

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CULIACÁN  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA  
CONSTRUCCIÓN**



**“PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL  
PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA,  
UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**PRESENTA:**

**ING. FRANCISCO JAVIER LÓPEZ VARELAS**

**DIRECTOR:**

**DR. JOSÉ RAMÓN GAXIOLA CAMACHO**

**CODIRECTOR:**

**DR. JOSÉ FRANCISCO LIZÁRRAGA PEREDA**

**CULIACÁN, SINALOA, MÉXICO**

**NOVIEMBRE DE 2020**



## UAS- Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional

### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de su autor y su director de tesis, no hubiese sido posible concluir sin la cooperación desinteresada de todos y cada uno de las personas que a continuación mencionare y muchas de la cuales han sido un soporte muy fuerte en mi vida.

Primero y antes que nada, gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, y por haber puesto en mí camino a aquellas personas que han sido un soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradezco hoy y siempre a mi familia que se preocupa por mi bienestar, y está claro que si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posible. A mi madre Norma, a mi padre Francisco, a mi hermana Daniela, por darme apoyo y alegría que me brindan me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

De igual manera mi más sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Culiacán de la Universidad Autónoma de Sinaloa, a mi director de tesis, el Dr. José Ramón Gaxiola Camacho a quien debo el realizar la maestría en una Universidad tan prestigiosa como lo es la UAS, al Dr. Guadalupe Esteban Vázquez Becerra y al Dr. Jesús Martín Leal quienes fungirán como lectores críticos de la tesis.

Así también al Instituto Mexicano del Transporte por permitirme realizar mi estancia de intervención en sus instalaciones, al Dr. Francisco Javier Carrión Viramontes, y al Dr. Juan Antonio Quintana Rodríguez.

Igualmente agradezco a CONACYT, por otorgarme la beca con la cual pude seguir estudiando la maestría.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis de maestría, con sus altos y bajos y que no necesito mencionar porque tanto ellas como yo sabemos que desde lo más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	11
PALABRAS CLAVE .....	11
ABSTRACT .....	12
KEYWORDS .....	12
1. CAPÍTULO 1 - ANTECEDENTES .....	13
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA SELECCIONADO .....	13
1.2 FUNDAMENTO TEÓRICO .....	14
1.2.1 HIPÓTESIS .....	14
1.2.2 MARCO HISTÓRICO Y CONTEXTUAL .....	14
1.2.3 ESTADO DEL ARTE .....	17
1.2.4 MARCO TEÓRICO .....	20
1.2.5 MARCO LEGAL .....	20
2. CAPITULO 2 – PROYECTO DE INTERVENCIÓN .....	22
2.1 OBJETIVOS .....	22
2.1.1 OBJETIVO GENERAL .....	22
2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
2.2 JUSTIFICACIÓN .....	22
2.3 METODOLOGÍA .....	22
2.3.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	22
2.3.2 ESTUDIO E INGENIERÍA BÁSICA .....	23
2.3.2.1 ESTUDIOS BÁSICOS .....	23
2.3.2.2 INGENIERÍA BÁSICA .....	23
2.3.3 RECURSOS TÉCNICOS .....	23
2.3.4 PROCEDIMIENTOS .....	23
2.4. PLAN DE ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	24



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

2.4.1 MÉTODOS Y MODELOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS SEGÚN TIPO DE VARIABLES .....	24
2.4.2 PROGRAMAS A UTILIZAR PARA ANÁLISIS DE DATOS .....	25
3. CAPÍTULO 3 – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL PUENTE JUÁREZ ...	26
3.1 INTRODUCCIÓN.....	26
3.2 REPORTE FOTOGRÁFICO DE CONDICIONES ACTUALES DEL PUENTE .....	26
3.3 INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA .....	32
3.4 PRECISIÓN DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA .....	33
3.4.1 MEDICIONES DE DISTANCIAS CON REFLECTORES .....	33
3.5 PROCEDIMIENTO .....	34
3.6 RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	36
4 CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS DE CARGAS AASHTO .....	39
4.1 INTRODUCCIÓN.....	39
4.2 CARGAS Y DENOMINACIÓN DE CARGAS .....	39
4.2.1 DEFINICIÓN DE CARGAS TRANSITORIAS .....	39
4.2.2 DEFINICIÓN DE CARGAS PERMANENTES.....	39
4.3 FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES DE CARGA.....	40
4.3.1 ESTADOS LÍMITE.....	41
4.4 CARGAS PERMANENTES (CARGAS MUERTAS).....	41
4.5 CARGAS TRANSITORIAS (CARGAS VIVAS).....	42
4.5.1 SOBRECARGAS VEHICULAR .....	42
4.5.1.1 FACTOR DE PRESENCIA MÚLTIPLE .....	42
4.5.2 SOBRECARGA VEHICULAR DE DISEÑO .....	43
4.5.2.1 REQUISITOS DE APLICACIÓN .....	43
4.5.2.2 CAMIÓN DE DISEÑO .....	43
4.5.2.3 TÁNDEM DE DISEÑO .....	44

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

4.5.2.4 CARGA DEL CARRIL DE DISEÑO.....	44
4.5.3 APLICACIÓN DE SOBRECARGA VEHICULAR DE DISEÑO.....	45
4.5.4 CARGA DE FATIGA .....	51
4.6 INCREMENTO POR CARGA DINÁMICA (IM) .....	51
4.7 FUERZA DE FRENADO .....	52
4.8 DIAGRAMAS DE APLICACIÓN DE LAS CARGAS .....	53
5 CAPÍTULO 5.- MODELO ANALITICO DEL PUENTE JUAREZ .....	55
5.1 INTRODUCCIÓN.....	55
5.2 UNIDADES.....	55
5.3 GEOMETRÍA DE MODELO .....	55
5.3 DEFINICIÓN DE MATERIALES.....	58
5.4 MODELACIÓN DE CARGAS.....	61
5.5 TIPO DE ANÁLISIS.....	63
6 CAPÍTULO 6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
6.1 DESPLAZAMIENTOS .....	64
6.1.1 DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON UN CAMIÓN DE DISEÑO Y UN CARRIL CARGADO.....	64
6.1.2 DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON UN CAMIÓN DE DISEÑO Y DOS CARRILES CARGADOS.....	67
6.1.3 DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON UN TANDEM DE DISEÑO Y UN CARRIL CARGADO.....	71
6.1.4 DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON UN TANDEM DE DISEÑO Y DOS CARRILES CARGADOS.....	75
6.2 COMPARACIÓN DE CASOS .....	78
6.3 ESFUERZOS EN LOSA CENTRAL .....	78

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

7	CAPÍTULO 7.- PROPUESTA DE REHABILITACIÓN .....	81
7.1	ANTECEDENTES .....	81
7.2	ANÁLISIS DEL PROBLEMA .....	81
7.3	PROPUESTA DE REPARACIÓN DEL PUENTE .....	82
7.3.1	ALTERNATIVA (ARMADURAS).....	82
7.3.1.1	VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	82
7.3.1.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS ARMADURAS .....	82
7.3.1.3	TIPOS DE ARMADURAS .....	83
7.3.1.4	ANÁLISIS Y DISEÑO DE ARMADURA.....	84
7.3.1.5	DESPLAZAMIENTO VERTICAL CON ARMADURA COLOCADA .....	109
7.3.1.6	DETALLES DE CONEXIONES DE PROPUESTA DE REHABILITACIÓN .....	113
7.3.2	FRECUENCIAS NATURALES ANTES Y DESPUÉS DE REHABILITACIÓN .....	115
	CAPÍTULO 8.- ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN .....	118
8.1	PLAN DE ACCIÓN .....	118
8.2	ESTRATEGIAS USADAS PARA PRESENTAR Y PRESUADIR A LOS INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO .....	119
	CAPÍTULO 9.- ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO .....	121
9.1	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	121
9.2	RECURSOS .....	121
9.2.1	PERSONAL INVOLUCRADO PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO .....	121
	CAPÍTULO 10.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	124
10.1	CONCLUSIONES.....	124
10.2	RECOMENDACIONES .....	124
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	125

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

ANEXOS .....	127
--------------	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIG. 1.1</b> PUENTE TRAJANO (MEHROTRA & GLISIC, 2015).....	14
<b>FIG. 1.2</b> PUENTE NEUILLY SOBRE EL RÍO SENA (ARMISÉN, 2019).....	15
<b>FIG. 1.3</b> PUENTE HELL GATE (ARMISÉN, 2019).....	16
<b>FIG. 1.4</b> PUENTE BENITO JUÁREZ EN CULIACÁN, SINALOA.....	17
<b>FIG. 2.1</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE PROYECTO DE INTERVENCIÓNFIG .....	24
<b>FIG. 3.1</b> ESTACIÓN TOTAL GEO MAX.....	32
<b>FIG. 3.2</b> PRISMA SIMPLE .....	33
<b>FIG. 3.3</b> JUNTA CONSTRUCTIVA POR TRAMO.....	34
<b>FIG. 3.4</b> NIVELACIÓN DE ESTACIÓN TOTAL .....	35
<b>FIG. 3.5</b> GPS MEGELLAN 320.....	35
<b>FIG. 3.6</b> VISTA EN PLANTA DE PUENTE JUÁREZ.....	37
<b>FIG. 3.7</b> VISTA LATERAL IZQUIERDA CARRIL IZQUIERDO .....	37
<b>FIG. 3.8</b> VISTA LATERAL DERECHA CARRIL DERECHO .....	37
<b>FIG. 3.9</b> VISTA EN CORTE DE COLUMNAS CENTRALES .....	38
<b>FIG. 4.1</b> CARACTERÍSTICAS DEL CAMIÓN DE DISEÑO .....	44
<b>FIG. 4.2</b> CARACTERÍSTICAS DE TÁNDEM DE DISEÑO.....	44
<b>FIG. 4.3</b> CARGA DE CARRIL DE DISEÑO .....	45
<b>FIG. 4.4</b> COMBINACIÓN DE CAMIÓN DE DISEÑO MÁS CARRIL DE DISEÑO .....	45
<b>FIG. 4.5</b> COMBINACIÓN DE TÁNDEM DE DISEÑO MÁS CARRIL DE DISEÑO .....	45
<b>FIG. 4.6</b> CARGAS DE CAMIÓN DE DISEÑO COLOCADAS TRANSVERSALMENTE .....	46
<b>FIG. 4.7</b> CARGA DE TÁNDEM DE DISEÑO COLOCADAS TRANSVERSALMENTE .....	46
<b>FIG. 4.8</b> LOSA DEL PUENTE CON UNA CARGA UNITARIA A UNA DISTANCIA X.....	47
<b>FIG. 4.9</b> LÍNEA DE INFLUENCIA DEL MOMENTO EN EL CENTRO EL CLARO DEL PUENTE .....	48
<b>FIG. 4.10</b> APLICACIÓN DE CARGAS DE CAMIÓN DE DISEÑO EN EL CENTRO DEL CLARO DEL PUENTE .....	48
<b>FIG. 4.11</b> APLICACIÓN DE CARGA DE CAMIÓN DE DISEÑO PARA CÁLCULO DE RESULTANTE .....	49
<b>FIG. 4.12</b> POSICIÓN DE LA RESULTANTE .....	50
<b>FIG. 4.13</b> POSICIÓN DE LAS CARGAS DE CAMIÓN DE DISEÑO .....	50
<b>FIG. 4.14</b> DISTRIBUCIÓN DE CARGAS DE UN CAMIÓN DE DISEÑO PARA UN SOLO CARRIL CARGADO.....	53
<b>FIG. 4.15</b> DISTRIBUCIÓN DE CARGAS DE UN CAMIÓN DE DISEÑO PARA DOS CARRILES CARGADOS .....	53
<b>FIG. 4.16</b> DISTRIBUCIÓN DE CARGAS DE UN TÁNDEM DE DISEÑO PARA UN SOLO CARRIL CARGADO.....	54
<b>FIG. 4.17</b> DISTRIBUCIÓN DE CARGAS DE UN TÁNDEM DE DISEÑO PAR DOS CARRILES CARGADOS .....	54
<b>FIG. 5.1</b> SECCIONES A MODELAR DE PUENTE JUÁREZ .....	55
<b>FIG. 5.2</b> ASIGNACIÓN DE UNIDADES.....	55
<b>FIG. 5.3</b> DEFINICIÓN DE ÁREA DE LOSA .....	56
<b>FIG. 5.4</b> DEFINICIÓN DE ÁREA DE COLUMNA.....	56
<b>FIG. 5.5</b> DEFINICIÓN DE ÁREA DE COLUMNAS .....	57
<b>FIG. 5.6</b> DIBUJO DEL MODELO DE PARTE CENTRAL DEL PUENTE JUÁREZ CARRIL IZQUIERDO .....	57
<b>FIG. 5.7</b> PARTE DE CARTA DE DECLARACIÓN H. AYUNTAMIENTO DE CULIACAN .....	58
<b>FIG. 5.8</b> PARTE DE CARTA DE DECLARACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS DEL ESTADO DE SINALOA .....	58
<b>FIG. 5.9</b> PRUEBA CON ESCLERÓMETRO .....	59
<b>FIG. 5.10</b> PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO $f'c = 300$ KG/CM <sup>2</sup> PARA LOSA .....	60
<b>FIG. 5.11</b> PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO $f'c = 462$ KG/CM <sup>2</sup> PARA COLUMNAS ..	61
<b>FIG. 5.12</b> DEFINICIÓN DE PATRONES DE CARGA .....	61
<b>FIG. 5.13</b> COMBINACIÓN DE CARGA DE RESISTENCIA I .....	62
<b>FIG. 5.14</b> COMBINACIÓN DE CARGA DE SERVICIO I .....	62
<b>FIG. 5.15</b> COMBINACIÓN DE CARGA DE FATIGA .....	63

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

<b>FIG. 5.16</b>	<b>CASOS DE CARGA A ANALIZAR.....</b>	<b>63</b>
<b>FIG. 6.1</b>	<b>DEFLEXIÓN MXIMA EN NODO 1221 .....</b>	<b>67</b>
<b>FIG. 6.2</b>	<b>DEFLEXIÓN MÁXIMA EN NODO 1221 .....</b>	<b>71</b>
<b>FIG. 6.3</b>	<b>DEFLEXIÓN MÁXIMA EN NODO 1221 .....</b>	<b>74</b>
<b>FIG. 6.4</b>	<b>DEFLEXIÓN MÁXIMA EN NODO 1221 .....</b>	<b>78</b>
<b>FIG. 6.5</b>	<b>DIAGRAMA DE REPRESENTACIÓN DE MOMENTOS M11 EN LOSA CENTRAL .....</b>	<b>79</b>
<b>FIG. 6.6</b>	<b>DIAGRAMA DE REPRESENTACIÓN DE MOMENTOS M22 EN LOSA CENTRAL .....</b>	<b>80</b>
<b>FIG. 7.1</b>	<b>UBICACIÓN DEL PUENTE BENITO JUÁREZ .....</b>	<b>81</b>
<b>FIG. 7.2</b>	<b>PROPUESTA DE ALTERNATIVA 1 (ARMADURA) .....</b>	<b>82</b>
<b>FIG. 7.3</b>	<b>ARMADURA TIPO PRATT .....</b>	<b>83</b>
<b>FIG. 7.4</b>	<b>ARMADURA TIPO WARREN.....</b>	<b>84</b>
<b>FIG. 7.5</b>	<b>ARMADURA TIPO WARREN COLOCADA DEBAJO DEL PUENTE .....</b>	<b>84</b>
<b>FIG. 7.6</b>	<b>DIMENSIONES DE ARMADURA TIPO WARREN .....</b>	<b>85</b>
<b>FIG. 7.7</b>	<b>TIPOS DE PERFILES UTILIZADOS EN ARMADURAS .....</b>	<b>86</b>
<b>FIG. 7.8</b>	<b>IMPORTAR PERFILES PREDEFINIDOS .....</b>	<b>87</b>
<b>FIG. 7.9</b>	<b>SELECCIÓN DE ARCHIVO CON PERFILES PREDEFINIDOS .....</b>	<b>87</b>
<b>FIG. 7.10</b>	<b>SELECCIÓN DE MATERIAL (ACERO GR46).....</b>	<b>87</b>
<b>FIG. 7.11</b>	<b>CREACIÓN DE FRAME CON TODAS LAS SECCIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>FIG. 7.12</b>	<b>FRAME – PERFILES HSS .....</b>	<b>88</b>
<b>FIG. 7.13</b>	<b>SELECCIÓN DE CÓDIGO DE DISEÑO .....</b>	<b>89</b>
<b>FIG. 7.14</b>	<b>CARGA AXIAL EN ARMADURA .....</b>	<b>90</b>
<b>FIG. 7.15</b>	<b>OBTENCION DE ÓCPN POR EL CÓDIGO DEL AISC .....</b>	<b>92</b>
<b>FIG. 7.16</b>	<b>OBTENCION DE ÓTPN POR EL CÓDIGO DEL AISC .....</b>	<b>94</b>
<b>FIG. 7.17</b>	<b>OBTENCION DE ÓCPN POR EL CÓDIGO DEL AISC .....</b>	<b>96</b>
<b>FIG. 7.18</b>	<b>OBTENCION DE ÓTPN POR EL CÓDIGO DEL AISC .....</b>	<b>98</b>
<b>FIG. 7.19</b>	<b>OBTENCION DE ÓCPN POR EL CÓDIGO DEL AISC .....</b>	<b>100</b>
<b>FIG. 7.20</b>	<b>OBTENCION DE ÓTPN POR EL CÓDIGO DEL AISC .....</b>	<b>102</b>
<b>FIG. 7.21</b>	<b>OBTENCION DE ÓCPN POR EL CÓDIGO DEL AISC .....</b>	<b>104</b>
<b>FIG. 7.22</b>	<b>OBTENCION DE ÓTPN POR EL CÓDIGO DEL AISC .....</b>	<b>106</b>
<b>FIG. 7.23</b>	<b>PERFIL SELECCIONADO PARA CADA MIEMBRO .....</b>	<b>108</b>
<b>FIG. 7.24</b>	<b>DIAGRAMA DE PUENTE Y ARMADURA CON DELFEXIONES .....</b>	<b>112</b>
<b>FIG. 7.25</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE CONEXIÓN A CORTANTE SIMPLE. ....</b>	<b>113</b>
<b>FIG. 7.26</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE CONEXIÓN TIPO K.....</b>	<b>114</b>
<b>FIG. 7.27</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE CONEXIÓN TIPO T.....</b>	<b>114</b>
<b>FIG. 7.28</b>	<b>GRAFICA DE RELACIÓN DE MASA PARTICIPANTE PARA LOS 3 GRADOS DE LIBERTAD.....</b>	<b>115</b>
<b>FIG. 7.29</b>	<b>MODOS DE VIBRAR RELACIONADOS A DIRECCIÓN Z(U3).....</b>	<b>116</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 3-1</b>	<b>REPORTE VISUAL ACTUAL DE PUENTE BENITO JUÁREZ.....</b>	<b>26</b>
<b>TABLA 3-2</b>	<b>PRECISIÓN REFERIDA A MEDICIONES A REFLECTORES ESTÁNDAR .....</b>	<b>33</b>
<b>TABLA 4-1</b>	<b>COMBINACIONES DE CARGA Y FACTORES DE CARGA (AASHTO, 2017).....</b>	<b>40</b>
<b>TABLA 4-2</b>	<b>FACTORES DE CARGA PARA CARGAS PERMANENTES (AASHTO, 2017).....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 4-3</b>	<b>PESOS UNITARIOS (AASHTO, 2017).....</b>	<b>42</b>
<b>TABLA 4-4</b>	<b>FACTORES DE PRESENCIA MÚLTIPLE .....</b>	<b>43</b>
<b>TABLA 4-5</b>	<b>INCREMENTO POR CARGA DINÁMICA (IM) .....</b>	<b>51</b>
<b>TABLA 6-1</b>	<b>DESPLAZAMIENTO EN LOS NODOS (CM).....</b>	<b>64</b>
<b>TABLA 6-2</b>	<b>DESPLAZAMIENTO DE LOS NODOS (CM).....</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 6-3</b>	<b>DESPLAZAMIENTO DE LOS NODOS (CM).....</b>	<b>72</b>
<b>TABLA 6-4</b>	<b>DESPLAZAMIENTO DE LOS NODOS (CM).....</b>	<b>75</b>
<b>TABLA 7-1</b>	<b>DESPLAZAMIENTO DE LOS NODOS (CM).....</b>	<b>109</b>
<b>TABLA 7-2</b>	<b>COMPARACIÓN DE DEFLEXIONES (CM) .....</b>	<b>112</b>
<b>TABLA 7-3</b>	<b>FRECUENCIA Y PERIDODO DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS ANTES DE LA REHABILITACIÓN.....</b>	<b>116</b>
<b>TABLA 7-4</b>	<b>FRECUENCIA Y PERIDODO DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS DESPUÉS DE LA REHABILITACIÓN.....</b>	<b>117</b>
<b>TABLA 7-5</b>	<b>COMPARACIÓN DE FRECUENCIAS ANTES Y DESPUÉS DE LA REHABILITACIÓN. ....</b>	<b>117</b>

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

**RESUMEN**

En el presente documento se desarrolla una evaluación analítica y se propone una rehabilitación del puente Benito Juárez localizado en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, México. Debido a que recientemente se han detectado desplazamientos fuera de los límites permisibles que marcan los reglamentos de construcción de puentes, resulta primordial desarrollar una evaluación y proponer una rehabilitación de la estructura. Por lo tanto, en esta investigación se realiza una evaluación analítica del puente en las condiciones actuales, utilizando un software de análisis estructural comercial y los reglamentos de AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) para puentes de concreto reforzado. Una vez teniendo la evaluación analítica de la estructura, se propone una rehabilitación del puente y se incluye un desglose financiero de lo que costaría dicha reparación. En este sentido, se propone solucionar el problema de vibración y desplazamientos excesivos analizando y diseñando una armadura a base de perfiles HSS, colocada en la parte inferior del puente Benito Juárez, con la cual se demuestra que disminuyen los desplazamientos para con esto cumplir con los límites del reglamento de AASHTO. Además, se presenta una discusión y/o plan de acción para llegar a las autoridades pertinentes para que realicen este proyecto de intervención.

**PALABRAS CLAVE**

Evaluación Estructural; Rehabilitación de Puentes; Diseño Estructural; Puentes de Concreto Reforzado; Manual de AASHTO LRFD; Pruebas de Carga en Puentes.



## **ABSTRACT**

In this formal document, an analytical and comprehensive study is developed to propose a feasible structural rehabilitation of the Juarez Bridge which is located in Culiacan, Sinaloa, Mexico. Recently, displacements beyond of those permitted by bridge construction codes were detected in the Juarez Bridge. Then, it is important to develop a viable structural rehabilitation of such a structure. This is mainly why in this research is presented an analytical evaluation of the Juarez Bridge under normal service conditions using a commercial software and the bridge construction manual of the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Once the analytical evaluation of the Juarez Bridge is performed, a structural rehabilitation of the structure is proposed including the cost of such a retrofit. In this sense, problems related to vibration and excessive displacements are solved by designing a truss using HSS steel sections located below the decking slab system of the Juarez Bridge. Based on the results presented in this research, it is demonstrated that the vertical displacements of the Juarez Bridge are decreased to satisfy the requirements of the AASHTO guidelines. Finally, by the end of this document, a discussion about the strategic plan to implement what is reported in this research is presented, particularly, making emphasis on what the responsible authorities have to do to improve the structural condition of the Juarez Bridge.

## **KEYWORDS**

Structural evaluation; Rehabilitation of bridges; Structural design; Reinforced concrete bridges; AASHTO-LRFD Guidelines; Load testing in bridge structures.

