación de la viga interior metálica combo de resistencia

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

9.1.2.21.2. Evaluación a Corte de las vigas de concreto con la combinación resistencia 1

Viga exterior

- Primero se evalúa la demanda capacidad a corte para la viga exterior izquierda “**Left Exterior Girder**”se debe configurar los siguientes parámetros: ir a la opción “**Request**” y elegir “**Corte Combo 1**”, posteriormente seleccionar “**D/C Limit**”, obteniendo como resultados que la capacidad de la viga se encuentra sobre la demanda.

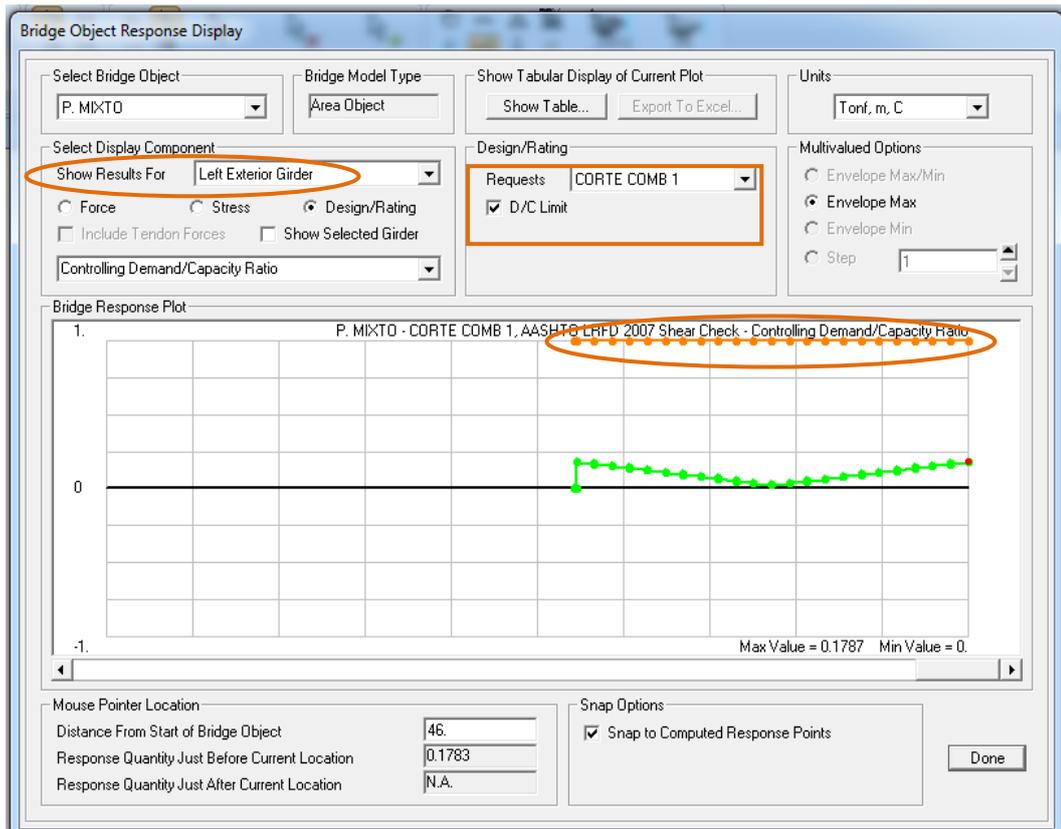


Figura 351.Evaluación de la viga exterior izquierda a corte

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN

Viga interior

- A continuación se evalúa la demanda capacidad a corte para la viga interior “Interior Girder 1” con la solicitud “Request” de “Corte Combo 1”, posteriormente seleccionar “D/C Limit”, obteniendo como resultados que la capacidad de la viga se encuentra sobre la demanda.

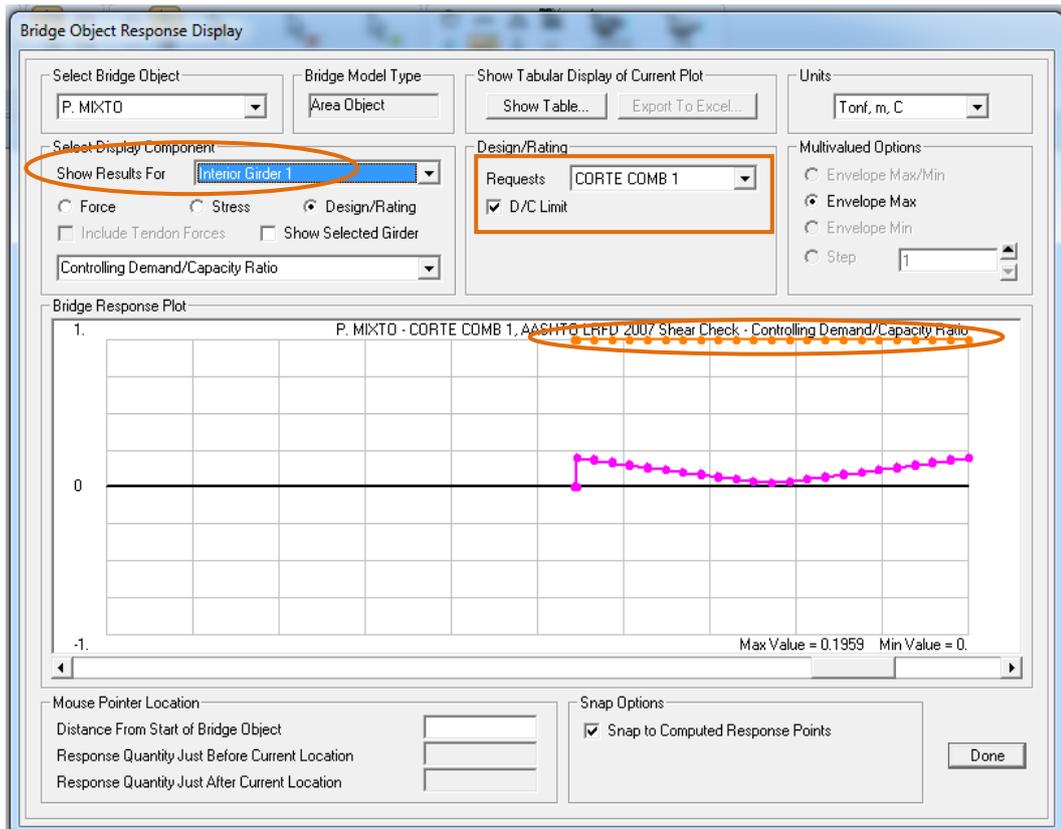


Figura 352.Evaluación de la viga interior a corte

Fuente: CSIBRIDGE V15.2 VERSION EVALUACIÓN