## **1. CAPÍTULO 1 - ANTECEDENTES**

### **1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA SELECCIONADO**

Hoy en día, se tiene que diversas obras de ingeniería como edificios, presas, carreteras, puentes, etc., han sobrepasado su periodo de vida útil, o en otras palabras, han excedido el número de años para el cual se supone está garantizado un desempeño estructural adecuado. Por lo tanto, con el objetivo de evitar fallas inesperadas en obras civiles, resulta factible el evaluar constantemente su condición estructural actual, y con ello considerar una posible rehabilitación o reparación. La importancia de una rehabilitación o reparación es dar seguridad a los usuarios de la estructura bajo consideración, resolviendo ciertas deficiencias que comprometen la integridad de la obra. También, está reportado en la literatura (Bossio, 2006) que las rehabilitaciones o reparaciones tienen como fin la recuperación y la reintegración física de una construcción y la búsqueda de soluciones para las anomalías constructivas, funcionales, higiénicas y de seguridad acumuladas a lo largo de los años.

Diversos casos de fallas estructurales inesperadas en obras civiles justifican la necesidad de realizar evaluaciones para conocer la condición actual de dichas edificaciones y proponer soluciones de rehabilitación o reparación en las mismas. Por ejemplo, para el caso particular de puentes, se tiene el colapso del Viaducto Polcevera, el cual era un puente de 1182 metros de longitud y una altura aproximada de 90 metros. Dicha estructura fue inaugurada el 4 de septiembre de 1967 en la ciudad de Génova, Italia. Recientemente, el 14 de agosto de 2018 un tramo del viaducto colapsó. Los ingenieros a cargo del caso atribuyeron la falla a errores en el diseño, y principalmente a la falta de monitoreo y mantenimiento de la estructura (Bazzucchi et al., 2018). Otro ejemplo muy particular de colapsos inesperados en puentes fue el del puente de Tacoma en Washington, E.U.A., en 1940, el cual entró en resonancia por el empuje del viento provocando su caída repentina. En este sentido, resulta importante mencionar al puente Pescadero en Colombia, que tenía un claro de 120 metros, el cual colapsó 10 años después de entrar en servicio, causado por el agrietamiento y fatiga en las soldaduras, lo que provocó una reducción en la capacidad de carga y la estabilidad del puente.

Para el caso particular de infraestructura en México, actualmente existen más de 9,000 puentes en la red federal de carreteras, de los cuales, alrededor del 30% necesitan una rehabilitación (SCT, 2019). En Sinaloa, se cuenta con 311 de estos puentes en carreteras, sin contar los que se encuentran dentro de ciudades en la entidad. Por ejemplo, en la ciudad de Culiacán, existen algunos puentes que presentan desempeños estructurales inadecuados bajo condiciones normales de uso, entre los cuales se puede citar al puente Benito Juárez, localizado en la parte noreste de la ciudad. Esta estructura presenta vibraciones excesivas principalmente en la componente vertical de alrededor de 11 cm (Vazquez B, Gaxiola-Camacho, Bennett, & Guzman-Acevedo, 2017) las cuales se obtuvieron mediante una investigación eficiente, precisa y confiable para evaluar puentes utilizando receptores GPS de orden geodésico. La evaluación se realizó considerando las condiciones normales de servicio del puente Benito Juárez. Por otro lado, en el estudio reportado por Guzmán-Acevedo et al. (2019) demostraron que existen problemas críticos de desempeño en el puente Juárez principalmente en la dirección vertical, en su investigación presentan una metodología alternativa para realizar SHM en puentes a escala real utilizando dispositivos GPS, un acelerómetro y un teléfono inteligente.

Desafortunadamente, las vibraciones que presenta el Puente Juárez son de tal magnitud que pueden ser percibidas directamente por los usuarios que diariamente transitan por dicha estructura. Por lo tanto, en resumen, en este proyecto de intervención se realiza una evaluación estructural analítica del puente Juárez, siguiendo la reglamentación para diseño y evaluación de puentes AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). De esta forma, una vez teniendo la evaluación estructural del puente Juárez, se desarrolla una propuesta de rehabilitación o reparación estructural incluyendo el desglose económico que esta conllevaría.

## 1.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.2.1 HIPÓTESIS

Utilizando la reglamentación AASHTO y con un estudio analítico con la metodología del elementos finitos, es posible evaluar y desarrollar un sistema efectivo de rehabilitación estructural en el puente Juárez ubicado en Culiacán, Sinaloa.

### 1.2.2 MARCO HISTÓRICO Y CONTEXTUAL

Con base en registros pasados, se ha documentado ampliamente que los primeros puentes fueron hechos por la naturaleza. Por ejemplo, un simple tronco de un árbol colocado de manera perpendicular al flujo sobre un desnivel o un arroyo, crea un puente. Prueba de ello son los contruidos por nuestros ancestros miles de años atrás. De manera general, un puente está formado por un determinado material resistente como acero, concreto, piedra, mampostería, madera, y/o combinaciones de ellos (Manterola, 1984). En esta parte del proyecto de intervención, se presenta una descripción de los distintos materiales utilizados para la construcción de puentes. Dichas descripciones se presentan de manera histórica y contextual.

#### Puentes de Madera:

Los puentes de madera fueron los primeros contruidos por el hombre, se tiene registro de estos puentes desde la edad media (1000 d.C.), un ejemplo de estos es el puente Trajano, contruido entre 103 y 105 d.C. en la ciudad de Roma (ver Fig. 1.1), el cual estuvo conformado por 20 arcos de madera y una longitud de 1000 metros (Mehrotra & Glisic, 2015). Actualmente, se construyen puentes de madera por la ventaja que poseen comparados con otros materiales, así como también, los bajos costos de construcción, la abundancia del material, el fácil manejo de este por ser un material liviano y por la belleza que ofrece el construir con este material.



FIG. 1.1 PUENTE TRAJANO (Mehrotra & Glisic, 2015)

### Puentes de Mampostería (piedra):

Los puentes de piedra tienen su origen desde la época de los romanos hasta finales del siglo XVIII, los puentes que se construían con este material eran los puentes de tipo arco, estos tenían la característica de trabajar muy bien bajo compresión. La gran ventaja que tenían estos puentes, era su gran resistencia a las cargas y la abundancia del material. Por ejemplo, el puente de Neuilly sobre el río Sena (ver Fig. 1.2), fue construido en 1768 en Francia, su estructuración fue a base de arcos de mampostería (piedra). Dicha estructura, está formada por cinco arcos de 38.94 m de claro libre, con unos formidables “*corn de vaches*” que dan una solución factible a la conexión del arco con la pila, a la vez que lo hacen más esbelto (Armisen, 2019). Uno de los puentes de piedra más antiguos que se tiene registro es el puente Zhao-Zhou, que también recibe el nombre de Puente An-Ji, se encuentra en el río Xiao, a 2.5 km al sur del condado de Zhao, provincia de Hebei (Mehrotra & Glisic, 2015), tiene alrededor de 1400 años desde su construcción, y aún se mantiene en pie, esto es una prueba de la durabilidad del material con el que fue construido.



**FIG. 1.2** PUENTE NEUILLY SOBRE EL RÍO SENA (Armisen, 2019)

### Puentes de acero:

Los puentes de acero tuvieron su origen 100 años después de los inicios de los puentes metálicos, esto a finales del siglo XIX. Dichos puentes presentaron un gran desarrollo después de la segunda guerra mundial, debido a la reconstrucción de un gran número de ellos, los cuales fueron destruidos durante las batallas. La construcción de estos puentes se llevó a cabo principalmente en Alemania (Manterola, 1984). Entre algunas de las ventajas que presentan los puentes de acero destacan el prefabricado de los elementos estructurales, la rapidez del montaje, y la gran variedad de tamaños y formas. Por otro lado, las principales desventajas que se tienen son el mantenimiento y la corrosión que pueden presentar. Es importante mencionar que el primer puente colgante de acero moderno fue construido por James Finley en 1801 en Pennsylvania. Se trata de un puente de 70 m de claro libre en el que se pueden distinguir los elementos que caracterizan lo que hoy podemos entender por puente colgante. Por otra parte, el puente Hell Gate de Gustav Lindenthal (ver Fig. 1.3) fue construido en el siglo XX en la década de 1910 en la ciudad de New York, este puente fue edificado completamente de acero, presentando un claro libre de entre 298 y 304 m entre caras de los estribos (Armisen, 2019).



**FIG. 1.3** PUENTE HELL GATE (Armisen, 2019)

#### Puentes de concreto reforzado:

El concreto Portland y el hormigón (concreto) tienen sus orígenes a principios del siglo XX, con estos materiales se recuperó la forma de construir con materiales pétreos, como anteriormente se hacía con la piedra (Armisen, 2015). Los puentes de concreto se clasifican en varios tipos como puentes de viga, arco, colgante, entre otros, algunos de estos utilizan la tecnología de concreto pre-tensado y pos-tensado. En relación a lo anterior, se presentan algunos puentes de concreto. Por ejemplo, el puente Oelde fue el primer puente pre-tensado, se construyó en Alemania en el año 1938, posee un tramo de 31 metros de claro y está formado por vigas separadas entre sí 1.4 metros (Manterola, 1984). Otro ejemplo que se puede mencionar es el puente de Baldulnstein al oeste de Alemania, esta estructura se construyó en 1950, posee un claro de 65 m, y fue el primer puente construido en voladizo sucesivo de hormigón pretensado (Manterola, 1984).

El primer puente de concreto pretensado en México fue El puente Zaragoza, sobre el río Santa Catarina, en la ciudad de Monterrey. Dicho puente fue construido en 1953 bajo la dirección exclusiva de ingenieros mexicanos. Pocos años después, en 1957, se construyó el puente sobre el río Tuxpan, en el acceso al puerto del mismo nombre, en el estado de Veracruz. Otro ejemplo de puentes de concreto reforzado es el puente Juárez (ver Fig. 1.4), sobre el río Tamazula, ubicado en la ciudad de Culiacán. El puente Juárez se construyó aproximadamente hace 45 años para agilizar el tráfico congestionado entre el norte y el sur de la ciudad. Es una estructura de concreto reforzado tipo losa con una longitud de 200 metros, 10 columnas de aproximadamente 9 m de altura. En sus orígenes de construcción el puente Juárez estaba conformado por un carril para cada sentido, actualmente el puente fue alterado en su geometría y en su masa agregando un carril en ambos sentidos y un carril para bicicletas, lo cual influye considerablemente en su comportamiento estructural, ya que no fue diseñado para soportar estas cargas extras.





**FIG. 1.4** PUENTE BENITO JÚAREZ EN CULIACÁN, SINALOA.

Algunas de las ventajas más importantes que presentan los puentes de concreto son el poco mantenimiento requerido, alta durabilidad, gran resistencia al fuego, adaptabilidad para lograr formas arquitectónicas complejas. Por otra parte, una de las desventajas principales que presentan los puentes de concreto es su gran peso y volumen.

### **1.2.3 ESTADO DEL ARTE**

El monitoreo de obras civiles es un concepto que está estrictamente relacionado con el análisis y evaluación de la condición actual de estas. El principal objetivo es brindar seguridad operacional y estructural de la obra que está siendo monitoreada, así como proporcionar una alerta temprana de un posible deterioro o colapso. En resumen, a lo anterior mencionado, se le llama monitoreo de salud estructural. Diversos autores (Farrar & Worden, 2007) señalan al proceso de implementación de una estrategia de identificación de daños para infraestructura de ingeniería aeroespacial, civil y mecánica como monitoreo de salud estructural (SHM, por sus siglas en inglés).

La filosofía SHM ha sido muy exitosa en los últimos años. Por ejemplo, durante los setenta y ochenta del siglo XX, la industria petrolera realizó esfuerzos considerables para desarrollar métodos de identificación de daños basados en vibraciones para plataformas marinas (Farrar & Worden, 2007), este proceso fue descartado a finales de los años ochenta, por su complejidad y aplicación en las plataformas. Por otro lado, la comunidad aeroespacial comenzó a estudiar el método de identificación de daño basado en vibraciones en los años ochenta, junto con el desarrollo del transbordador espacial (Farrar & Worden, 2007). De manera general, desde la década de los ochenta, la comunidad ingenieril ha estudiado los métodos para identificar y evaluar daños en puentes, edificios, y otras estructuras basados en vibraciones. Algunas de las características principales para poder analizar y encontrar daños en puentes con base en vibraciones son las propiedades modales y las cantidades derivadas de estas propiedades, como la curvatura de la forma del modo y los índices de matriz de flexibilidad dinámica (Farrar & Worden, 2007).

Adicionalmente a lo discutido con anterioridad, diversos investigadores (López-Higuera, L. Rodríguez Cobo, A. Quintela Incera, & A. Cobo, 2011) documentaron las principales técnicas de sensores de fibra óptica (OFS, por sus siglas en inglés) que se utilizan en el SHM, definiendo dicho concepto como el sistema que incluye la integración de dispositivos de detección, inteligencia y posiblemente también de activación para permitir

que las condiciones de carga y daños de una estructura se registren, analicen, localicen y predigan (López-Higuera et al., 2011).

Por otro lado, se ha reportado en la literatura el desarrollo tecnológico relacionado a la filosofía SHM (Ko & Ni, 2005), documentando que los avances en sistemas de detección, procesamiento de señales, comunicaciones y tecnología de extracción de datos proporcionan una nueva forma de inspección y monitoreo de la seguridad de puentes. En Ko y Ni (2005), se menciona que los OFS son uno de los sensores más utilizados actualmente, y que se espera un incremento considerable en la utilización de sensores inalámbricos como los receptores GPS, los cuales aún se encuentran en etapa de desarrollo tecnológico para su aplicación en SHM. De esta manera, algunos investigadores (Vazquez B et al., 2017), han realizado satisfactoriamente análisis de seguridad estructural utilizando la filosofía SHM y receptores GPS, donde han demostrado que los datos obtenidos vía GPS son muy precisos. En Vazquez B et al. (2017), se obtuvieron series de tiempo de los desplazamientos y con ello se evaluó la respuesta del comportamiento del puente Juárez, bajo condiciones de carga normales de servicio, llegando a la conclusión de que el GPS es una herramienta eficiente para el monitoreo de la salud estructural de puentes. Con base en la investigación anterior, se evaluó la salud estructural del puente Juárez, lo cual es el primer paso para una rehabilitación.

En general una gran cantidad de puentes que se encuentran en operación alrededor del mundo con el paso del tiempo presentan deterioro y daño, que son causados por los cambios de la demanda de tráfico, las fatigas de los elementos, la fluctuación de las fuerzas y su interacción con el medio ambiente (Herrera, Carboney, López, Gomez, & Diaz, 2016). Las técnicas de rehabilitación para las estructuras de puentes son diversas, las cuales han ido cambiando con el paso del tiempo, y en algunas ocasiones no son las idóneas para cada caso.

Cuando se elabora una rehabilitación o mantenimiento, la literatura nos indica que la rehabilitación es un conjunto de actividades e intervenciones que son esenciales para mejorar su comportamiento ante acciones y efectos futuros (Herrera et al., 2016), el mantenimiento es llevar a cabo acciones que permiten combatir el deterioro estructural sin realizar trabajos de reforzamiento (Vargas, Velázquez, & Molina, 2012). Cuando se habla de reparación se refiere a reconstruir las condiciones iniciales del puente. Al hablar de reforzamiento nos referimos al incremento de resistencia, rigidez y a la capacidad de deformación. Al hablar de reestructuración, se refiere a modificar el sistema resistente a cargas de un puente.

Dentro de las técnicas más convencionales y más empleadas en la rehabilitación de puentes están las siguientes (Herrera et al., 2016).

- Relleno o inyección de grietas con mortero de cemento elástico o con sustancias epóxicas.
- Inserción de barras, placas (soleras), para sustituir el acero perdido o faltante.
- Reemplazo de elementos dañados, pandeado, etc.
- Postensado externo adherido o desadherido por flexión.
- Incremento de espesor de cubierta, trabes, pilas, etc.
- Refuerzo de conexiones.
- Colocación de elementos adicionales pilas, elementos rigidizantes, tirantes, etc.

## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Adicionalmente a lo mencionado anteriormente, en Matamoros (1998) se incluyeron las diferentes técnicas para rehabilitar y reparar el puente Tunzingo ubicado en el estado de Guerrero, como son.

- La reparación del concreto, el cual incluía el retiro del concreto actual, la limpieza, los trabajos con concreto con especificaciones, el concreto lanzado con su procedimiento, las reparaciones con mortero en áreas con daño local, la inyección de fisuras para proteger el refuerzo de la corrosión.
- El cambio de apoyos, los cuales fueron entregados y colocados de acuerdo a las especificaciones del fabricante por el contratista.
- La reparación y remplazo de juntas de calzada, las cuales incluían juntas asfálticas y juntas prefabricadas de neopreno. Se menciona que las juntas asfálticas se utilizaron como remplazo de las juntas existentes donde las juntas están fallando, y como juntas nuevas en donde hay espacio entre losa y puente.

Por otro lado, en la investigación de Estrada-Molina (2013), se menciona que el refuerzo en un puente es necesario si se ha descubierto que su capacidad de carga no es suficiente, por el constante aumento de tráfico y el aumento de peso de los vehículos, lo que causa la pérdida de resistencia y deterioro gradual del puente. Este deterioro se refleja principalmente en las vigas de concreto, en las cuales se presentan grietas, además los miembros estructurales se vuelven débiles por lo cual es necesario tomar medidas para solucionarlo. Estrada-Molina et al., (2013) menciona tres maneras de reforzar un puente. Refuerzo con placas de acero, es el método más usado para el refuerzo de puentes, el cual consiste en añadir placas de acero a las vigas o trabes de concreto en la parte inferior de ellas, con lo cual incrementara su resistencia a la flexión y además incrementara su capacidad de carga. Las placas de acero son una buena opción para el reforzamiento de las vigas de concreto, siempre y cuando se pretenda mejorar la capacidad de la carga viva a flexión y cortante (Estrada-Molina, 2013). Refuerzo con fibras de refuerzo de polímeros (FRP), el cual consiste en un material elaborado de fibras de vidrio o carbono, con un núcleo de polímeros como son, resina epóxicas o vinil, se elaboran placas o láminas las cuales presentan una resistencia muy alta a la flexión de las vigas de igual manera que las placas de acero pero sin el problema de la corrosión y el peso (Estrada Molina et al., 2013). Refuerzo a base de presfuerzo externo, este método se distingue de los otros métodos porque no considera el uso de placas o láminas y se usan cables o barras de refuerzo local, su objetivo principal es restablecer el estado de servicio original del puente, el cual fue causado por los efectos de flexión ocasionados por la carga muerta del puente. El puente “La Cintel” es uno de los puentes que han sido rehabilitados con este método.

En Estrada-Molina et al. (2013) se menciona que la rehabilitación de un puente implica que para regresarlo a su estado original de servicio tiene que tener cambios estructurales, como son la adición de trabes de acero o concreto, la reparación de columnas o refuerzo. Para una correcta rehabilitación de una superestructura se usan diferentes técnicas o trabajos que recuperan las condiciones originales del puente, una de ellas es la Adición de Trabes a la superestructura, la cual se usa para incrementar la capacidad de carga, con este procedimiento la capacidad de las cargas existentes disminuye al poder repartir mejor las cargas a las nuevas trabes.



En este sentido, en el presente proyecto de intervención se realizan evaluaciones estructurales analíticas para proponer una correcta rehabilitación del puente Juárez, la cual incluye la colocación de una estructura (armadura) en la superestructura colocada en la parte inferior de la plataforma central del puente Benito Juárez, además, se incluye un análisis de los costos que dicha rehabilitación conllevaría.

#### **1.2.4 MARCO TEÓRICO**

En la actualidad existen diversos programas computacionales para realizar análisis estructurales, ya sean en edificios de concreto, edificios de acero, carreteras, puentes de acero y/o puentes de concreto. Estos programas utilizan la técnica matemática de elementos finitos, con la cual se pueden realizar análisis de tipo estático lineal, estático no lineal (*pushover*), dinámico lineal, y dinámico no lineal, respectivamente. Los programas más populares entre la comunidad mundial de ingeniería se enlistan a continuación.

ETABs: es un software comercial utilizado para el análisis y diseño de estructuras complejas, basado en el método de elemento finito, el cual ofrece herramientas de visualización en 3D y modelado. Tiene una alta capacidad de análisis tanto lineales como no lineales.

SAP2000: es un software de ingeniería civil diseñado por *Computers and Structures Inc.* (2011). Se utiliza para diseñar y analizar diferentes tipos de sistemas estructurales, como puentes y edificios. Puede realizar diferentes tipos de análisis, como los análisis de Eigen y Ritz, análisis de cables de catenaria, análisis de pandeo, análisis de colapso progresivo, análisis no lineales y de historia de tiempo (Fu, 2015).

El método de elementos finitos es un procedimiento muy utilizado para resolver diversos problemas de ingeniería estructural, ya que cuenta con la facilidad de acomodar muchas complejidades en la solución. Este método se basa en dividir la estructura real en un número adecuado de subregiones llamadas elementos finitos (Díaz Alvarez, 2017). En general, el método de elementos finitos se utiliza de manera considerable en la práctica, por ejemplo (Naderian, Cheung, Mohammadian, & Dragomirescu, 2019) en su investigación de análisis integrado de tiras finitas (IFSM), compara las frecuencias conseguidas, con las obtenidas en SAP2000 y las de alcanzadas en campo, la similitud entre los resultados valida la precisión del IFSM y SAP2000 en el análisis de frecuencias.

En lo que compete a la investigación que en este documento se desarrolla, se utiliza el software comercial SAP2000 para ejecutar un análisis estático lineal y modelar el puente Juárez, para posteriormente proponer una rehabilitación adecuada que cumpla con las especificaciones de la norma AASHTO-LRFD (*Load and Resistance Factor Design*).

#### **1.2.5 MARCO LEGAL**

En la actualidad, alrededor del mundo se utilizan reglamentos confiables para el diseño y análisis de puentes, uno de los más utilizados es el manual de AASHTO-LRFD. La *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO por sus siglas en inglés), es una organización sin fines de lucro que representa al departamento de carreteras y transporte de los Estados Unidos Americanos, una dependencia similar a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México. De manera general, la AASHTO emite normas para el diseño y construcción de carreteras y puentes. Esta dependencia federal de Estados Unidos se fundó el 12 de Diciembre de 1914 en la ciudad de Washington D.C., en sus primeros años su nombre era *The American Association of State*

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

*Highway Officials* (AASHO por sus siglas en inglés), fue hasta 1973 cuando cambio su nombre a AASHTO con el cual ampliaron su alcance para cubrir todos los modos de transporte.

En México, para el análisis y el diseño de puentes, se utilizan las normas mexicanas establecidas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), la cual es una dependencia de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) del Gobierno Federal de México. En este sentido, la NIT-SCT (Normatividad para la Infraestructura del Transporte) tiene el propósito de que el sector de transporte cuente con normativas actualizadas con la tecnología más reciente del país y del extranjero. Dichas normativas proponen criterios, métodos y procedimientos para construir infraestructura con calidad, economía y eficiencia y son aplicables para carreteras, puertos, aeropuertos, ferrocarriles, e incluso edificaciones. Es importante mencionar que en su gran mayoría las NIT-SCT se basan en las normas norteamericanas reportadas por AASHTO.

## 2. CAPÍTULO 2 – PROYECTO DE INTERVENCIÓN

### 2.1 OBJETIVOS

#### 2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación estructural del puente Benito Juárez mediante modelaciones analíticas de elementos finitos, y proponer un sistema de rehabilitación estructural para mejorar su comportamiento incluyendo el costo económico implicado en este proceso.

#### 2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un levantamiento topográfico del puente Juárez para obtener su geometría de la manera más precisa posible.
- Realizar un análisis numérico del puente Juárez utilizando el método de elementos finitos disponible en softwares comerciales.
- Evaluar el comportamiento estructural del puente Juárez mediante las recomendaciones del manual de construcción de puentes AASHTO.
- Proponer un sistema de rehabilitación estructural para que el puente Juárez mejore significativamente su comportamiento estructural.
- Elaborar un presupuesto de la rehabilitación estructural del puente Juárez.

### 2.2 JUSTIFICACIÓN

El puente Juárez, tiene aproximadamente 45 años de haber sido construido, por lo cual está por cumplir su vida útil para la cual fue diseñado. El puente ha sido remodelado en algunas ocasiones. Por ejemplo, su número de carriles se ha aumentado de 2 a 4. Por lo tanto, se ha cambiado su geometría inicial. Este puente es uno de los más transitados de la ciudad de Culiacán ya que cruza el río Tamazula y conecta el Boulevard Xicoténcatl con avenida Las Américas. Hoy en día el puente presenta desplazamientos excesivos en su componente vertical, los cuales son mayores a los permitidos por el reglamento de AASHTO (Vazquez B et al., 2017). En este sentido, lo que se investiga en el presente documento queda justificado ya que se obtiene el comportamiento estructural actual del puente Juárez, con el cual se desarrolla una propuesta de rehabilitación para solucionar el problema de desplazamientos excesivos, asimismo, se estima el costo de la rehabilitación. Con esto, se está en condiciones de presentar a las autoridades a cargo de la infraestructura de la ciudad de Culiacán una posible solución de rehabilitación del puente para reducir considerablemente los desplazamientos excesivos y disminuir el riesgo de un colapso inesperado de la estructura.

### 2.3 METODOLOGÍA

#### 2.3.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES

Las principales variables que se estudian en este proyecto de intervención son las siguientes:

**Desplazamiento:** se define como, el cambio de posición de un cuerpo, en un tiempo determinado, el cual es analizado en esta investigación con respecto a la componente vertical del Puente Juárez.

**Esfuerzo:** se define como, la resistencia que ofrece un área de cierto material para una carga aplicada externa, dependiendo de la forma cómo actúen las fuerzas externas, los esfuerzos y deformaciones producidos pueden ser axiales, biaxiales, triaxiales, por flexión, por torsión, o combinados.

## **2.3.2 ESTUDIO E INGENIERÍA BÁSICA**

### **2.3.2.1 ESTUDIOS BÁSICOS**

Levantamiento Topográfico: Se elabora un levantamiento topográfico del puente Juárez, con el fin de obtener las dimensiones reales, utilizando una Estación Total, con la ayuda de un Topógrafo Profesional y dos ayudantes.

Estimación de la resistencia a la compresión de concreto reforzado: Se realiza un ensayo con esclerómetro en los elementos estructurales del puente Juárez según la norma NMX-C192-ONNCCE-2006, con el cual se obtiene una estimación de la resistencia a la compresión que presentan los elementos estructurales, como primer paso se presenta el ensayo con esclerómetro a la columna 4 con el cual se concluye con una resistencia a la compresión de  $F'c = 462 \text{ kg/cm}^2$ .

### **2.3.2.2 INGENIERÍA BÁSICA**

Análisis estructural del puente: la geometría del puente se construye a partir de los resultados obtenidos del levantamiento topográfico. Con esto, se utiliza el software comercial SAP2000 para obtener el comportamiento actual del puente, en un día normal de servicio.

Diseño de Rehabilitación: se elabora a partir del reglamento de puentes AASHTO-LRFD, el cual es el documento de donde se toman las especificaciones correspondientes.

### **2.3.3 RECURSOS TÉCNICOS**

En esta investigación se utiliza el software comercial SAP2000 para analizar el comportamiento estructural del puente Juárez y diseñar una propuesta de rehabilitación. Como se mencionó anteriormente, este programa computacional utiliza el método de elementos finitos. Por otro lado, para la realización del levantamiento topográfico, se emplea una estación total, la cual es un instrumento que se usa comúnmente en topografía, el cual tiene la capacidad de medir ángulos, distancias y niveles con una precisión muy exacta.

### **2.3.4 PROCEDIMIENTOS**

El primer paso de esta investigación consiste en realizar el levantamiento topográfico del puente, con el cual se obtiene la geometría y dimensiones de manera precisa, mediante la utilización de una estación total operada por un ingeniero topógrafo y dos ayudantes. Una vez realizado el levantamiento topográfico, se procede a interpretar (dibujar) los resultados en el programa AutoCAD.

Una vez obtenidos los planos geométricos del puente Juárez, se procede a dibujar la geometría en el programa SAP2000, se define el tipo de material, en este caso se utiliza concreto reforzado con una resistencia a la compresión de  $F'c = 462 \text{ kg/cm}^2$  para columnas y para losas de concreto de  $F'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ , se definen las cargas, como carga viva (Live), carga muerta (Dead) y peso propio de la estructura (Dead), posteriormente se indican las combinaciones de carga según lo especificado en el manual de diseño de puentes de AASHTO-LRFD. A partir de los resultados, se procede a evaluar el comportamiento del puente, comparando los desplazamientos y vibraciones permitidas con los especificados en el reglamento de AASHTO.

Al obtener el comportamiento estructural del puente, se propone una rehabilitación o reparación, la solución estructural propuesta consiste en colocar un sistema de rehabilitación en la superestructura, este refuerzo es requerido cuando la capacidad de carga del puente es insuficiente (Vargas et al., 2012), o en su caso cuando no se transmiten las cargas

## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

correctamente de la losa a la columna como es el caso del puente Benito Juárez, el cual consiste en añadir placas o elementos de acero a las trabes de concreto o en losa de concreto, en el caso particular del puente Juárez, justo en la parte inferior de las mismas, con esto se logra un aumento a la resistencia de la flexión, cortante y a la rigidez del puente, además se reducen las vibraciones que se presentan en el puente Juárez, así como se plantea en la investigación de Vargas et al., (2012).

Por último, en esta investigación, se realiza un presupuesto considerando la solución estructural propuesta, y con esto se procede a determinar la viabilidad de dicha reparación, tomando en cuenta las ventajas que esta conllevaría. Lo anterior mencionado se describe en un diagrama de flujo en la figura 2.1.

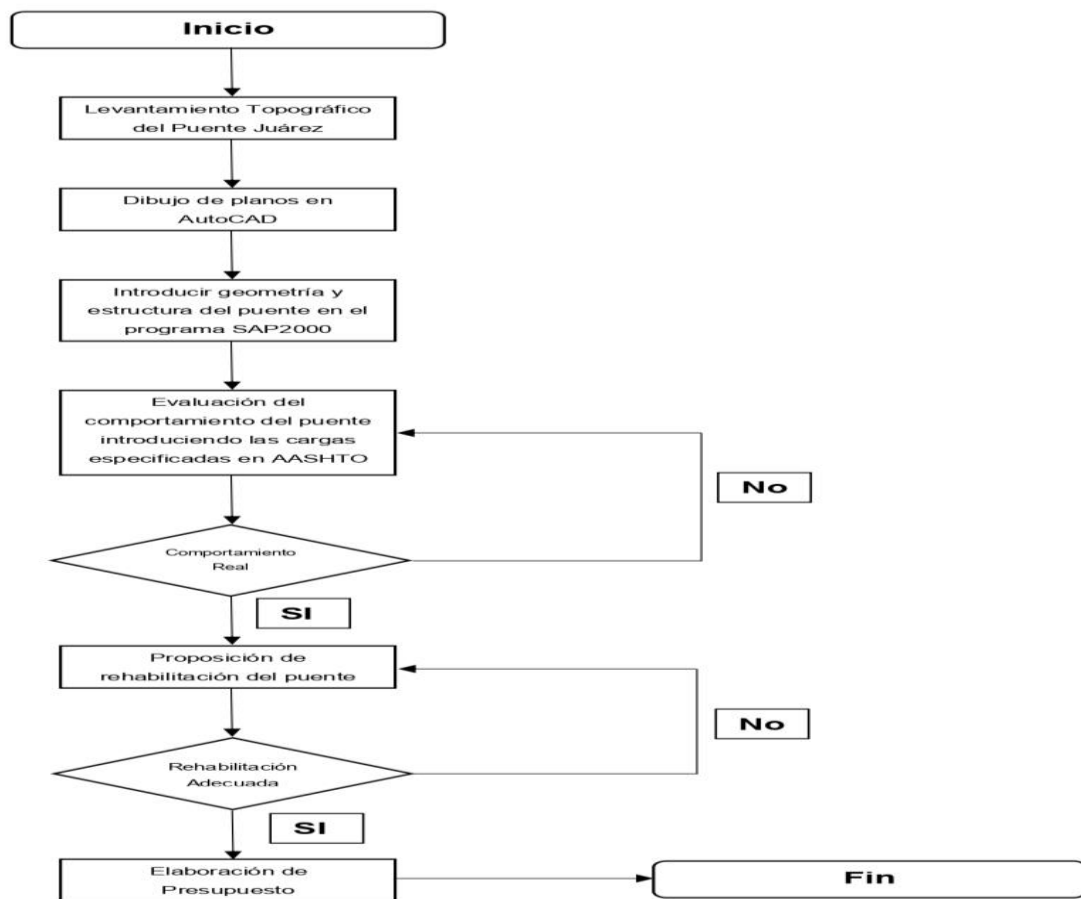


FIG. 2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROYECTO DE INTERVENCIÓN

### 2.4. PLAN DE ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 2.4.1 MÉTODOS Y MODELOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS SEGÚN TIPO DE VARIABLES

Se comparan los resultados en términos de desplazamientos y esfuerzos permisibles usando análisis estático lineal del puente Juárez bajo las normas de AASHTO. Primeramente, se realiza una evaluación estructural sin rehabilitación. Posteriormente, se llevará a cabo el análisis incluyendo el sistema estructural de rehabilitación. De esta manera, se compara el grado de mejoramiento en el comportamiento estructural del puente. En este sentido, por

## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

medio de las pruebas de carga analíticas, el puente deberá cumplir lo establecido en las normas de AASHTO para evaluación de puentes.

En lo que al modelado respecta, se analiza el modelo del puente, realizando una simplificación del mismo, utilizando elementos tipo *Shell*, para representar la parte inferior y superior de la columna, y otro elemento tipo *Shell*, para representar la losa, a estos elementos se les aplica un factor de reducción de peso, para representar el peso y la masa real que poseen las estructuras.

### **2.4.2 PROGRAMAS A UTILIZAR PARA ANÁLISIS DE DATOS**

- MATLAB
- OPUS
- Microsoft Excel




### 3. CAPÍTULO 3 – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL PUENTE JUÁREZ

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestra el proceso para realizar el levantamiento topográfico del puente Juárez, el cual se entiende como un conjunto de actividades que se realizan en campo con el fin de obtener la geometría y dimensiones de manera precisa. También, se realiza una inspección visual de las condiciones actuales del puente. Por último, en este capítulo, se expone la instrumentación que se utilizó, el proceso que se llevó a cabo, y los resultados que se obtuvieron.






#### 3.2 REPORTE FOTOGRÁFICO DE CONDICIONES ACTUALES DEL PUENTE

**TABLA 3-1 REPORTE VISUAL ACTUAL DE PUENTE BENITO JUÁREZ**

Fotografía	Localización	Observación
<b>Superficie de Rodamiento</b>		
	Primer Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
	Segundo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
	Tercer Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, sobre malecón nuevo.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.




PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO




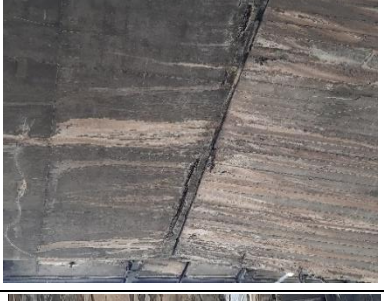
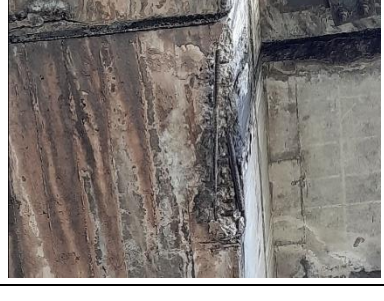
	Cuarto Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, sobre malecón nuevo.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
	Quinto Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, sobre malecón nuevo.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
	Sexto Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, sobre río Tamazula.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
	Séptimo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, sobre río Tamazula.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
	Octavo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, sobre río Tamazula.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.








PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

	Noveno Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
	Decimo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
	Onceavo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad.	Levantamiento de pavimento, pavimento agrietado en las juntas constructivas.
<b>Subestructuras</b>		
	Onceavo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril derecho.	Varillas expuestas en parte inferior de la losa.
	Decimo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril izquierdo.	Desgaste del aglomerado de fibra de la junta expansiva.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO




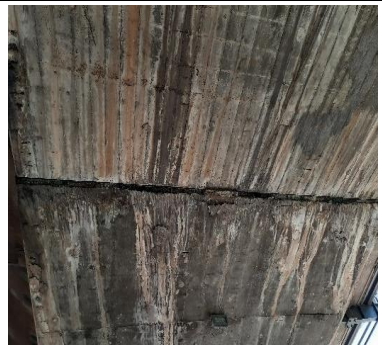
	Noveno Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril izquierdo.	Desgaste del aglomerado de fibra de la junta expansiva y varillas expuestas en parte inferior de losa.
	Noveno Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril izquierdo.	Varillas expuestas en parte inferior de la losa.
	Noveno Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril izquierdo.	Desgaste del aglomerado de fibra de la junta expansiva.
	Quinto Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril derecho.	Varillas expuestas en parte inferior de la losa.
	Quinto Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril derecho.	Varillas expuestas en parte inferior de la losa.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

	Quinto Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, centro de ambos carriles.	Desgaste considerable del aglomerado de fibra de la junta expansiva.
	Cuarto Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril izquierdo.	Varillas expuestas en parte inferior de la losa.
	Cuarto Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril derecho.	Desgaste del aglomerado de fibra de la junta expansiva.
	Tercer Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril derecho e izquierdo.	Desgaste del aglomerado de fibra de la junta expansiva.
	Tercer Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, centro de ambos carriles	Desgaste considerable del aglomerado de fibra de la junta expansiva, varillas expuestas en parte inferior de losa.



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

	Tercer Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril izquierdo	Varillas considerablemente expuestas en parte inferior de la losa.
	Segundo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, centro de ambos carriles	Desgaste considerable del aglomerado de fibra de la junta expansiva.
	Segundo Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril derecho	Varillas considerablemente expuestas en parte inferior de la losa.
	Primer Tramo de unión losa con losa-columna de norte a sur de la ciudad, carril izquierdo	Desgaste considerable del aglomerado de fibra de la junta expansiva y varilla expuesta en parte inferior de losa

### 3.3 INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA

La instrumentación que se utilizó para obtener el levantamiento topográfico del puente Juárez fue una estación total, prisma, cinta métrica y mano de obra, las cuales se describen a continuación.

**Estación Total.-** Se le llama con este nombre (ver Figura 3.1) al equipo que compone en un solo instrumento las funciones que desempeña un teodolito electrónico, un medidor electrónico y un micro procesador los cuales trabajan en conjunto para obtener de manera exacta las coordenadas rectangulares de los puntos de un terreno (Pachas, 2009). Entre las funciones que pueden realizarse con una estación total son obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancias, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, así como el cálculo de coordenadas de los puntos levantados (Pachas, 2009). Estas funciones mencionadas anteriormente se realizan mediante la pantalla y teclado que cuenta la estación total donde podemos alimentarla con datos necesarios como caracteres, mediciones atmosféricas, borrar datos, configurar la estación, mover las unidades de medición, y revisar archivos.



FIG. 3.1 ESTACIÓN TOTAL GEO MAX

**Prisma.-** Se les llama prismas (ver Figura 3.2) al equipo que acompaña a la estación total y que se coloca al otro extremo de la estación para poder medir la distancia que hay entre ellos, los prismas son circulares compuestos de cristal óptico de alta calidad, fabricados con exactitud.



FIG. 3.2 PRISMA SIMPLE

### 3.4 PRECISIÓN DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA

Los cambios rápidos de temperatura, los golpes o las tensiones pueden ocasionar reducción de la precisión del instrumento. Por lo cual, la correcta calibración es un paso muy importante en las mediciones.

En el manual de usuario de la Estación Total menciona que la precisión de las mediciones varía con respecto si se usan los reflectores o no al momento de realizar las mediciones.

#### 3.4.1 MEDICIONES DE DISTANCIAS CON REFLECTORES

La precisión de las mediciones con reflector depende del modo de medición utilizado (EDM). En este levantamiento topográfico se utilizó el modo de medición IR –Estándar en cual tiene una precisión de 2 mm + 2ppm. Los demás modos de medición se pueden observar en la tabla 3.2.

TABLA 3-2 PRECISIÓN REFERIDA A MEDICIONES A REFLECTORES ESTÁNDAR

Modo de Medición EDM	Desviación Típica ISO 17123-4	Tiempo de Medición (seg)
IR - Estándar	2 mm + 2 ppm	2.4
IR - Rapid	3 mm + 2 ppm	2.0
IR Tracking	3 mm + 2 ppm	0.33
Diana Reflectante	3 mm + 2 ppm	2.4

### 3.5 PROCEDIMIENTO

El primer paso que se siguió fue realizar una planeación de cómo se realizaría el levantamiento topográfico, se llegó a la decisión de realizarlo por tramos de acuerdo a las juntas constructivas que el puente posee (ver Figura 3.3) y empezando por la parte superior del puente, posteriormente la parte inferior cuidando que coincidiera con la parte superior, y finalmente los costados.



**FIG. 3.3 JUNTA CONSTRUCTIVA POR TRAMO**

Como segundo paso se inicia con la colocación de la estación total en un punto específico el cual será la primera estación, posteriormente se procede a nivelar el instrumento (ver Figura 3.4). Para poder iniciar con las mediciones es necesario orientar la estación total para lo cual se requiere hacer estación en un punto de coordenadas conocidas o supuestas y conocer un azimut de referencia. Para esto se utilizó un GPS MAGELLAN 320 (ver Figura 3.5), el cual arroja las coordenadas supuestas de un punto que se elige convenientemente, para las cuales se eligió el punto donde está colocada la estación total. Después, se procede a alimentar la estación total con los datos que arrojó el GPS MAGELLAN 320 los cuales se introducen mediante el teclado.

Para lograr una correcta orientación del levantamiento se realizó una Geo-Referenciación con lo cual se utilizaron las coordenadas UTM referidas al DATUM WGS84 ITRF 2008EPOCA 2010 tomando como estación de control la estación fija Culiacán con coordenadas  $X= 256,096.307$ ,  $Y= 2744412.546$ ,  $Z= 64.270$ , para la Geo-Referenciación se utilizó un equipo GPS, marca ASTHECH, modelo PROMARK3 y estación total GEO MAX para la propagación de coordenadas.



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 3.4 NIVELACIÓN DE ESTACIÓN TOTAL**



**FIG. 3.5 GPS MEGELLAN 320**

En el tercer paso se procede a iniciar las mediciones de los puntos que conforman el puente, las cuales las realiza la estación total mediante el distanciómetro electrónico que posee. El distanciómetro calcula las distancias de manera indirecta en con base en el tiempo que tarda la onda electromagnética en viajar desde la estación total al prisma de ida y de vuelta. Es importante mencionar que el espacio que existe entre la estación total y el prisma debe de estar totalmente libre de obstáculos. La correcta medición de la distancia la calcula el microprocesador que posee la estación, con los datos atmosféricos de temperatura y presión correspondientes del lugar, que son agregados mediante el teclado. La estación total toma la distancia repetidamente, por lo tanto el resultado que se muestra en la pantalla se guarda en la memoria, siendo el promedio de estas mediciones, las cuales tardan alrededor de 3 a 4 segundos entre medición y poseen una precisión de  $\pm 3$  mm (Pachas, 2009).



En el cuarto paso se procede a tomar las mediciones realizadas en el levantamiento topográfico y plasmarlas de manera gráfica y precisa en un plano topográfico. Los planos topográficos se utilizan para desarrollar proyectos de gran infraestructura, en ellos se plasma la información más importante de manera resumida. Los planos se dibujan en un sistema de dibujo asistido por computadora llamado CAD por sus siglas en inglés “*Computer Aided Drawing*”, estos software son muy utilizados en topografía (Pachas, 2009). En este sistema de dibujo lo más importante es el software que se usa, el cual permite al topógrafo interactuar con la computadora y utilizar las diferentes funciones de este. Hoy en día existen un sinnúmero de softwares comerciales para dibujar planos topográficos que permiten al operador realizar un plano de manera precisa y en un tiempo muy corto, una de las ventajas de estos planos, es que son de manera digital, los cuales se pueden guardar en dispositivos de almacenamiento y se pueden reproducir las veces que sean necesarias.

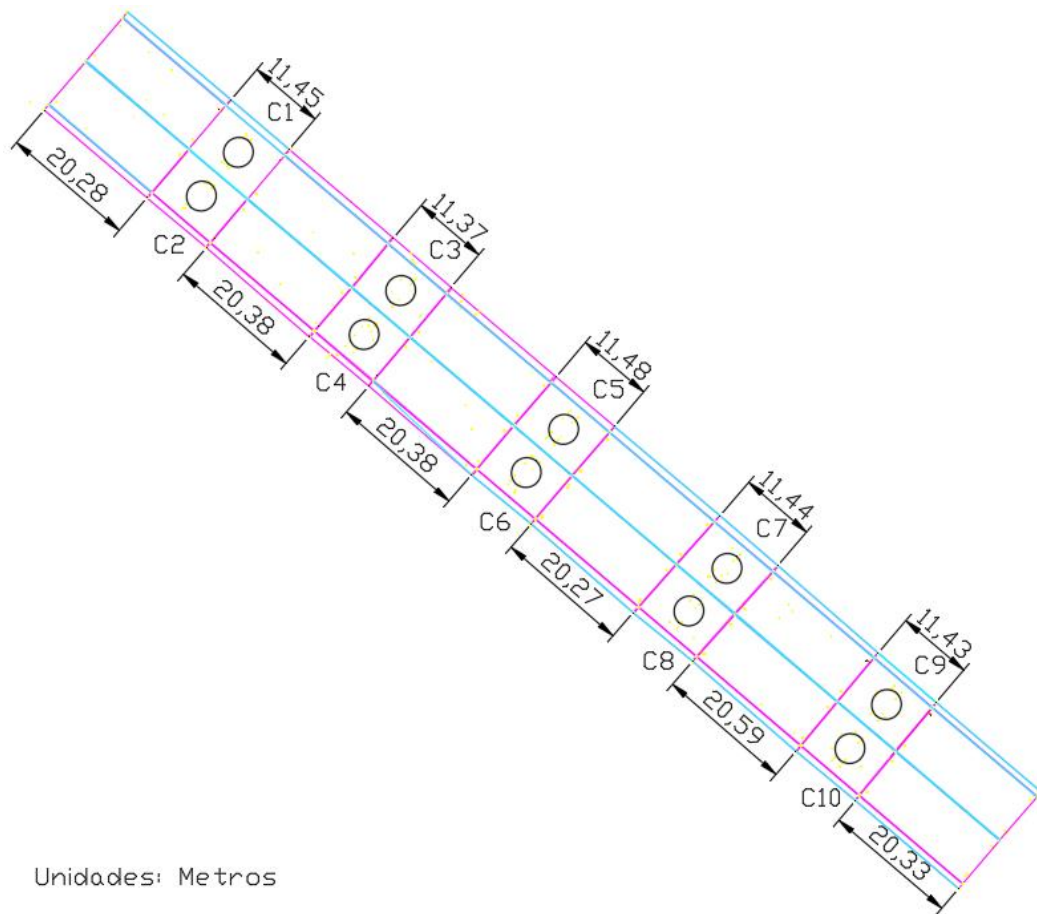
El uso de los sistemas CAD presenta varias ventajas entre las que se puede mencionar la velocidad en la elaboración del plano topográfico, eliminación de errores, mayor precisión y la obtención de un producto final más consistente y acabado (Pachas, 2009).

El software comercial que se utilizó fue AUTOCAD, el cual es un software de diseño asistido por computadora (CAD) en el cual se apoyan tanto arquitectos como ingenieros y profesionales de la construcción para crear dibujo preciso en 2D y 3D.

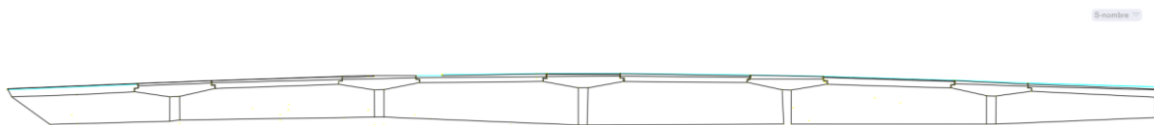
### **3.6 RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

En este apartado se muestran los distintos planos que se obtuvieron del levantamiento topográfico, como son la vista de planta del puente, vista lateral izquierda, vista lateral derecha, y vista en corte de las columnas (ver Figuras 3.6, 3.7, 3.8, y 3.9, respectivamente).

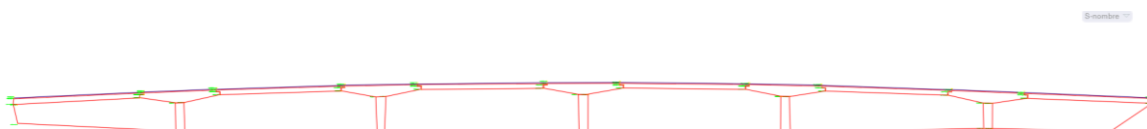
PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 3.6 VISTA EN PLANTA DE PUENTE JUÁREZ**

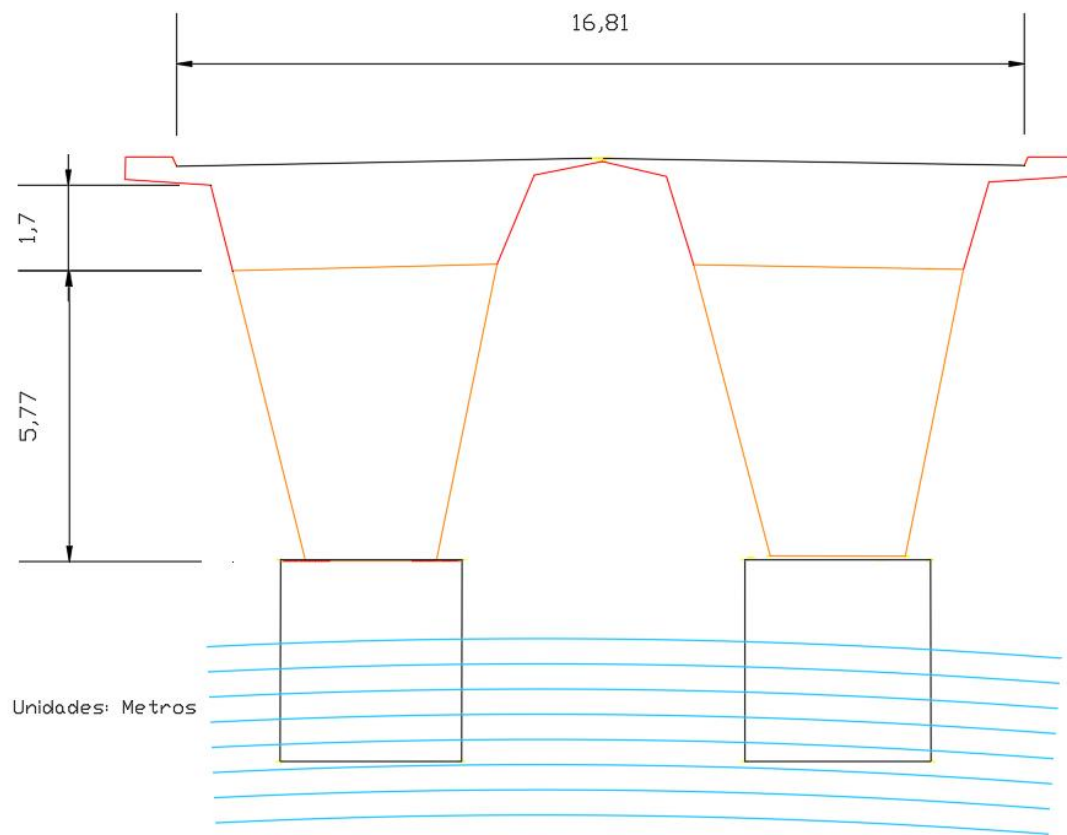


**FIG. 3.7 VISTA LATERAL IZQUIERDA CARRIL IZQUIERDO**



**FIG. 3.8 VISTA LATERAL DERECHA CARRIL DERECHO**

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 3.9** VISTA EN CORTE DE COLUMNAS CENTRALES

## **4 CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS DE CARGAS AASHTO**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se definen los tipos de cargas utilizados en el análisis, las cuales son: cargas muertas, cargas vivas, así como también sus factores de carga, y las combinaciones de cargas en donde estarán involucradas, así mismo, se explica de donde se obtienen y un proceso de cómo se calculan para aplicarlo al puente Juárez.

Después, se define la posición de las cargas vivas, a lo largo del puente, tanto para un camión de diseño como para un tándem de diseño. Se explica el concepto de líneas de influencia para obtener la posición más crítica de la carga de un camión de diseño.

Al final, se exponen diagramas donde se muestran las cuatro posibles condiciones críticas que podrán estar actuando sobre el puente, donde se observan las distancias a las cuales se están aplicando las cargas, la magnitud de las cargas calculadas, así como su orientación.

### **4.2 CARGAS Y DENOMINACIÓN DE CARGAS**

En las diferentes solicitudes que se deben considerar en el diseño y en la revisión de puentes se tienen, el peso propio, las cargas vivas, el impacto del frenado de los vehículos, el viento, el sismo, las cargas muertas adicionales.

Los valores de estas solicitudes están basado en datos experimentales y están definidos en normas o reglamentos que se usan para diseñar puentes, en esta investigación se usan las normas de AASHTO (*American Asociation of State Highway and Transportation Officials*).

#### **4.2.1 DEFINICIÓN DE CARGAS TRANSITORIAS**

Los automóviles son la carga viva vehicular más utilizada en puentes, pero el camión es aquel que causa los efectos más críticos en los puentes, si comparamos los efectos que producen los automóviles son insignificantes en comparación a los efectos que produce el camión, por lo tanto para el análisis del puente se utilizará una carga de camión.

A continuación se definirán las solicitaciones para cargas transitorias que se utilizaran para el análisis del puente Benito Juárez.

- LL: Sobrecarga Vehicular (AASHTO, 2017).
- IM: Incremento por carga vehicular dinámica (AASHTO, 2017).
- BR: Fuerza de frenado de los vehículos (AASHTO, 2017).

#### **4.2.2 DEFINICIÓN DE CARGAS PERMANENTES**

Las cargas permanentes, como su nombre lo indica, son aquellas que permanecen sobre el puente por un periodo largo, es decir, por toda la vida de servicio del puente.

A continuación se definirán las solicitaciones para cargas permanentes que se utilizaran para el análisis del puente Benito Juárez.

- DC: se denomina como el peso propio de los componente estructurales y accesorios no estructurales (AASHTO, 2017).
- DW: se denomina como el peso propio de las superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos (AASHTO, 2017).

### 4.3 FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES DE CARGA

En la Tabla 4.1 se muestran los factores de carga que se deben aplicar para las diferentes solicitaciones que componen una combinación de carga de diseño. Para esta investigación no se estudiaron todas las diferentes cargas que componen las combinaciones, si no las que se consideran más relevantes y aquellas que se pueden obtener para encontrar los desplazamientos verticales que el puente Juárez está presentando en la actualidad.

Cada combinación de carga, se debe multiplicar por su factor de carga correspondiente y por el factor de presencia múltiple si es que corresponde. Para las solicitaciones donde están involucradas las cargas permanentes se debe tomar el factor de carga que provoque la combinación de carga más crítica, para esto se tomarán los factores de carga de la Tabla 4.2.

**TABLA 4-1** COMBINACIONES DE CARGA Y FACTORES DE CARGA (AASHTO, 2017)

Load Combination Limit State	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use One of These at a Time				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Strength I (unless noted)	$\gamma_p$	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—	—
Strength II	$\gamma_p$	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—	—
Strength III	$\gamma_p$	—	1.00	1.00	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—	—
Strength IV	$\gamma_p$	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Strength V	$\gamma_p$	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—	—
Extreme Event I	1.00	$\gamma_{EQ}$	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—	—
Extreme Event II	1.00	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00	1.00
Service I	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—	—
Service II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Service III	1.00	$\gamma_{LL}$	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—	—
Service IV	1.00	—	1.00	1.00	—	1.00	1.00/1.20	—	1.00	—	—	—	—	—
Fatigue I— LL, IM & CE only	—	1.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fatigue II— LL, IM & CE only	—	0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

**TABLA 4-2 FACTORES DE CARGA PARA CARGAS PERMANENTES (AASHTO, 2017)**

Type of Load, Foundation Type, and Method Used to Calculate Downdrag		Load Factor	
		Maximum	Minimum
<i>DC</i> : Component and Attachments		1.25	0.90
<i>DC</i> : Strength IV only		1.50	0.90
<i>DD</i> : Downdrag	Piles, $\alpha$ Tomlinson Method	1.40	0.25
	Piles, $\lambda$ Method	1.05	0.30
	Drilled shafts, O'Neill and Reese (2010) Method	1.25	0.35
<i>DW</i> : Wearing Surfaces and Utilities		1.50	0.65
<i>EH</i> : Horizontal Earth Pressure			
• Active		1.50	0.90
• At-Rest		1.35	0.90
• <i>AEP</i> for anchored walls		1.35	N/A
<i>EL</i> : Locked-in Construction Stresses		1.00	1.00
<i>EV</i> : Vertical Earth Pressure			
• Overall Stability		1.00	N/A
• Retaining Walls and Abutments		1.35	1.00
• Rigid Buried Structure		1.30	0.90
• Rigid Frames		1.35	0.90
• Flexible Buried Structures			
○ Metal Box Culverts, Structural Plate Culverts with Deep Corrugations, and		1.50	0.90
Fiberglass Culverts		1.30	0.90
○ Thermoplastic Culverts		1.95	0.90
○ All others			
<i>ES</i> : Earth Surcharge		1.50	0.75

#### 4.3.1 ESTADOS LÍMITE

Las combinaciones de carga para los estados límites que se analizarán se describen a continuación.

Resistencia I.- Combinación de carga básica relacionada con el uso vehicular normal del puente sin viento (AASHTO, 2017).

Servicio I.- Combinación de carga relacionada con el uso operacional normal del puente con un viento de 70 mph y todas las cargas tomadas a sus valores nominales (AASHTO, 2017).

Fatiga I.- Combinación de fatiga y carga de fractura relacionada con la vida de fatiga inducida por carga infinita. El factor de carga para la combinación de carga de Fatiga I, aplicado a un camión de diseño único con el espacio entre ejes especificado, refleja los niveles de carga que se consideran representativos del rango de tensión máxima de la población del camión para un diseño de vida útil de fatiga infinita (AASHTO, 2017).

Por lo tanto, las combinaciones de carga que se aplicarán al puente para poder simular sus desplazamientos quedarían de la siguiente manera.

- Resistencia I.-  $1.2DC + 1.5DW + 1.75LL + 1.75IM + 1.75BR$
- Servicio I.-  $1.0DC + 1.0DW + 1.0LL + 1.0IM + 1.0BR$

#### 4.4 CARGAS PERMANENTES (CARGAS MUERTAS)

Como se mencionó anteriormente las cargas permanentes deberán incluir el peso propio de todos los componentes de la estructura, por lo tanto, las cargas se obtienen de la siguiente manera.

DC será calculada por el software comercial SAP2000, al introducir la geometría del puente y el material del cual está compuesto.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

DW al ser la superficie de rodamiento (Bituminous Wearing Surface) asfalto, se considera que el puente tiene una superficie de 15 cm de espesor y utilizando la Tabla 4.3, obtendremos la carga distribuida en el puente.

Calculo de peso de superficie de rodamiento.

$$0.14 \text{ Kcf} = 140 \text{ lb/ft}^3 \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$140 \text{ lb/ft}^3 = 2242.5844 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Multiplicando el peso volumétrico del asfalto por el grosor de este, se obtiene la carga por metro cuadrado que se colocará en el puente para su análisis.

$$DW = 2242.5844 \text{ kg/m}^3 \times 0.15 \text{ m} = 336.387 \text{ kg/m}^2 \quad \text{Ecuación 3.3}$$

**TABLA 4-3 PESOS UNITARIOS (AASHTO, 2017)**

Material		Unit Weight (kef)
Aluminum Alloys		0.175
Bituminous Wearing Surfaces		0.140
Cast Iron		0.450
Cinder Filling		0.060
Compacted Sand, Silt, or Clay		0.120
Concrete	Lightweight	0.110 to 0.135
	Normal Weight with $f'_c \leq 5.0 \text{ ksi}$	0.145
	Normal Weight with $5.0 < f'_c \leq 15.0 \text{ ksi}$	$0.140 + 0.001 f'_c$
Loose Sand, Silt, or Gravel		0.100
Soft Clay		0.100
Rolled Gravel, Macadam, or Ballast		0.140
Steel		0.490
Stone Masonry		0.170
Wood	Hard	0.060
	Soft	0.050
Water	Fresh	0.0624
	Salt	0.0640
Item		Weight per Unit Length (klf)
Transit Rails, Ties, and Fastening per Track		0.200

## 4.5 CARGAS TRANSITORIAS (CARGAS VIVAS)

### 4.5.1 SOBRECARGAS VEHICULAR

La sobrecarga vehicular de diseño fue sustituida en 1993 debido a que se presentaron camiones más pesados en las carreteras, y porque se exigió una carga estadísticamente más representativa, para lograr un “nivel de seguridad constante”. La carga representativa que fue encontrada fue adoptada por la AASHTO y llamada HL 93 o “*Highway Load 93*” por sus siglas en inglés. A este modelo se le denominó “*Ideal*” porque no es su intención representar ningún tipo de camión en particular.

#### 4.5.1.1 FACTOR DE PRESENCIA MÚLTIPLE

Los factores de presencia múltiple son ajustes de diseño que consideran la probabilidad de que más de un carril este cargado simultáneamente, para lo cual se utilizará la Tabla 4.4.



**TABLA 4-4 FACTORES DE PRESENCIA MÚLTIPLE**

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

Los factores de presencia múltiples se aplicarán a la solicitud del camión de diseño HL-93, y a la fuerza de frenado (BR).

#### **4.5.2 SOBRECARGA VEHICULAR DE DISEÑO**

##### **4.5.2.1 REQUISITOS DE APLICACIÓN**

La sobrecarga vehicular de diseño que se coloca sobre la calzada de un puente a la cual se le llama HL 93 deberá de estar compuesta por una combinación de:

- Camión de Diseño o Tándem de diseño.
- Carga de Carril de Diseño.

Cada carril de diseño deberá de estar ocupado ya sea por un camión de diseño y carril de diseño o un tándem de diseño y un carril de diseño, para esto la carga de carril de diseño se asumirá que ocupa un espacio de 3000 mm dentro de un carril de diseño(AASHTO, 2017). El camión del diseño sustituye al típico semi-trailer para carreteras de 20 ton (HS20-44) adoptado por AASHO (ahora AASHTO) en 1944 y usado en las anteriores especificaciones Estándar, el actual camión de diseño tiene una carga de 35 kilo-newton (kN) en el eje delantero y separado a 4.30 metros se encuentra el segundo eje con una carga de 145 kilo-newton (kN), el tercer eje está a una distancia que varía entre 4.30 a 9.0 m con un carga de 145 kilo-newton (kN).

##### **4.5.2.2 CAMIÓN DE DISEÑO**

Las cargas y las separaciones entre cada eje y las ruedas del camión de diseño deberán ser como se especifican en la Figura 4.1, al camión de diseño se le deberá considerar un incremento por carga dinámica (IM), y el factor de presencia múltiple, para lo cual la separación entre los ejes de 145,000 N deberá ser aquella que produzca la solicitud extrema.

Para los fines de esta investigación se tomó una separación de 4300 mm, esta distancia nos da la solicitud más grande.

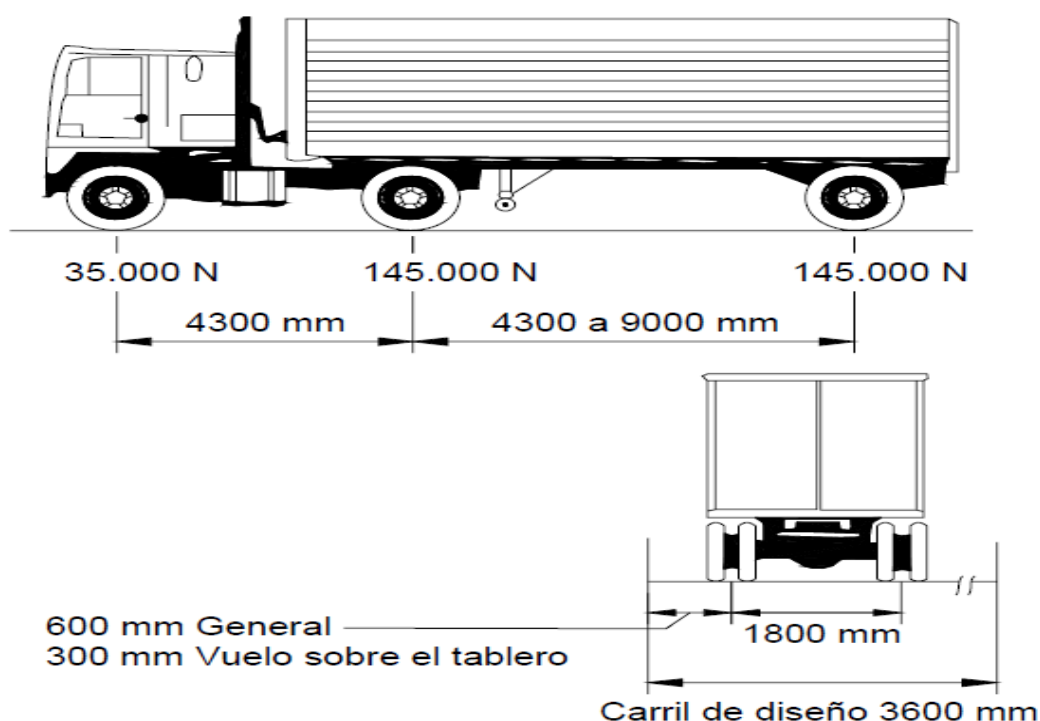


FIG. 4.1 CARACTERÍSTICAS DEL CAMIÓN DE DISEÑO

#### 4.5.2.3 TÁNDEM DE DISEÑO

El tándem de diseño consistirá en un par de ejes de 110,000 N con una separación de 1200 mm (AASHTO, 2017). La separación transversal de las ruedas se deberá tomar como 1800 mm, (ver Figura 4.2), al tándem de diseño se deberá considerar un incremento por carga dinámica (IM) y el factor de presencia múltiple (m).

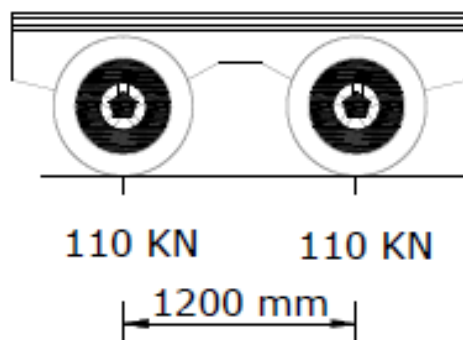


FIG. 4.2 CARACTERÍSTICAS DE TÁNDEM DE DISEÑO

#### 4.5.2.4 CARGA DEL CARRIL DE DISEÑO

La carga del carril de diseño consistirá en una carga de 9,3 N/mm, distribuida uniformemente en dirección longitudinal. Transversalmente, se supondrá que la carga del carril de diseño está distribuida en un ancho de 3000 mm (AASHTO, 2017), (ver Figura 4.3). La carga de carril de diseño no se le aplicará incremento por carga dinámica.

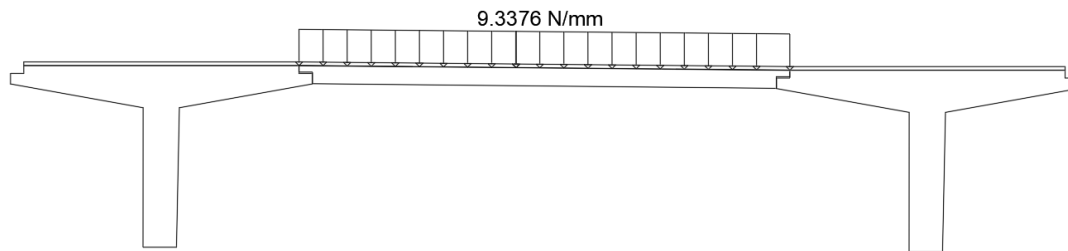


FIG. 4.3 CARGA DE CARRIL DE DISEÑO

#### 4.5.3 APLICACIÓN DE SOBRECARGA VEHICULAR DE DISEÑO

La sollicitación extrema por sobrecarga vehicular, se tomará como el mayor de los siguientes casos.

- La sollicitación debida a un camión de diseño con la separación variable entre ejes, combinada con la sollicitación debida a la carga del carril de diseño como se especifica en la (Figura 4.4).

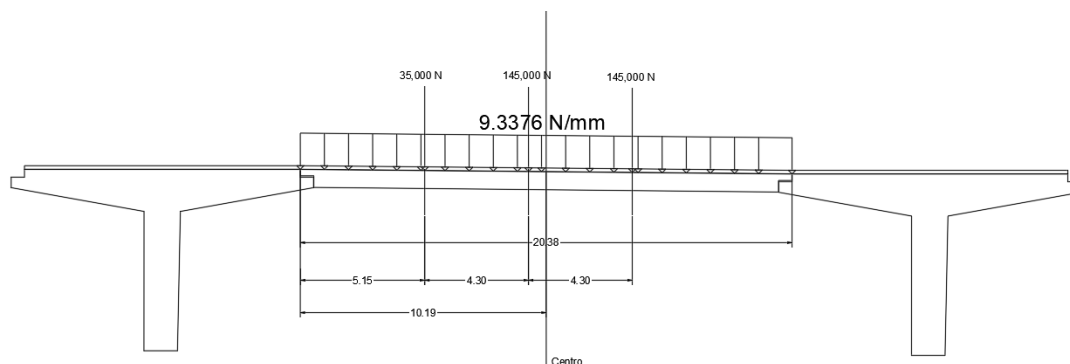


FIG. 4.4 COMBINACIÓN DE CAMIÓN DE DISEÑO MÁS CARRIL DE DISEÑO

- La sollicitación debida al tándem de diseño combinada con la sollicitación debida a la carga del carril de diseño como se especifica en la (Figura 4.5).

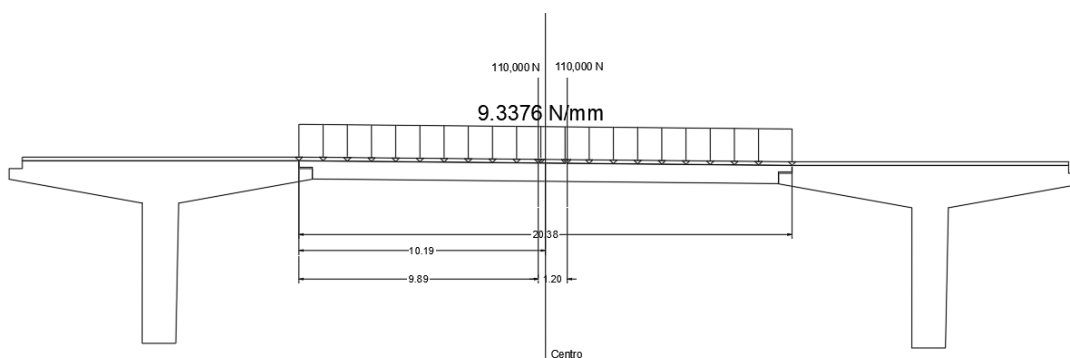


FIG. 4.5 COMBINACIÓN DE TÁNDEM DE DISEÑO MÁS CARRIL DE DISEÑO

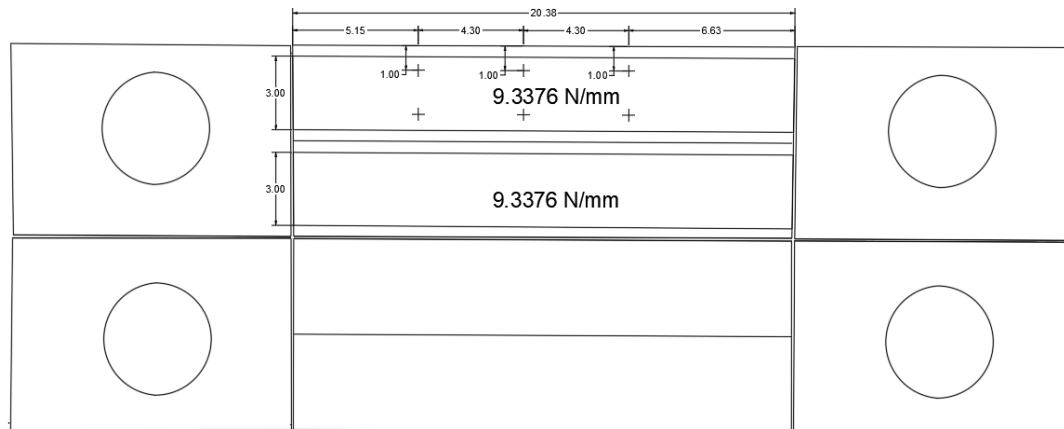
El camión o tándem de diseño, se deberá ubicar transversalmente de manera que ninguno de los centros de las cargas de rueda esté a menos de:

- Para el diseño del vuelo del tablero colocarse a 300 mm a partir de la cara del cordón o barandal.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

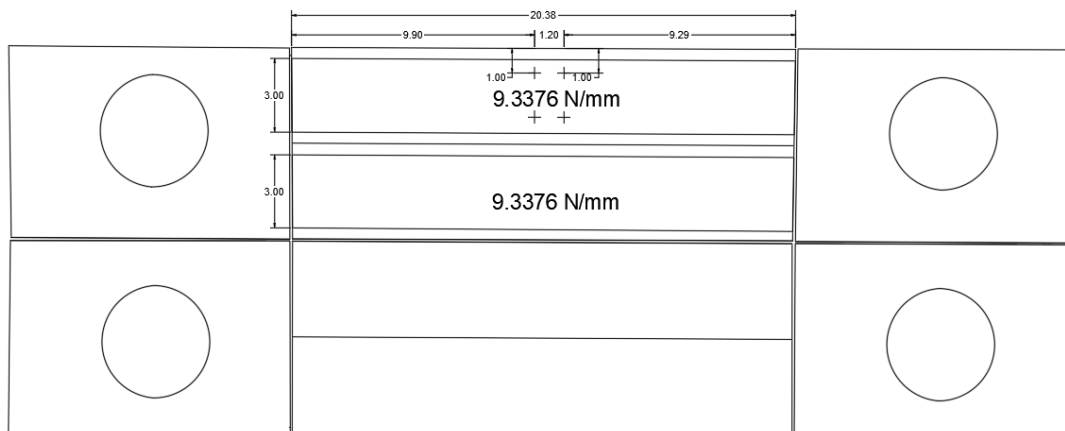
- Para el diseño de todos los demás componentes colocarse a 600 mm a partir del borde del carril de diseño.

Para los fines de este proyecto se ubicaron las cargas del camión de diseño a una distancia de un metro del borde del puente, como se especifican en la Figura 4.6, respetando lo dicho anteriormente.



**FIG. 4.6** CARGAS DE CAMIÓN DE DISEÑO COLOCADAS TRANSVERSALMENTE

Para los fines de este proyecto se ubicaron las cargas del tándem de diseño a una distancia de un metro del borde del puente, como se especifican en la Figura 4.7, respetando lo dicho anteriormente.



**FIG. 4.7** CARGA DE TÁNDEM DE DISEÑO COLOCADAS TRANSVERSALMENTE

Como mencionamos al principio de este apartado, es necesario encontrar la posición de donde aplicaremos las cargas ya sean del tándem de diseño o el camión de diseño, donde estas hagan la solicitud más crítica, es decir se presente el mayor momento.

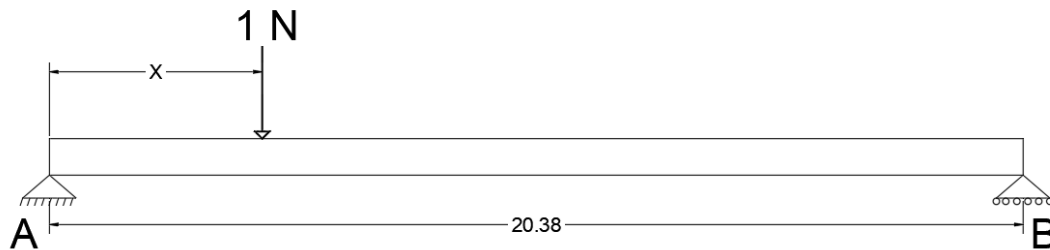
Para lograr esto aplicaremos el concepto de líneas de influencia para lo cual aplicaremos las cargas del camión de diseño en el centro del claro de 20.38 m y posteriormente lo aplicaremos en la posición de la resultante y compararemos donde se encuentra el momento mayor. Dos definiciones de líneas de influencia se presentan a continuación.

**Definición 1:** Una línea de influencia es la expresión gráfica de la variación de un esfuerzo en relación a una carga móvil unitaria desplazándose sobre una estructura.

**Definición 2:** Una línea de influencia es una función continua sobre el tablero de un puente cuyo valor en un punto, multiplicado por una carga actuando perpendicularmente al tablero en dicho punto, permite obtener la sollicitación deseada. Por lo tanto hay una línea de influencia para cada esfuerzo o deformación de la estructura y para cada carga móvil distinta que actúe sobre ella.

**CASO 1.- Aplicando la carga del camión de diseño en el centro del claro y utilizando línea de influencia del momento flector en el centro del claro de 20.38 metros.**

**PASO 1:** Como primer paso calcularemos la línea de influencia para el momento central para el claro de losa del puente de 20.38 metros con dos apoyos y una carga puntual unitaria a una distancia “x” como se muestra en la Figura 4.8.



**FIG. 4.8** LOSA DEL PUENTE CON UNA CARGA UNITARIA A UNA DISTANCIA X

**PASO 2:** Como segundo paso calculamos la reacción A, realizando una suma de momentos en el apoyo B.

$$\sum M_B = 0; M + \curvearrowright$$

$$-RA(20.38) + 1(20.38 - X) = 0 \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$RA = \frac{20.38 - X}{20.38} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

**PASO 3:** Como tercer paso calculamos el momento en el centro del claro y dibujamos la línea de influencia para el momento en el centro.

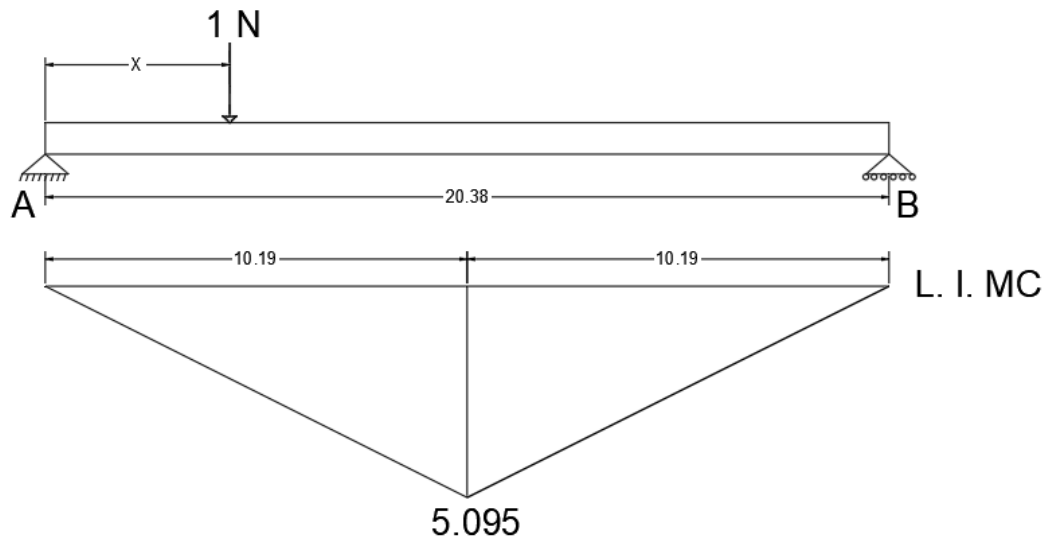
$$\sum M_{\text{Centro}} = 0; M + \curvearrowright$$

$$MC - \left[ \frac{20.38 - X}{20.38} \right] (10.19) + 1(10.19 - X) = 0 \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$MC = \left[ \frac{20.38 - X}{20.38} \right] (10.19) - 1(10.19 - X) \quad \text{Ecuación 3.7}$$

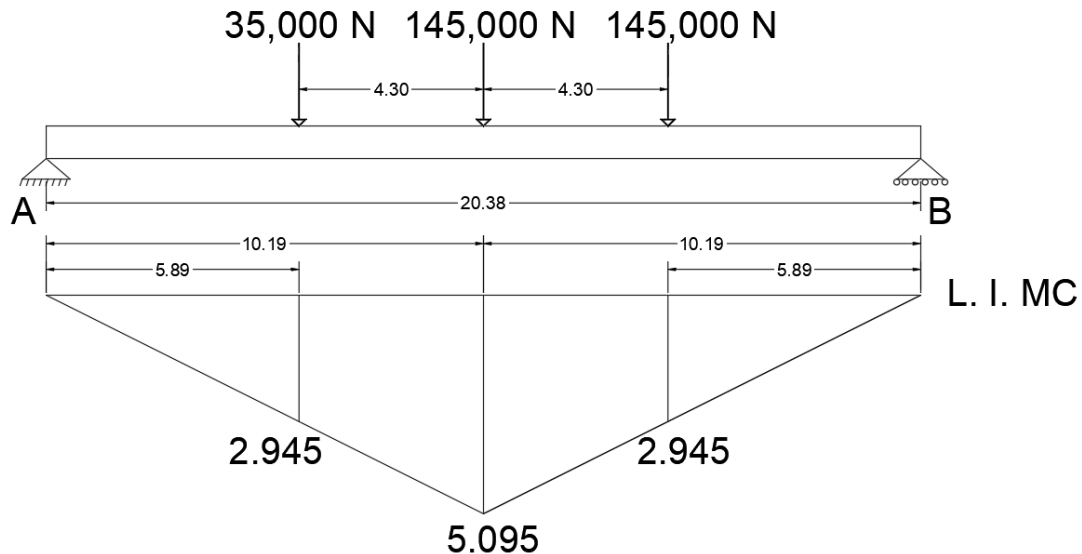
Dibujo de Línea de influencia para momento en el centro del claro se muestran en la Figura 4.9.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 4.9** LÍNEA DE INFLUENCIA DEL MOMENTO EN EL CENTRO EL CLARO DEL PUENTE

**PASO 4:** Como cuarto paso se procede a colocar las cargas del camión de diseño en centro del claro y se calcula el momento máximo que estas provocan, mediante la aplicación del concepto de líneas de influencia como se muestra en la Figura 4.10.



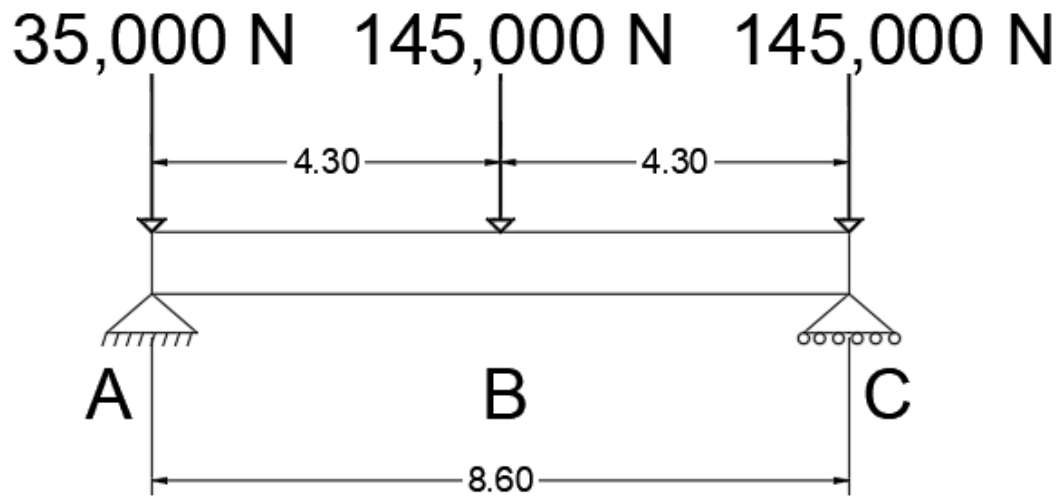
**FIG. 4.10** APLICACIÓN DE CARGAS DE CAMIÓN DE DISEÑO EN EL CENTRO DEL CLARO DEL PUENTE

Por lo tanto, el momento máximo en el centro del claro es:

$$M_{\max} = (35,000 \text{ N}) (2.945 \text{ M}) + (145,000 \text{ N}) (5.095 \text{ M}) + (145,000 \text{ N}) (2.945 \text{ M}) \text{ Ecuación 3.8}$$

$$M_{\max} = 1,268,875.00 \text{ N-M}$$

**CASO 2.- Aplicando la carga del camión de diseño, mediante el cálculo de la posición de la resultante y haciendo momentos en el eje c, ver Figura 4.11.**



**FIG. 4.11** APLICACIÓN DE CARGA DE CAMIÓN DE DISEÑO PARA CÁLCULO DE RESULTANTE

**PASO 1:** Como primer paso se calcula la resultante de las tres cargas y calculamos su posición resultante realizando una suma de momentos en A. ver Figura 4.12.

$$\text{Resultante} = 35,000 \text{ N} + 145,000 \text{ N} + 145,000 \text{ N} = 325,000 \text{ N} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

$$\sum M_A = 0; \quad M + \curvearrowright$$

$$-145,000 \text{ N} \times (4.30 \text{ m}) - 145,000 \text{ N} \times (8.60 \text{ m}) + M = 0 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

$$M = 1,870,500.00 \text{ N-M}$$

$$M = (\text{Resultante}) (X) \quad \text{Ecuación 3.11}$$

$$X = \frac{M}{\text{Resultante}} = \frac{1,870,500}{325,000} = 5.76 \text{ metros} \quad \text{Ecuación 3.12}$$



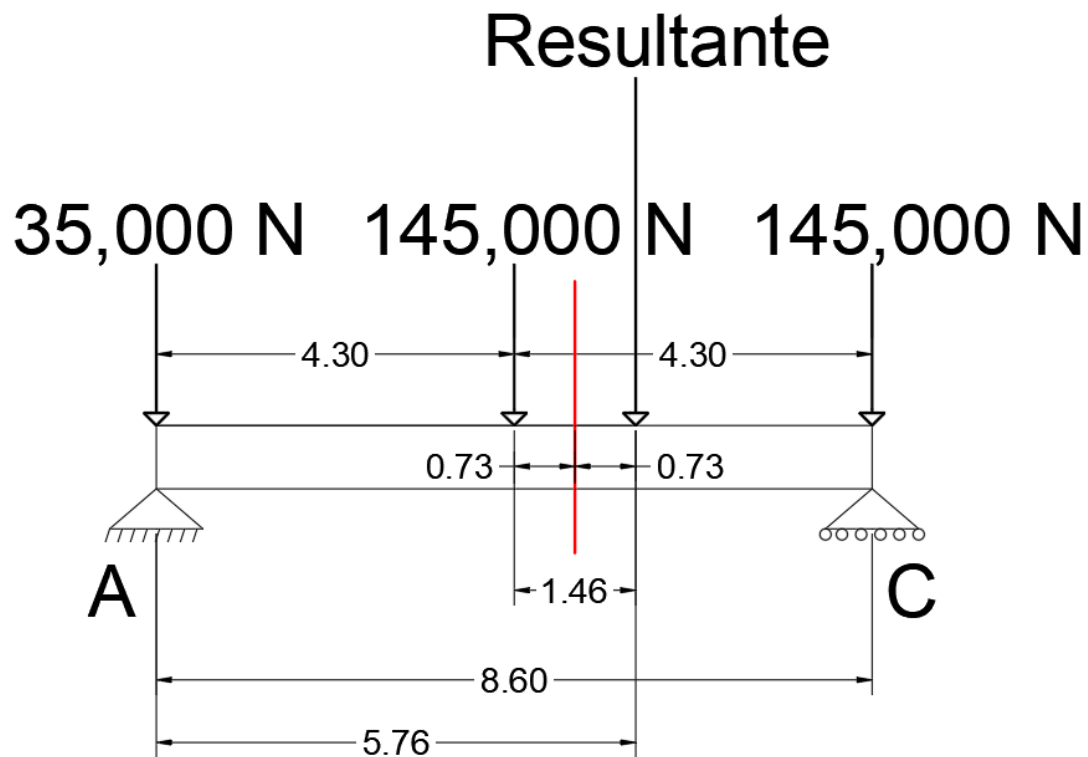


FIG. 4.12 POSICIÓN DE LA RESULTANTE

**PASO 2:** Como segundo paso se toma la distancia que hay entre la resultante y la reacción más próxima a ella, la cual es de 1.46 m, la cual se dispone en dos partes iguales y se coloca en el centro del claro del puente, como se observa en la Figura. 4.13.

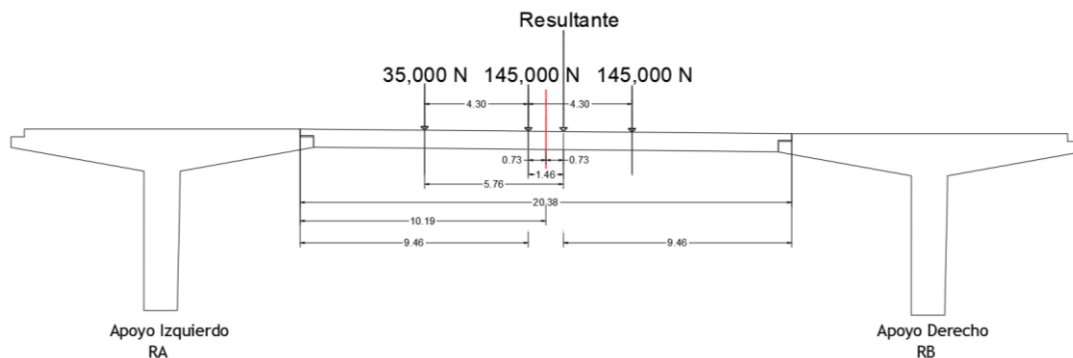


FIG. 4.13 POSICIÓN DE LAS CARGAS DE CAMIÓN DE DISEÑO

El momento máximo ocurrirá debajo de la carga más cercana a la resultante, por lo tanto ocurrirá a la distancia de  $X=9.46$  metros desde el apoyo RA.

**PASO 3:** Como tercer paso se calcula las reacción RA con la resultante y realizando suma de momentos en el apoyo RB.

$$\sum M_B = 0; \quad M + \curvearrowright$$

$$-RA(20.38) + R(9.46) = 0$$

Ecuación 3.13

$$RA = 150,858.39 \text{ N}$$

**PASO 4:** Ahora como último paso procedemos a calcular el momento a la distancia de  $X=9.46$ , en este lugar es donde se presentara el momento máximo.

$$\sum M_{X=9.46}=0; \quad M+ \curvearrowright$$

$$(M_{X=9.46}) - 150,858.69(9.46 \text{ m}) + 35,000(4.3) = 0 \quad \text{Ecuación 3.14}$$

$$M = 1,276,626.207 \text{ N-M}$$

Realizando una comparación de los momentos obtenidos cuando se aplicó la carga del camión de diseño en el centro del claro y al aplicarla mediante la posición de la resultante, obtenemos que se obtiene un momento mayor en el segundo caso, como conclusión, en lo que corresponde a esta investigación, las cargas se aplicaron calculando la posición de la resultante es decir una distancia de 0.73 metros del centro del claro cuando corresponda.

#### 4.5.4 CARGA DE FATIGA

Para las cargas de fatiga las especificaciones de AASHTO consideran un camión de diseño, con una separación constante de 9000 mm entre los ejes de 145.000 N, un factor de carga de 1.75 y un incremento por carga dinámica de 15 % (AASHTO, 2017).

#### 4.6 INCREMENTO POR CARGA DINÁMICA (IM)

Los efectos dinámicos son provocados por los vehículos en movimiento y eso se atribuye a:

- El efecto de martilleo, que es la respuesta dinámica del conjunto de la rueda frente a la discontinuidad de la superficie de rodamiento, tales como juntas de tableros, baches y fisuras (AASHTO, 2017).
- La respuesta dinámica del puente en su totalidad frente a los vehículos que lo atraviesan, la cual se puede deber a ondulaciones del pavimento de la carretera, tales como las provocadas por el asentamiento del relleno, o a la excitación resonante como resultado de la similitud de frecuencias de vibración del puente y el vehículo (AASHTO, 2017).

El incremento por carga dinámica (IM) se toma de la Tabla 4.5 el cual es un incremento que se aplica a la carga de rueda estática para considerar el impacto provocado por las cargas de las ruedas de los vehículos en movimiento.

**TABLA 4-5 INCREMENTO POR CARGA DINÁMICA (IM)**

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

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

El factor a aplicar a las cargas estáticas se deberá de tomar como  $(1 + \frac{IM}{100})$ , este incremento por carga dinámica no se aplicara a la carga de carril de diseño.

#### 4.7 FUERZA DE FRENADO

La fuerza de frenado según AASHTO (2017), se deberá tomar como el mayor de los siguientes valores:

- El 25 por ciento de los pesos por eje del camión de diseño o tándem de diseño.
- El 5 por ciento del camión de diseño más la carga del carril o 5 por ciento del tándem de diseño más la carga del carril.

La fuerza de frenado se deberá de colocar en todos los carriles de diseño que estén cargados, se asumirá que esta fuerza actúa horizontalmente a una distancia de 1800 mm sobre la superficie de la calzada. A la cual se le aplicaran los factores de presencia múltiple.

$$BR_{\text{Camión}} = (0.25) (35,000 + 145,000 + 145,000) \times 1 \text{ carril} \times 1.2 = \mathbf{97,500 \text{ N}}$$

$$BR_{\text{Camión}} = (0.25) (35,000 + 145,000 + 145,000) \times 2 \text{ carriles} \times 1.0 = \mathbf{162,500 \text{ N}}$$

$$BR_{\text{Camión}} = ((0.05) [(35,000 + 145,000 + 145,000) + (9.3376 \text{ N/MM})(20380 \text{ MM})]) \times 1 \text{ carril} \times 1.2 = 30,918 \text{ N}$$

$$BR_{\text{Camión}} = ((0.05) [(35,000 + 145,000 + 145,000) + (9.3376 \text{ N/MM})(20380 \text{ MM})]) \times 2 \text{ carriles} \times 1.0 = 55,130 \text{ N}$$

$$BR_{\text{Tándem}} = (0.25) (110,000 + 110,000) \times 1 \text{ carril} \times 1.2 = \mathbf{66,000 \text{ N}}$$

$$BR_{\text{Tándem}} = (0.25) (110,000 + 110,000) \times 2 \text{ carril} \times 1.0 = \mathbf{110,00 \text{ N}}$$

$$BR_{\text{Tándem}} = ((0.05) [(110,000 + 110,000) + (9.3376 \text{ N/MM})(20380 \text{ MM})]) \times 1 \text{ carril} \times 1.2 = 24,618 \text{ N}$$

$$BR_{\text{Tándem}} = ((0.05) [(110,000 + 110,000) + (9.3376 \text{ N/MM})(20380 \text{ MM})]) \times 2 \text{ carriles} \times 1.0 = 41030 \text{ N}$$

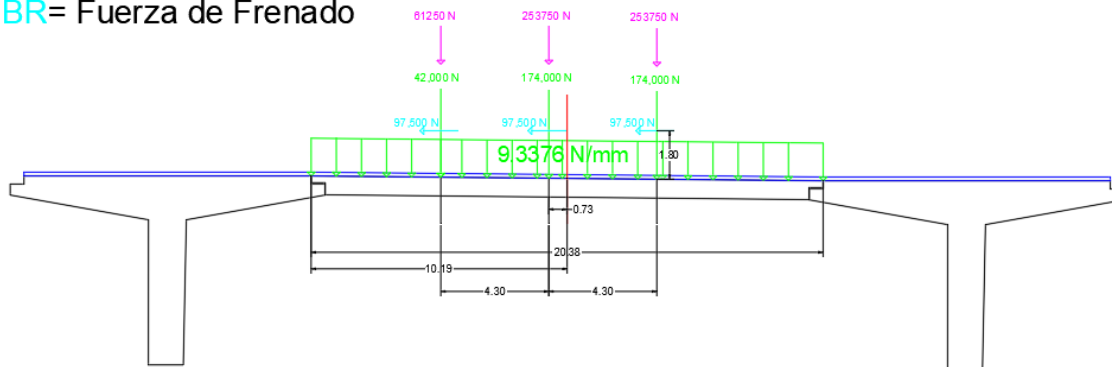
#### 4.8 DIAGRAMAS DE APLICACIÓN DE LAS CARGAS

En este apartado se muestran los diagramas de cómo están colocadas las cargas, del camión de diseño, del tándem de diseño, carril de diseño, los incrementos por carga dinámica y la fuerza de frenado (ver Figuras 4.14, 4.15, 4.16, y 4.17, respectivamente).

**LL** = Carga de Carril de Diseño (9.3376 N/mm) + Carga de Camión de Diseño (x1.2)

**IM** = Incremento por Carga Dinámica (1+75%/100)

**BR** = Fuerza de Frenado

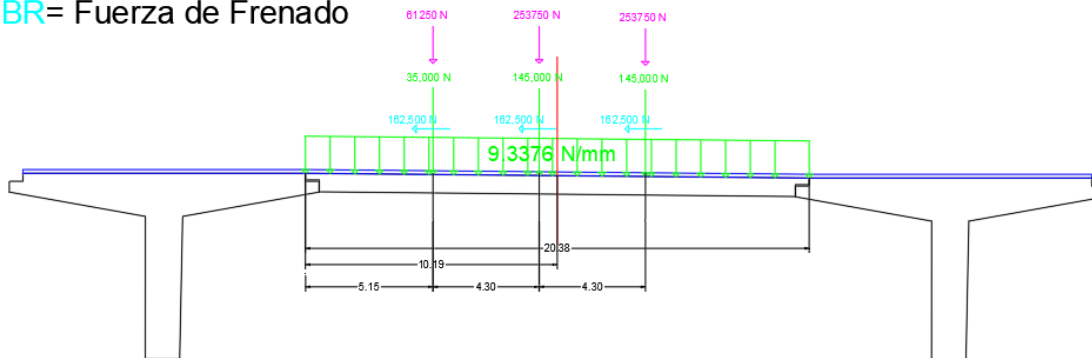


**FIG. 4.14** DISTRIBUCIÓN DE CARGAS DE UN CAMIÓN DE DISEÑO PARA UN SOLO CARRIL CARGADO

**LL** = Carga de Carril de Diseño (9.3376 N/mm) + Carga de Camión de Diseño (x1.0)

**IM** = Incremento por Carga Dinámica (1+75%/100)

**BR** = Fuerza de Frenado



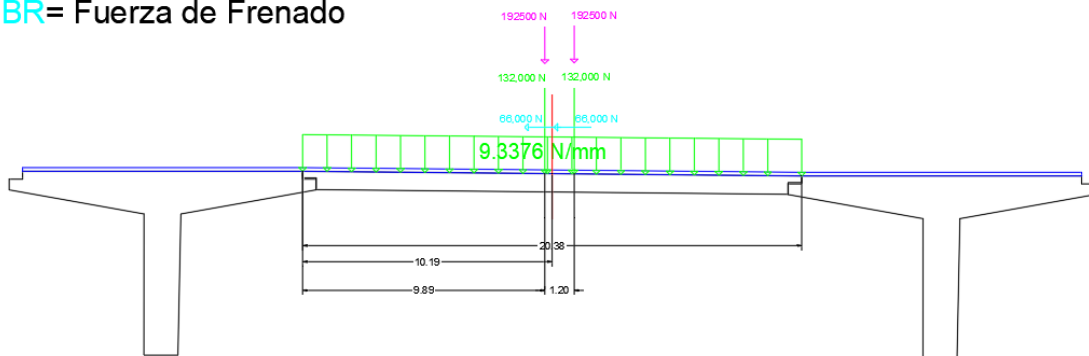
**FIG. 4.15** DISTRIBUCIÓN DE CARGAS DE UN CAMIÓN DE DISEÑO PARA DOS CARRILES CARGADOS

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

**LL** = Carga de Carril de Diseño (9.3376 N/mm) + Carga de Tandem de Diseño (x1.2)

**IM** = Incremento por Carga Dinámica (1+75%/100)

**BR**= Fuerza de Frenado

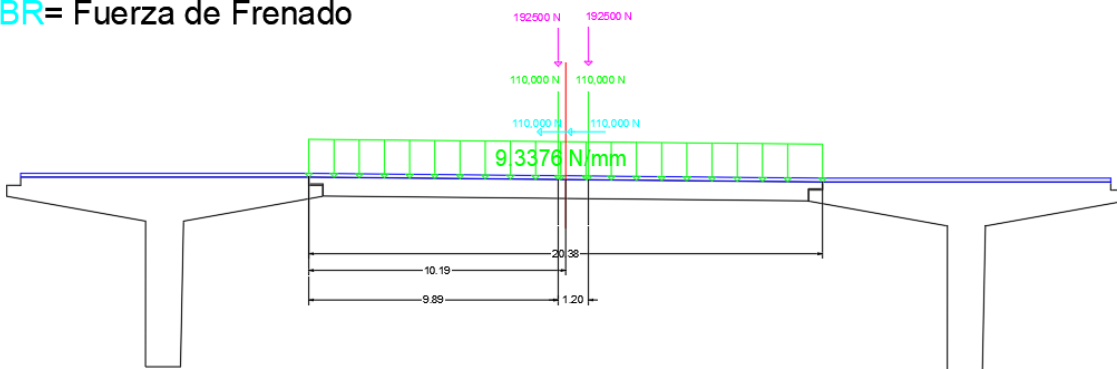


**FIG. 4.16** DISTRIBUCIÓN DE CARGAS DE UN TÁNDEM DE DISEÑO PARA UN SOLO CARRIL CARGADO

**LL** = Carga de Carril de Diseño (9.3376 N/mm) + Carga de Tandem de Diseño (x1.0)

**IM** = Incremento por Carga Dinámica (1+75%/100)

**BR**= Fuerza de Frenado



**FIG. 4.17** DISTRIBUCIÓN DE CARGAS DE UN TÁNDEM DE DISEÑO PAR DOS CARRILES CARGADOS

## 5 CAPÍTULO 5.- MODELO ANALITICO DEL PUENTE JUÁREZ

### 5.1 INTRODUCCIÓN

El modelo estructural del puente Juárez realizado en SAP2000 es creado siguiendo una secuencia lógica con cada uno de los pasos de la modelación. Con fines de simplificación de esta investigación, solo se analiza la parte central de puente Juárez, ya que se considera que en este lugar es donde se presentan los mayores desplazamientos verticales. Por lo tanto, se modelarán las columnas marcadas en rojo, la parte superior de la columna marcada en azul, y la losa central marcada en verde, como se muestra en la Figura 5.1.

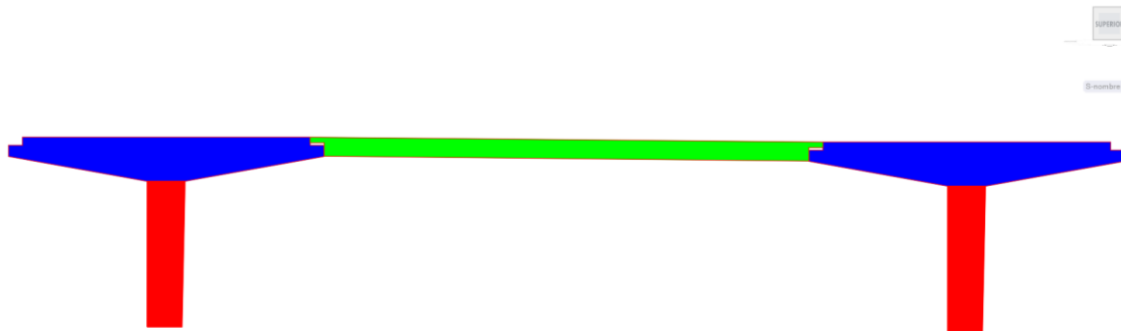


FIG. 5.1 SECCIONES A MODELAR DE PUENTE JUÁREZ

### 5.2 UNIDADES

En el software comercial SAP2000, es indispensable como primer paso seleccionar las unidades en las que se va a trabajar, las unidades colocadas no son definitivas ya que en el transcurso del modelado se pueden cambiar, para los fines de este proyecto se empezó a trabajar con (N, M) (ver Figura 5.2), estas unidades son en las que están dadas las cargas que se vieron en el Capítulo 4 y las distancias del levantamiento topográfico del Capítulo 3.

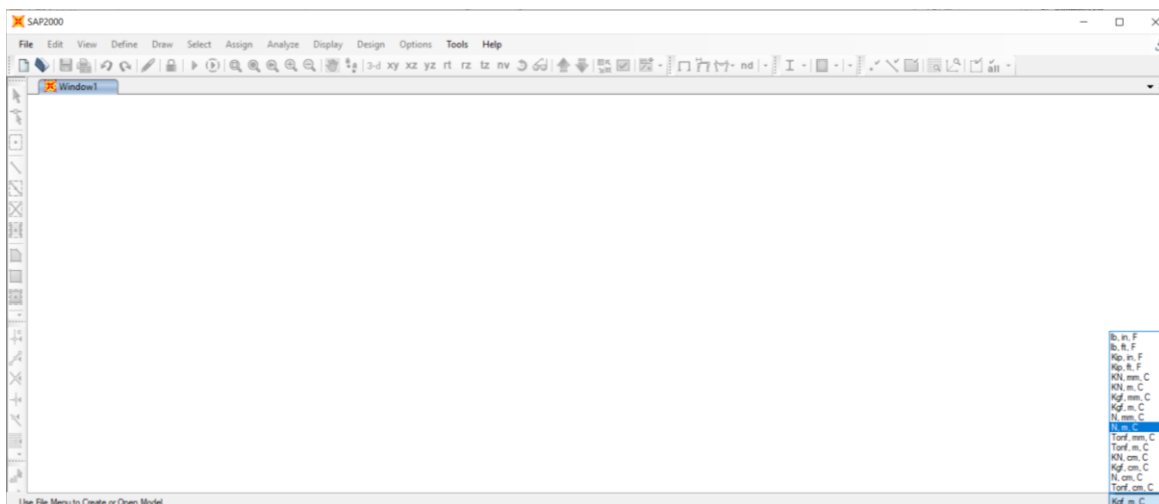


FIG. 5.2 ASIGNACIÓN DE UNIDADES

### 5.3 GEOMETRÍA DE MODELO

Empleando las herramientas de “Draw” de SAP2000, y mediante los “Grid”, se crea un modelo del sistema estructural del puente Juárez, lo más parecido a la realidad, para fines de

## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

esta investigación. Para lograr construir dicho modelo estructural, se llegó a la decisión de modelarlo mediante la herramienta de dibujo “Area”, con esta herramienta es más fácil dibujar las geometrías del puente ya que este cuenta con dimensiones y áreas irregulares, es decir no son secciones ya predefinidas.

Una vez completado lo anterior, se procede a definir las áreas que se utilizarán, con las herramientas “Define” y “Area Section”, en esta parte se definen las tres secciones tipo área, en las cuales se asigna el grosor del área, el tipo del área (*Shell – Thick*) para áreas gruesas, el cual representa el material del cual está compuesto el concreto. En este sentido, las áreas a definir son: el área de losa, el área de columna, el área de columna-losa (ver Figuras 5.3, 5.4, y 5.5, respectivamente).

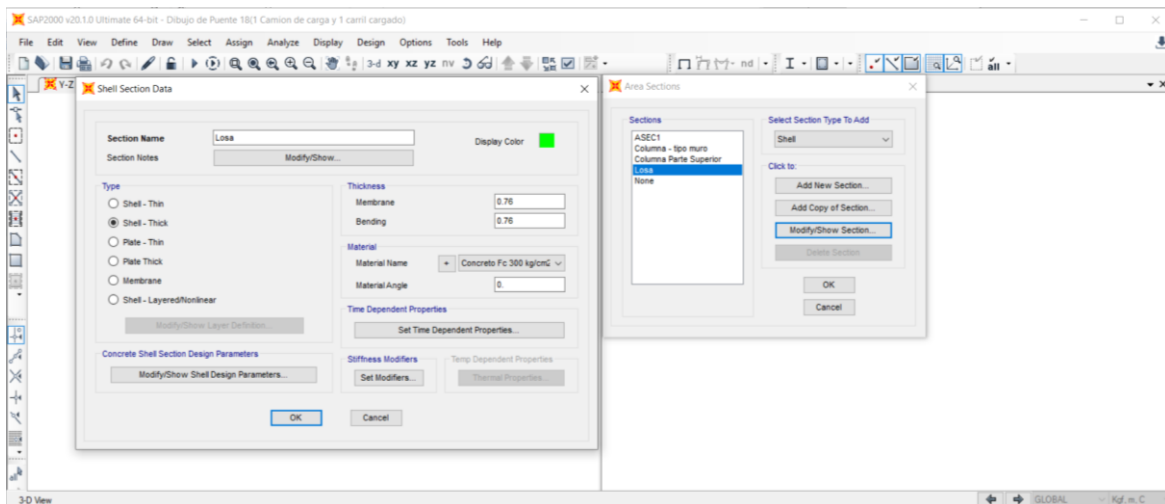


FIG. 5.3 DEFINICIÓN DE ÁREA DE LOSA

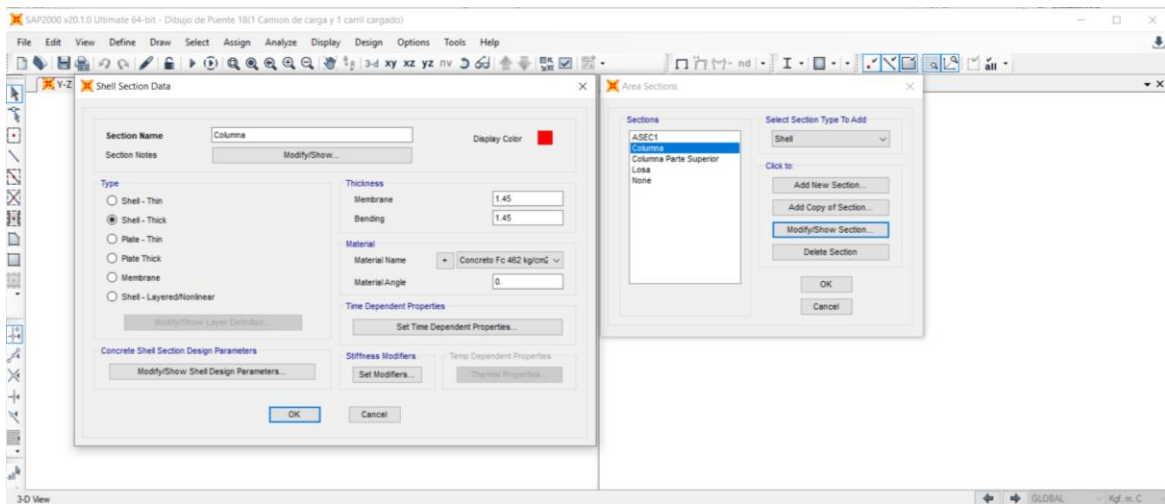
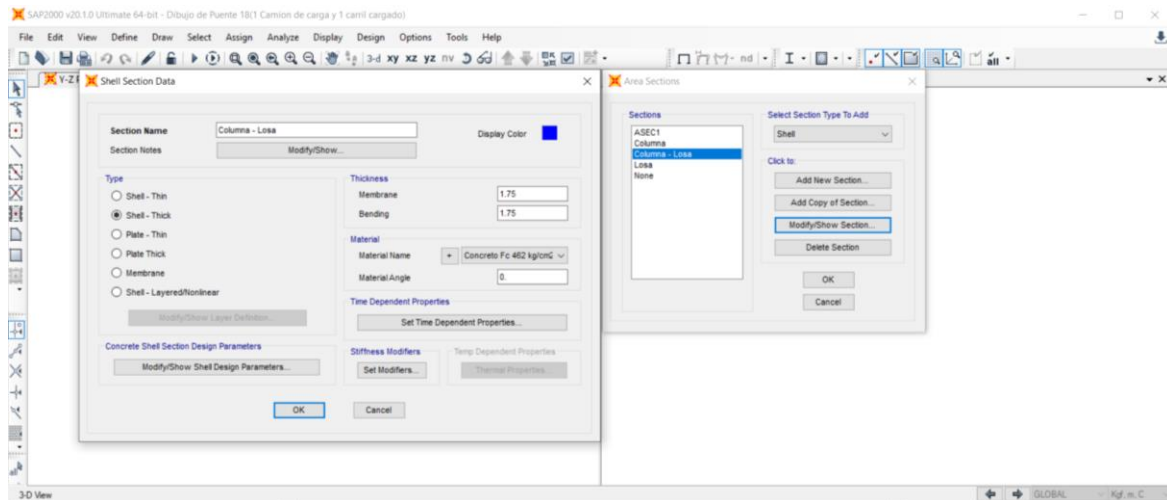


FIG. 5.4 DEFINICIÓN DE ÁREA DE COLUMNA

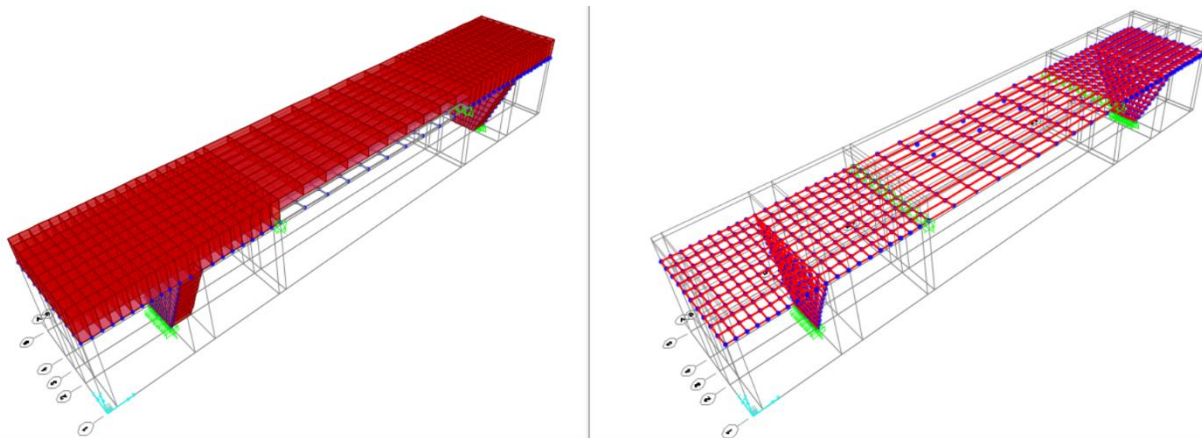


## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 5.5** DEFINICIÓN DE ÁREA DE COLUMNAS

Una vez definidas los tipos de secciones área, se procede a dibujar la geometría del puente, empezando con la columnas, posteriormente la columna – losa, y finalmente la losa central (ver Figura 5.6).



**FIG. 5.6** DIBUJO DEL MODELO DE PARTE CENTRAL DEL PUENTE JUÁREZ CARRIL IZQUIERDO

Para lograr más precisión al realizar el análisis, se decidió dividir las áreas en áreas más pequeñas, mediante la herramienta “Edit”, “Edit Area”, y “Divide Areas”. Entonces, se dividieron las áreas en 10 partes iguales en ambos sentidos, cuidando que al dividirse coincidieran los nodos tanto de la losa con la losa-columna y las columnas inferiores. Al dividir las áreas en áreas más pequeñas se obtendrán resultados más precisos ya que el software aplicará las ecuaciones de elementos finitos a cada área simultáneamente.

Por último, en la unión de la losa con la parte superior de la columna, se le asignó una restricción a los nodos que las conectan, mediante la herramienta “Join”, “restraints”, se restringieron las traslaciones en dirección 3 (es decir Z) con lo que la parte superior de la columna no transmitirá rotaciones en ningún sentido (X, Y, Z), ni traslaciones en dirección 1 y 2 (X y Y), solo transmitirá cargas en dirección 3 (Z), con esto simularemos que la losa esta simplemente apoyada en la parte superior de la columna.

### 5.3 DEFINICIÓN DE MATERIALES

Se define el material con el cual están compuestas las áreas dibujadas, mediante las herramientas “*Define*” y “*Materials*”. También, con dichos comandos se asignan las propiedades mecánicas de los materiales. Sabemos que el puente Juárez, está hecho de concreto reforzado colado *in situ*, pero lo que no se sabe es la resistencia del concreto y el refuerzo longitudinal y transversal de acero que tiene la estructura. Para conocer el refuerzo y la resistencia del concreto se solicitaron los planos estructurales al Departamento de Obras Públicas del H. Ayuntamiento de Culiacán, y al departamento de Obras Públicas del Estado de Sinaloa mediante la Plataforma Nacional de Transparencia, a lo cual ambos departamentos se declararon que son incompetentes para proporcionar la información solicitada (ver Figuras 5.7 y 5.8, respectivamente).

Que una vez analizadas las solicitudes de información citadas precedentemente, esta Unidad de Transparencia del Ayuntamiento de Culiacán, Sinaloa, **se declara incompetente para proporcionar la información requerida**, se arriba a la conclusión de que la **Secretaría de Obras Públicas del Estado de Sinaloa** y la Secretaría de Administración y Finanzas del Estado de Sinaloa son los competentes para proporcionar la información solicitada en virtud de que dichas Secretarías establecen las bases y normas para la celebración de contratos de construcción, conservación y de obras públicas en general en las que intervenga el Gobierno del Estado. Mismas que aparece en los listados de los sujetos obligados por la Plataforma Nacional de Transparencia INFOMEX-SINALOA, bajo la clave PE05300 y PE04900, siendo estos sujetos obligados que debe de contar con la información requerida.

En consecuencia a lo anterior expuesto y fundado esta Unidad de Transparencia del Municipio de Culiacán **se declara incompetente para proporcionar la información requerida**.

FIG. 5.7 PARTE DE CARTA DE DECLARACIÓN H. AYUNTAMIENTO DE CULIACAN

Bajo ese tenor y tras una búsqueda exhaustiva, diligente y razonable en los archivos y registros que obran en la Dirección de Estudios y Proyectos de esta Secretaría Obras Públicas, le informo que no se encontraron documentos relacionados con *"los planos arquitectónicos, planos estructurales de puente Benito Juárez, que se ubica en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, que cruza el rio Tamazula y conecta el Boulevard Xicoténcatl y la Avenida las Américas. Así como la información de su construcción, empresa que lo construyo, el fallo de esta obra, y cualquier información que se tenga."* por lo que, la información que solicita, es inexistente.

FIG. 5.8 PARTE DE CARTA DE DECLARACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS DEL ESTADO DE SINALOA

Por lo tanto, al no contar con los planos estructurales se procedió a realizar un ensayo para conocer la resistencia del concreto, el cual consiste en la estimación de la resistencia a la compresión mediante un dispositivo manual denominado “Esclerómetro” o Martillo de Schmidt, en los elementos estructurales de concreto reforzado que se desee. El muestreo se llevó a cabo mediante la Norma Oficial Mexicana NMX-C192-ONNCE-2006, y se aplicó

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

para conocer la resistencia de las columnas, para la cual se obtuvo una resistencia a la compresión  $F'C = 462 \text{ kg/cm}^2$  (ver Figura 5.9).

OBRA:	PUENTE BENITO JUAREZ		
AREA:	COLUMNA C-4		
ESTRUCTURA:	COLUMNA	F'c:	-----
TIPO DE CONCRETO:	-----	TIRO:	-----
T.M.A.:	-----	FECHA:	11/09/2019
DISPOSITIVO:	ESCLEROMETRO		
ESCLEROMETRO MUESTRA_C-4_			
N.-	LECTURA	N.-	LECTURA
1	46	2	57
3	48	4	52
5	51	6	51
7	46	8	46
9	48	10	46
11	46	12	58
13	48	14	55
15	46	16	51
17	46	18	48
19	46	20	57
NOMENCLATURA	ELEMENTO	INDICE DE REBOTE	ESFUERZO KG/CM²
C-4	COLUMNA	47.8	462

**FIG. 5.9 PRUEBA CON ESCLERÓMETRO**

La resistencia a la compresión de la losa se tomará con un  $F'C = 300 \text{ kg/cm}^2$ , al no realizarse prueba de esta, ya que no se contaba con el equipo deseado. De igual manera no fue posible obtener el refuerzo de varilla que tiene el puente Juárez, por lo que se tomará el refuerzo que arroje el programa SAP2000 para realizar el análisis.

Como se mencionó anteriormente al inicio de este apartado, se asignarán las propiedades mecánicas del concreto, para la losa y las columnas, los datos son los siguientes.

- Peso volumétrico del concreto :  $2.4 \text{ Ton/m}^3$
- Módulo de elasticidad :  $E_c = 4800\sqrt{f'c} \text{ (Mpa)}$  (AASHTO, 2017) Ecuación 4.1
 

$F'c = 300 \text{ kg/cm}^2 = 29.42 \text{ Mpa}$  Ecuación 4.2

$E_c = 4800\sqrt{29.42} = 26035.29 \text{ (Mpa)}$  Ecuación 4.3

$\text{Dónde: } 1 \text{ kg/cm}^2 = 0.0980665 \text{ Mpa}$

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

$$E_c = \frac{26035.29}{0.0980665} = 265486.166 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} - \text{Para concreto } F'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$$

Ecuación 4.4

$$F'_c = 462 \text{ kg/cm}^2 = 45.31 \text{ Mpa}$$

Ecuación 4.5

$$E_c = 4800\sqrt{45.31} = 32310.10 \text{ (Mpa)}$$

Ecuación 4.6

$$\text{Dónde: } 1 \text{ kg/cm}^2 = 0.0980665 \text{ Mpa}$$

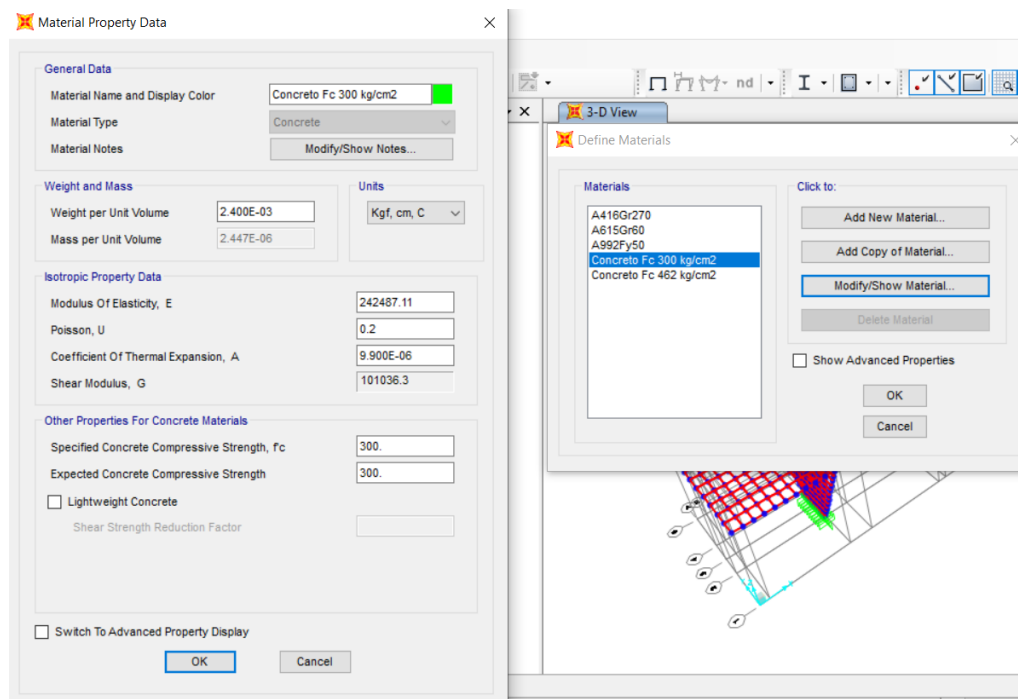
Ecuación 4.7

$$E_c = \frac{32310.10}{0.0980665} = 329471.30 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} - \text{Para concreto } F'_c = 462 \text{ kg/cm}^2$$

Ecuación 4.8

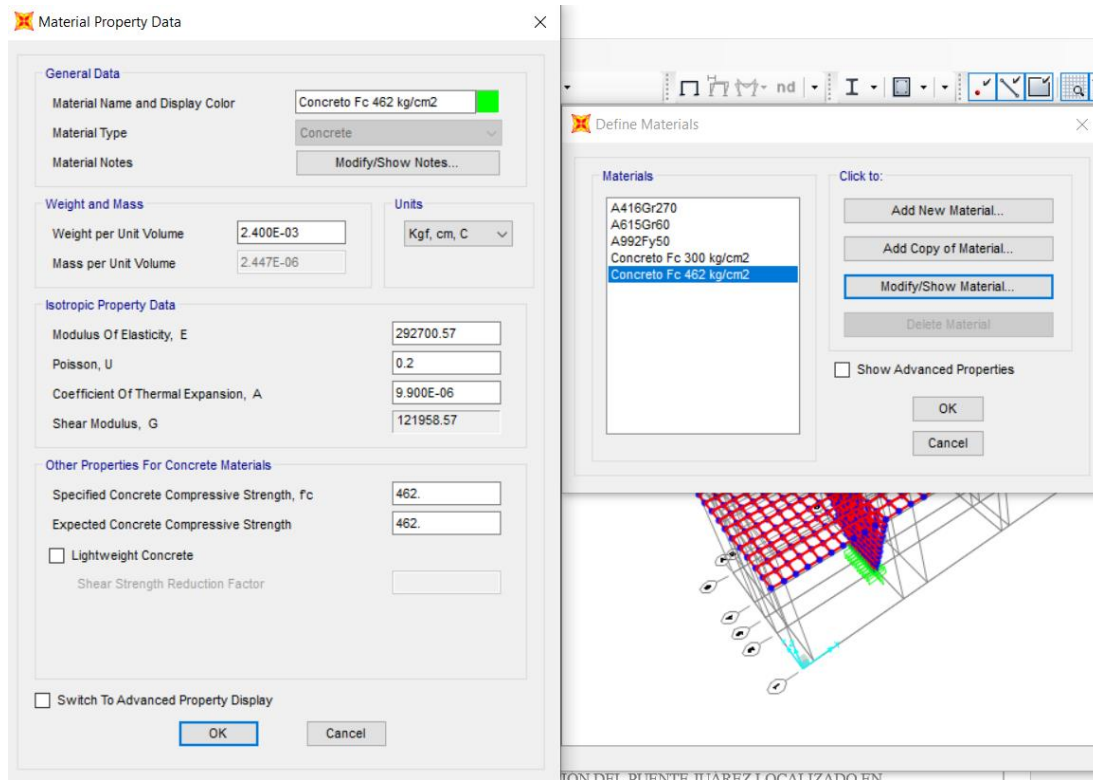
- Módulo de Poisson : 0.2 (AASHTO, 2017)

Una vez tenemos las propiedades de los materiales, se procede a colocarlos en el Software comercial SAP2000, como se muestran en las Figuras 5.10 y 5.11, respectivamente.



**FIG. 5.10** PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO  $F'_c = 300 \text{ KG/CM}^2$  PARA LOSA

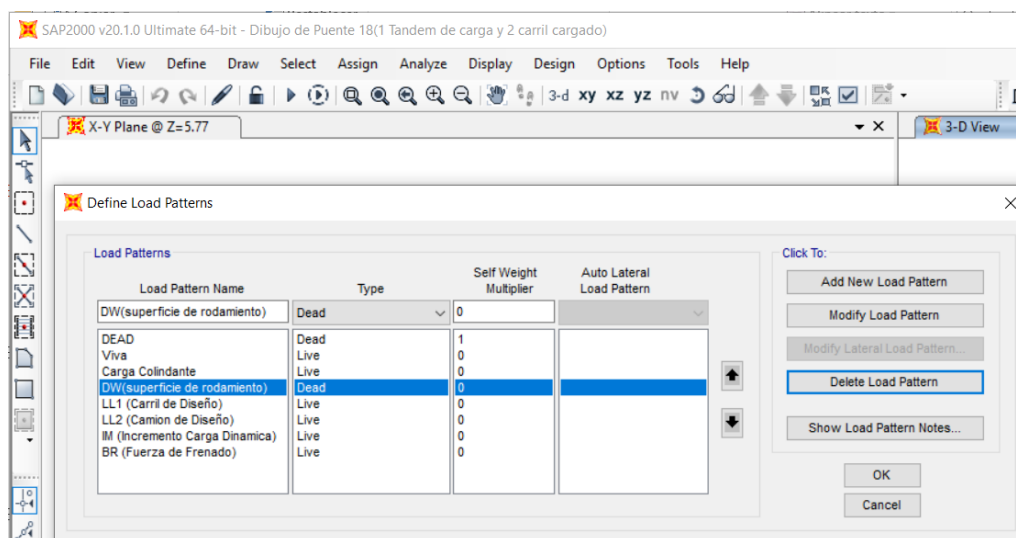
## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 5.11** PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO  $F'_c = 462 \text{ KG/CM}^2$  PARA COLUMNAS

### 5.4 MODELACIÓN DE CARGAS

Las cargas a definir en el modelo son las que se calcularon en el Capítulo 4, se asignan mediante el comando “*Define Load Patterns*”. Dicho comando asigna nombre a la carga, el tipo de carga y un valor de multiplicador de peso propio, que para carga muerta sería 1, el cual indica que tomará el peso propio de esta carga, y para todas las demás cargas un valor de 0, es decir que no tomará el peso propio de estas cargas (ver Figura 5.12).

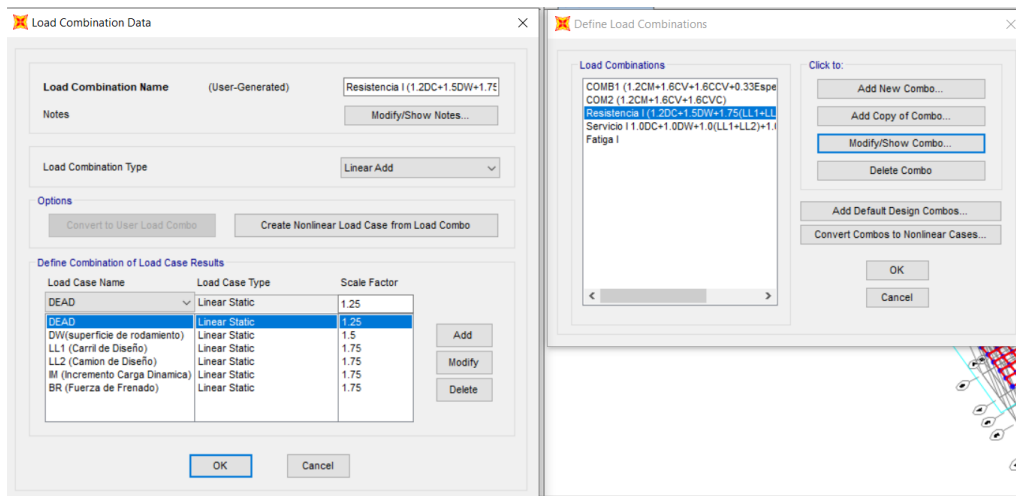


**FIG. 5.12** DEFINICIÓN DE PATRONES DE CARGA

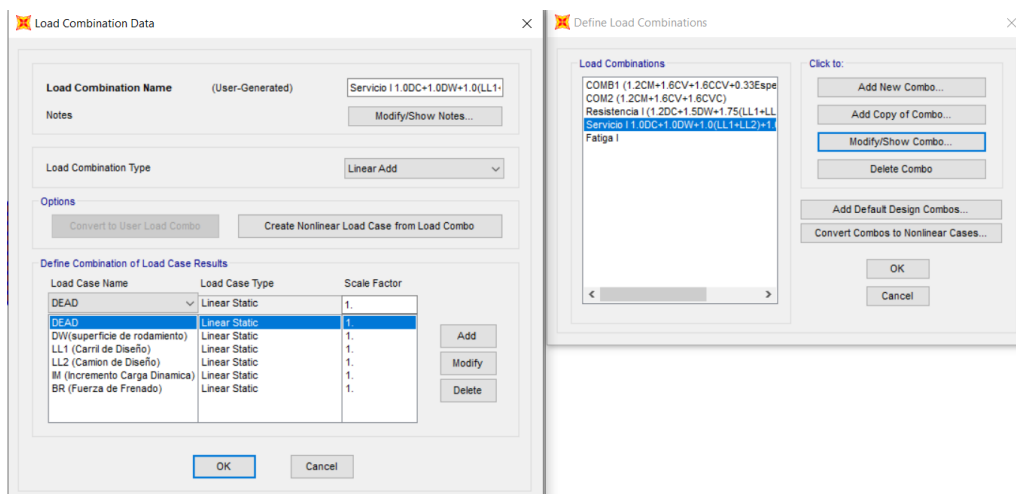


## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Una vez definido los patrones de carga se procede a definir las combinaciones de carga con el comando “*Load Combinations*”. Estas combinaciones representan los estados límites que se describieron en el Capítulo 4 (ver Figuras 5.13, 5.14 y 5.15, respectivamente).



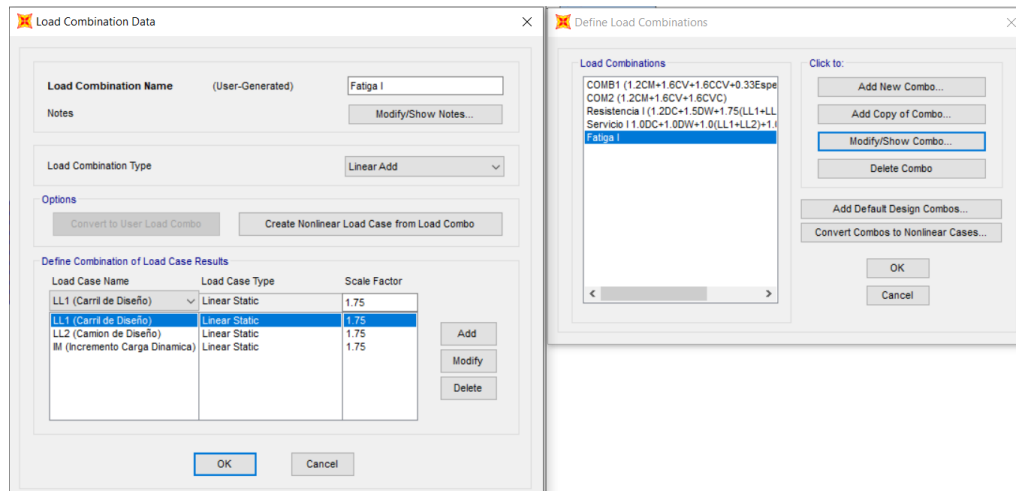
**FIG. 5.13** COMBINACIÓN DE CARGA DE RESISTENCIA I



**FIG. 5.14** COMBINACIÓN DE CARGA DE SERVICIO I



## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 5.15** COMBINACIÓN DE CARGA DE FATIGA

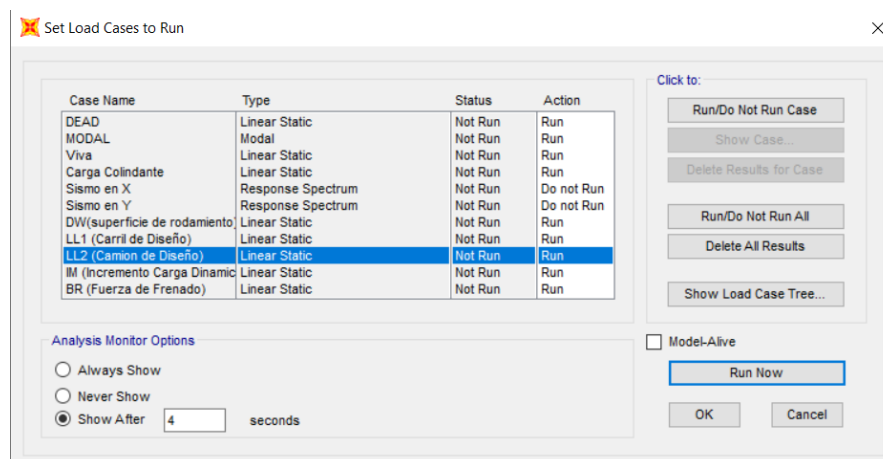
Se continúa con la colocación de las cargas, para esto se utiliza la herramienta “Assing”, “Joint Loads”, y “Force” para colocar las cargas puntuales las cuales son:

- El camión de diseño o tándem (LL).
- El incremento por carga dinámica (IM).
- La fuerza de frenado (BR).

Para colocar las cargas distribuidas como son las cargas de carril de diseño y la superficie de rodamiento se utilizan los comandos “Assing”, “Area Loads”, “Uniform to Frame”. Las cargas se colocan en la posición que se especificó en el Capítulo 4 de este documento, tanto para un camión de diseño como para un tándem de diseño.

### 5.5 TIPO DE ANÁLISIS

El análisis a ejecutar es estático lineal, el cual calcula los desplazamientos y las deformaciones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas. Para iniciar con el análisis se selecciona la herramienta “Analyze” y luego “Run Analysis”. Después, se seleccionan las cargas y combinaciones de carga que se desean aplicar al modelo (ver Figura 5.16).



**FIG. 5.16** CASOS DE CARGA A ANALIZAR

## 6 CAPÍTULO 6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 DESPLAZAMIENTOS

Una vez modelada la estructura y asignadas todas las cargas y propiedades que se consideran en la evaluación estructural del puente Juárez, se realiza el análisis estático lineal en el software SAP2000, donde se obtendrán los desplazamientos máximo verticales de la losa del puente.

#### 6.1.1 DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON UN CAMIÓN DE DISEÑO Y UN CARRIL CARGADO

Para obtener el desplazamiento vertical de la losa del puente se aplicaron las cargas de la Figura 4.14 del Capítulo 4, y se muestran bajo la combinación de carga de Servicio I, ya que esta es la que se encarga de deflexiones y deformaciones.

Citando el reglamento AASHTO (2017), la deflexión máxima en puentes para carga vehicular en general es igual a la Longitud/800. Es decir, para el análisis de la losa central del puente Juárez se tiene una longitud de 2038 cm. Por lo tanto, la deflexión máxima permitida es de:

$$\text{Deflexión máxima} = \frac{2038 \text{ cm}}{800} = 2.5475 \text{ cm.}$$

En este sentido, los resultados del análisis estructural del puente Juárez se muestran en la Tabla 6.1. Dichos resultados se pueden observar ordenados de mayor a menor los cuales corresponden a los desplazamientos de la losa central del puente.

Donde:

- U1 = Desplazamiento en dirección X en centímetros
- U2 = Desplazamiento en dirección Y en centímetros
- U3 = Desplazamiento en dirección Z en centímetros

**TABLA 6-1 DESPLAZAMIENTO EN LOS NODOS (CM)**

Nodo	Combinación de Carga	U1	U2	U3
		cm	cm	cm
1221	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.016	-0.184	-2.163
1220	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.001	-0.168	-2.065
1232	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.221	-0.173	-2.015
13	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.108	-0.182	-2.001
1219	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.002	-0.168	-1.970
1210	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.254	-0.166	-1.967
1231	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.201	-0.159	-1.923
1218	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.000	-0.158	-1.879
1209	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.253	-0.152	-1.878
1230	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.193	-0.157	-1.834
14	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.096	-0.163	-1.793
1208	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.241	-0.153	-1.792
1217	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.001	-0.159	-1.790
1229	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.185	-0.150	-1.748

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

1207	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.231	-0.143	-1.709
1216	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.011	-0.147	-1.704
1228	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.178	-0.149	-1.664
1206	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.218	-0.144	-1.629
1215	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.010	-0.132	-1.626
1227	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.180	-0.139	-1.583
1243	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.414	-0.132	-1.566
1214	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.008	-0.116	-1.556
15	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.358	-0.143	-1.555
1205	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.199	-0.132	-1.551
1226	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.174	-0.126	-1.509
1213	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.007	-0.100	-1.496
1242	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.402	-0.124	-1.495
1199	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.413	-0.124	-1.485
1204	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.189	-0.119	-1.481
1212	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.006	-0.085	-1.444
1225	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.169	-0.112	-1.443
1241	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.383	-0.127	-1.425
1203	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.181	-0.105	-1.419
1198	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.386	-0.119	-1.418
1211	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.005	-0.070	-1.401
16	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.322	-0.135	-1.388
1224	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.165	-0.097	-1.384
1202	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.175	-0.092	-1.364
1240	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.367	-0.119	-1.357
1197	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.372	-0.115	-1.352
1223	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.162	-0.083	-1.334
1201	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.170	-0.079	-1.316
1222	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.160	-0.070	-1.291
1196	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.354	-0.112	-1.289
1239	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.348	-0.124	-1.288
1200	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.167	-0.067	-1.275
1195	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.340	-0.105	-1.228
1238	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.328	-0.114	-1.222
1194	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.328	-0.098	-1.171
1237	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.314	-0.103	-1.161
1193	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.314	-0.090	-1.119
1236	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.302	-0.092	-1.107
1192	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.301	-0.081	-1.071
1235	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.292	-0.082	-1.059
7	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.425	-0.105	-1.044
1191	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.291	-0.074	-1.028
1234	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.285	-0.073	-1.015

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

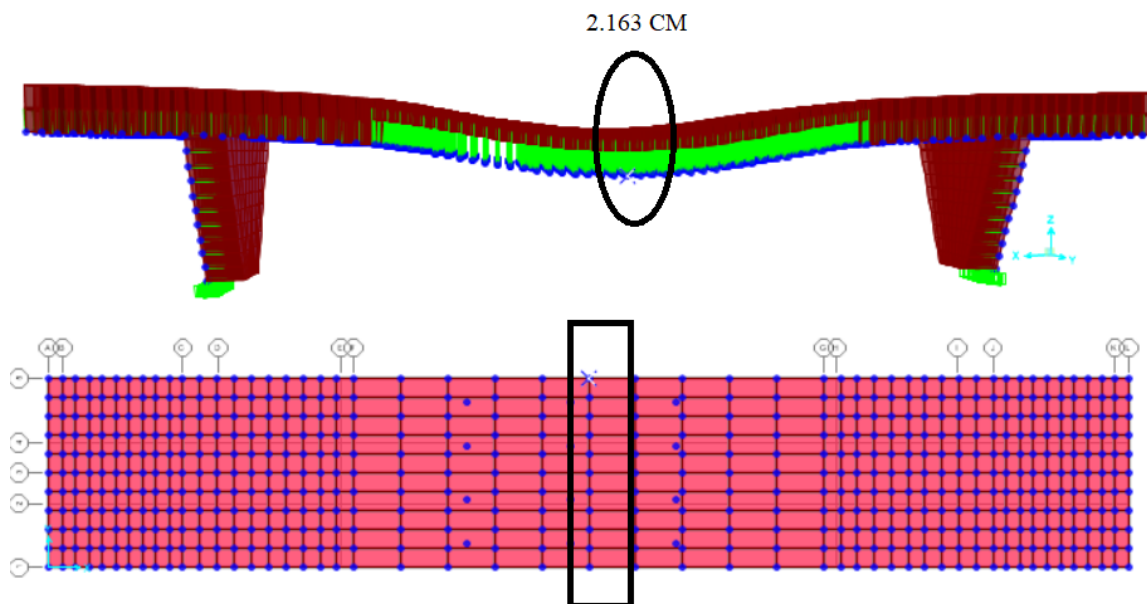
1190	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.283	-0.066	-0.989
1233	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.281	-0.066	-0.977
1189	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.279	-0.060	-0.954
8	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.383	-0.095	-0.932
1254	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.485	-0.073	-0.915
1253	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.461	-0.074	-0.875
1188	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.457	-0.067	-0.860
1252	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.439	-0.074	-0.835
1187	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.434	-0.069	-0.823
1251	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.418	-0.075	-0.793
1186	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.412	-0.070	-0.784
1250	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.398	-0.071	-0.753
1185	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.396	-0.068	-0.746
1249	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.378	-0.068	-0.715
1184	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.374	-0.064	-0.709
1248	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.359	-0.063	-0.679
1183	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.361	-0.058	-0.676
1247	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.343	-0.059	-0.645
1182	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.344	-0.054	-0.645
1181	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.330	-0.051	-0.616
1246	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.329	-0.056	-0.613
1180	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.318	-0.049	-0.589
1245	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.319	-0.056	-0.582
1179	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.309	-0.049	-0.562
1244	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.312	-0.056	-0.552
1178	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.302	-0.051	-0.534
1265	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.364	-0.006	-0.298
1264	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.350	-0.023	-0.290
1177	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.340	-0.006	-0.279
1263	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.334	-0.028	-0.277
1176	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.326	-0.022	-0.272
1262	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.318	-0.027	-0.262
1175	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.311	-0.026	-0.259
1261	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.302	-0.026	-0.248
1174	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.296	-0.026	-0.246
1260	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.287	-0.024	-0.235
1173	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.281	-0.024	-0.233
1259	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.272	-0.023	-0.223
1172	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.268	-0.021	-0.221
1258	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.259	-0.022	-0.212
1171	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.256	-0.019	-0.211
1170	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.244	-0.019	-0.201
1257	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.245	-0.023	-0.200

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

1169	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.233	-0.020	-0.191
1256	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.231	-0.029	-0.186
1168	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.220	-0.026	-0.179
1255	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.219	-0.042	-0.168
1167	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.209	-0.039	-0.162

Como se observa en la Tabla 6.1 el desplazamientos máximo es de 2.163 cm, que es menor a la deflexión máxima permitida de 2.54 cm. En la figura 6.1 podemos observar la ubicación del nodo donde se presenta la deflexión máxima.

Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR



**FIG. 6.1 DEFLEXIÓN MXIMA EN NODO 1221**

### 6.1.2 DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON UN CAMIÓN DE DISEÑO Y DOS CARRILES CARGADOS

En esta sección de resultados, para obtener el desplazamiento vertical de la losa central del puente, se aplicaron las cargas de la Figura 4.15 del Capítulo 4. Dichas cargas representan la combinación de carga de Servicio I. Esta combinación de carga es la encargada de evaluar las deflexiones y deformaciones.

Deflexión máxima permitida = Longitud/800 (AASHTO, 2017).

$$\text{Deflexión máxima} = \frac{2038 \text{ cm}}{800} = 2.5475 \text{ cm.}$$

Los resultados de la combinación de carga anterior se muestran en la Tabla 6.2. Dichos resultados están ordenados de mayor a menor y representan los desplazamientos de la losa central del puente.

Donde:

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

- U1 = Desplazamiento en dirección X en centímetros
- U2 = Desplazamiento en dirección Y en centímetros
- U3 = Desplazamiento en dirección Z en centímetros

**TABLA 6-2 DESPLAZAMIENTO DE LOS NODOS (CM)**

Nodo	Combinación de Carga	U1	U2	U3
		cm	cm	cm
1221	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.015	-0.173	-3.021
1220	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.015	-0.151	-2.930
13	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.143	-0.157	-2.864
1219	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.018	-0.133	-2.851
1232	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.296	-0.159	-2.821
1218	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.018	-0.116	-2.781
1210	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.338	-0.158	-2.763
1231	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.286	-0.138	-2.738
1217	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.020	-0.103	-2.720
14	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.136	-0.120	-2.701
1209	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.327	-0.139	-2.680
1216	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.021	-0.087	-2.667
1230	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.278	-0.121	-2.665
1215	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.021	-0.076	-2.621
1208	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.318	-0.123	-2.606
1229	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.271	-0.107	-2.602
1214	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.025	-0.065	-2.581
19	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.136	-0.085	-2.561
1213	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.025	-0.053	-2.549
1228	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.265	-0.093	-2.546
1207	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.311	-0.110	-2.541
1212	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.028	-0.039	-2.523
1211	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.032	-0.018	-2.508
1227	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.259	-0.079	-2.498
20	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.136	-0.056	-2.485
1206	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.306	-0.098	-2.483
1226	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.254	-0.067	-2.458
1205	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.302	-0.086	-2.431
1225	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.249	-0.053	-2.424
1224	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.245	-0.037	-2.399
1204	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.300	-0.075	-2.386
1223	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.244	-0.046	-2.376
1222	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.247	-0.021	-2.358
1203	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.298	-0.065	-2.347
1202	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.297	-0.054	-2.314
1201	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.297	-0.041	-2.287



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

1200	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.298	-0.024	-2.269
15	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.499	-0.121	-2.250
1243	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.558	-0.119	-2.217
1242	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.540	-0.108	-2.155
16	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.473	-0.094	-2.127
1199	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.551	-0.113	-2.124
1241	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.522	-0.095	-2.098
1198	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.529	-0.101	-2.065
1240	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.511	-0.083	-2.049
21	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.452	-0.065	-2.024
1197	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.520	-0.106	-2.006
1239	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.498	-0.076	-2.004
1238	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.490	-0.061	-1.966
22	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.422	-0.064	-1.962
1196	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.508	-0.091	-1.952
1237	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.486	-0.054	-1.935
1236	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.479	-0.047	-1.906
1195	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.498	-0.081	-1.904
1235	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.480	-0.035	-1.884
1194	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.489	-0.072	-1.861
1234	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.475	-0.048	-1.860
1233	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.477	-0.030	-1.839
1193	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.482	-0.065	-1.823
1192	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.477	-0.058	-1.789
1191	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.474	-0.052	-1.758
1190	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.474	-0.045	-1.731
1189	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.479	-0.036	-1.709
7	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.593	-0.104	-1.557
8	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.560	-0.079	-1.460
17	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.530	-0.064	-1.370
1254	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.660	-0.057	-1.338
1253	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.637	-0.057	-1.307
18	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.519	-0.059	-1.307
1252	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.619	-0.055	-1.276
1188	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.629	-0.058	-1.273
1251	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.604	-0.052	-1.247
1187	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.610	-0.063	-1.240
1250	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.592	-0.047	-1.220
1186	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.587	-0.060	-1.205
1249	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.581	-0.042	-1.195
1248	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.572	-0.038	-1.174
1185	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.573	-0.056	-1.173
1247	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.564	-0.035	-1.154

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

1184	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.558	-0.053	-1.143
1246	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.558	-0.034	-1.135
1245	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.554	-0.035	-1.116
1183	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.547	-0.046	-1.116
1244	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.554	-0.036	-1.097
1182	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.538	-0.044	-1.091
1181	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.527	-0.043	-1.067
1180	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.521	-0.042	-1.043
1179	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.514	-0.045	-1.019
1178	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.512	-0.046	-0.994
1265	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.525	0.001	-0.482
1264	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.511	-0.014	-0.479
1263	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.499	-0.020	-0.470
1262	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.489	-0.021	-0.459
1177	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.496	-0.002	-0.457
1176	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.481	-0.017	-0.452
1261	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.478	-0.019	-0.448
1175	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.468	-0.023	-0.442
1260	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.469	-0.017	-0.439
1259	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.460	-0.016	-0.430
1174	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.456	-0.023	-0.429
1258	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.452	-0.015	-0.422
1173	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.444	-0.022	-0.417
1257	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.444	-0.017	-0.414
1172	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.433	-0.020	-0.406
1256	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.436	-0.024	-0.403
1171	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.423	-0.018	-0.396
1170	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.413	-0.018	-0.387
1255	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.431	-0.039	-0.386
1169	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.403	-0.021	-0.376
1168	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.393	-0.028	-0.363
1167	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.386	-0.042	-0.344

Como se observa en la Tabla 6.2 el desplazamientos máximo es de 3.021 cm, que es mayor a la deflexión máxima permitida de 2.54 cm. En la figura 6.2 podemos observar la ubicación del nodo donde se presenta la deflexión máxima.

# PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR

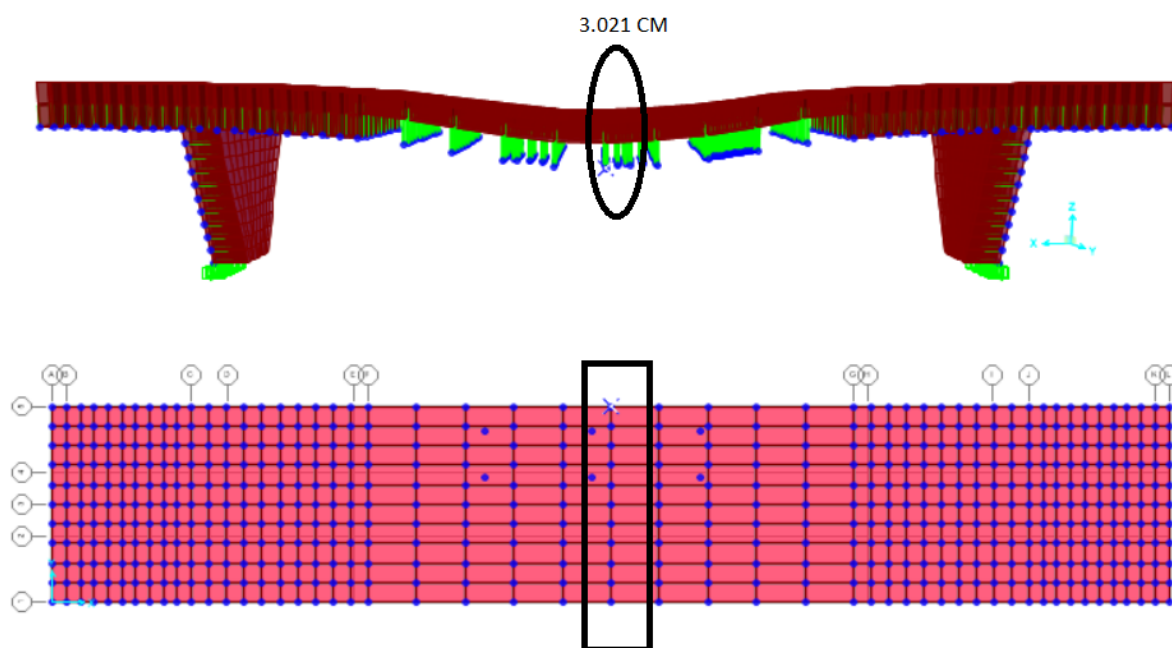


FIG. 6.2 DEFLEXIÓN MÁXIMA EN NODO 1221

## 6.1.3 DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON UN TANDEM DE DISEÑO Y UN CARRIL CARGADO

En esta parte de los resultados del análisis estructural del puente Juárez, para obtener el desplazamiento vertical de la losa del puente, se aplicaron las cargas de la Figura 4.16 del Capítulo 4. Los resultados que se muestran corresponden a la combinación de carga de Servicio I. Dicha combinación de carga es la encargada de evaluar las deflexiones y deformaciones.

Deflexión máxima permitida = Longitud/800 (AASHTO, 2017).

$$\text{Deflexión máxima} = \frac{2038 \text{ cm}}{800} = 2.5475 \text{ cm}.$$

Los resultados de la combinación de carga anterior se muestran en la Tabla 6.3. Dichos resultados se encuentran ordenados de mayor a menor y corresponden a los desplazamientos de la losa central del puente.

Donde:

- U1 = Desplazamiento en dirección X en centímetros
- U2 = Desplazamiento en dirección Y en centímetros
- U3 = Desplazamiento en dirección Z en centímetros

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

**TABLA 6-3 DESPLAZAMIENTO DE LOS NODOS (CM)**

Nodo	Combinación de Carga	U1	U2	U3
		cm	cm	cm
1221	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.011	-0.137	-1.951
1220	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.006	-0.118	-1.879
3	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.077	-0.143	-1.845
5	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.113	-0.143	-1.815
1219	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.008	-0.147	-1.803
1232	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.236	-0.130	-1.782
1210	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.248	-0.126	-1.756
1218	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.009	-0.132	-1.725
1231	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.239	-0.118	-1.713
1209	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.248	-0.114	-1.689
4	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.043	-0.138	-1.673
6	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.099	-0.135	-1.649
1217	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.007	-0.138	-1.648
1230	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.225	-0.122	-1.646
1208	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.232	-0.118	-1.624
1229	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.217	-0.115	-1.579
1216	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.005	-0.123	-1.575
1207	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.222	-0.111	-1.559
1228	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.204	-0.121	-1.513
1215	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.004	-0.107	-1.510
1206	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.208	-0.115	-1.496
1214	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.003	-0.092	-1.454
1227	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.182	-0.110	-1.448
1205	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.187	-0.105	-1.434
1213	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.002	-0.077	-1.406
1226	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.173	-0.098	-1.389
1204	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.177	-0.094	-1.378
1212	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.002	-0.062	-1.368
1225	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.166	-0.085	-1.338
1211	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.001	-0.048	-1.337
1243	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.385	-0.095	-1.332
1203	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.169	-0.082	-1.329
1199	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.379	-0.090	-1.301
1224	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.161	-0.072	-1.294
1202	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.163	-0.069	-1.286
1242	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.368	-0.091	-1.280
1223	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.157	-0.059	-1.257
1198	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.363	-0.086	-1.252
1201	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.159	-0.057	-1.251

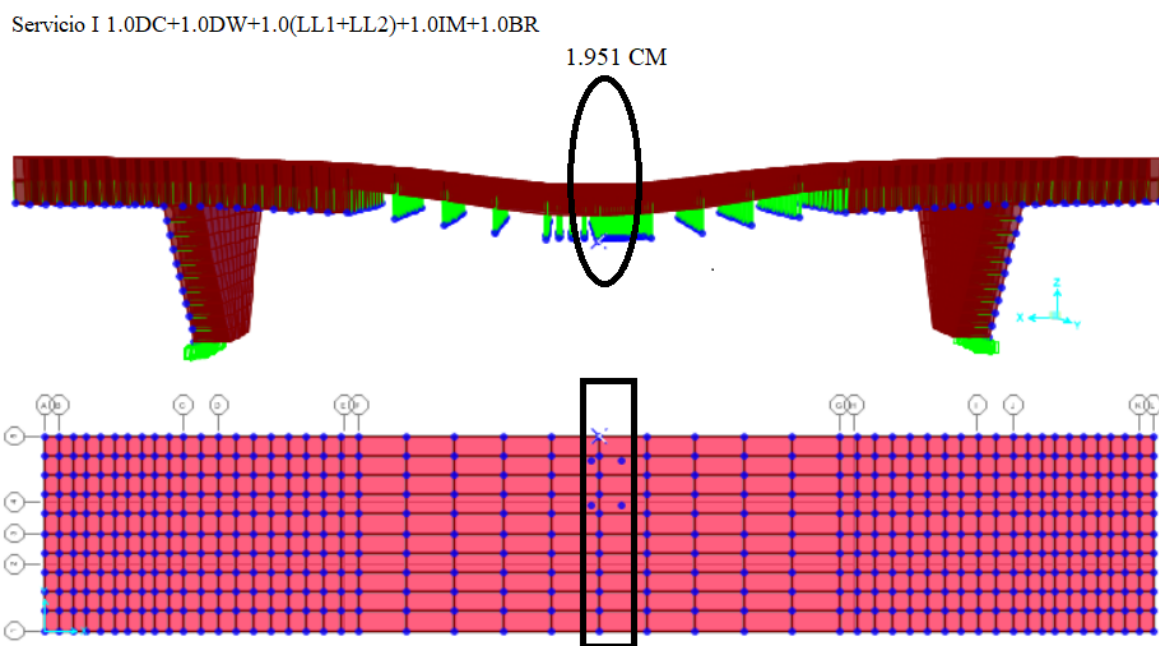
PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

1241	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.352	-0.086	-1.231
1222	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.155	-0.047	-1.227
1200	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.157	-0.046	-1.222
1197	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.348	-0.081	-1.206
1240	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.337	-0.085	-1.183
1196	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.333	-0.080	-1.161
1239	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.322	-0.080	-1.138
1195	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.319	-0.075	-1.118
1238	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.308	-0.076	-1.094
1194	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.305	-0.071	-1.077
1237	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.295	-0.070	-1.053
1193	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.293	-0.066	-1.039
1236	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.284	-0.064	-1.015
1192	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.282	-0.060	-1.004
1235	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.276	-0.057	-0.981
1191	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.274	-0.054	-0.972
1234	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.270	-0.050	-0.951
1190	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.268	-0.048	-0.943
1233	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.267	-0.044	-0.925
1189	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.265	-0.042	-0.918
1254	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.413	-0.046	-0.760
1188	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.402	-0.043	-0.740
1253	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.395	-0.047	-0.734
1187	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.385	-0.044	-0.716
1252	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.379	-0.049	-0.708
1186	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.370	-0.045	-0.691
1251	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.364	-0.047	-0.682
1185	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.356	-0.044	-0.667
1250	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.351	-0.046	-0.656
1184	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.344	-0.043	-0.643
1249	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.338	-0.043	-0.631
1183	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.331	-0.040	-0.620
1248	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.326	-0.041	-0.608
1182	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.320	-0.038	-0.598
1247	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.314	-0.039	-0.586
1181	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.309	-0.036	-0.578
1246	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.305	-0.038	-0.565
1180	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.300	-0.036	-0.558
1245	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.298	-0.038	-0.544
1179	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.294	-0.036	-0.538
1244	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.294	-0.039	-0.523
1178	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.290	-0.037	-0.518
1265	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.301	0.002	-0.244

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

1264	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.292	-0.013	-0.241
1177	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.291	0.003	-0.236
1176	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.283	-0.012	-0.234
1263	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.282	-0.017	-0.233
1175	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.274	-0.016	-0.227
1262	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.272	-0.017	-0.223
1174	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.264	-0.016	-0.218
1261	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.262	-0.016	-0.215
1173	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.255	-0.015	-0.210
1260	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.252	-0.015	-0.206
1172	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.246	-0.014	-0.202
1259	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.243	-0.014	-0.199
1171	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.238	-0.013	-0.195
1258	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.234	-0.014	-0.192
1170	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.229	-0.013	-0.189
1257	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.226	-0.016	-0.184
1169	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.221	-0.015	-0.182
1256	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.216	-0.021	-0.175
1168	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.212	-0.020	-0.172
1255	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.207	-0.033	-0.160
1167	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.204	-0.032	-0.159

Como se observa en la Tabla 6.3 el desplazamiento máximo es de 1.951 cm, que es menor a la deflexión máxima permitida de 2.54 cm. En la figura 6.3 podemos observar la ubicación del nodo donde se presenta la deflexión máxima.



**FIG. 6.3 DEFLEXIÓN MÁXIMA EN NODO 1221**



#### 6.1.4 DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON UN TANDEM DE DISEÑO Y DOS CARRILES CARGADOS

En esta parte, para obtener el desplazamiento vertical de la losa central del puente, se aplicaron las cargas de la Figura 4.17 del Capítulo 4. Dichas cargas se evalúan con respecto a la combinación de carga de Servicio I, la cual está encargada de evaluar las deflexiones y deformaciones.

Deflexión máxima permitida = Longitud/800 (AASHTO, 2017).

$$\text{Deflexión máxima} = \frac{2038 \text{ cm}}{800} = 2.5475 \text{ cm.}$$

Los resultados del análisis anterior se muestran en la Tabla 6.4. Dichos resultados se presentan en términos de desplazamientos de la losa central del puente y se encuentran ordenados de mayor a menor.

Donde:

- U1 = Desplazamiento en dirección X en centímetros
- U2 = Desplazamiento en dirección Y en centímetros
- U3 = Desplazamiento en dirección Z en centímetros

**TABLA 6-4 DESPLAZAMIENTO DE LOS NODOS (CM)**

Nodo	Combinación de Carga	U1	U2	U3
		cm	cm	cm
1221	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.007	-0.124	-2.689
1220	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.002	-0.098	-2.627
15	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.086	-0.121	-2.596
1219	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.010	-0.115	-2.566
19	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.153	-0.112	-2.556
1218	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.009	-0.085	-2.511
18	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.057	-0.084	-2.477
1217	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.009	-0.071	-2.467
1232	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.315	-0.116	-2.462
22	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.138	-0.081	-2.441
1210	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.329	-0.106	-2.438
1216	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.009	-0.053	-2.432
1215	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.007	-0.041	-2.406
1231	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.304	-0.099	-2.401
17	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.054	-0.044	-2.391
1214	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.008	-0.029	-2.386
1209	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.321	-0.086	-2.385
1213	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.005	-0.003	-2.377
1212	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.001	-0.022	-2.369
1211	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.001	0.006	-2.365
16	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.075	-0.026	-2.360



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

21	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.134	-0.046	-2.356
1230	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.295	-0.084	-2.350
1208	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.304	-0.095	-2.333
20	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.137	-0.021	-2.322
1229	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.287	-0.072	-2.306
1207	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.295	-0.075	-2.286
1228	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.281	-0.061	-2.269
1206	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.288	-0.061	-2.248
1227	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.276	-0.050	-2.238
1205	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.284	-0.049	-2.217
1226	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.274	-0.041	-2.212
1204	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.281	-0.037	-2.193
1225	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.272	-0.032	-2.192
1224	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.271	-0.022	-2.177
1203	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.279	-0.025	-2.176
1223	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.270	-0.009	-2.168
1222	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.271	0.008	-2.168
1202	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.279	-0.008	-2.167
1201	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.282	-0.015	-2.160
1200	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.282	0.005	-2.158
1243	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.510	-0.077	-1.868
1199	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.508	-0.071	-1.832
1242	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.494	-0.067	-1.828
1198	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.493	-0.063	-1.795
1241	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.481	-0.059	-1.792
1197	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.480	-0.056	-1.762
1240	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.471	-0.052	-1.761
1239	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.463	-0.045	-1.734
1196	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.470	-0.050	-1.732
1238	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.457	-0.039	-1.710
1195	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.462	-0.043	-1.706
1237	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.452	-0.032	-1.691
1194	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.455	-0.037	-1.684
1236	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.448	-0.026	-1.675
1193	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.450	-0.030	-1.665
1235	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.446	-0.019	-1.662
1234	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.447	-0.011	-1.654
1192	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.447	-0.024	-1.650
1233	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.450	-0.003	-1.650
1191	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.446	-0.018	-1.639
1190	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.447	-0.011	-1.631
1189	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.451	-0.003	-1.627
1254	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.557	-0.030	-1.103

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

1253	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.541	-0.032	-1.085
1188	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.545	-0.027	-1.076
1252	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.529	-0.032	-1.068
1187	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.530	-0.029	-1.060
1251	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.520	-0.030	-1.051
1186	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.519	-0.029	-1.044
1250	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.512	-0.027	-1.035
1185	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.510	-0.028	-1.028
1249	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.505	-0.024	-1.021
1184	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.503	-0.025	-1.014
1248	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.500	-0.020	-1.009
1183	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.496	-0.022	-1.001
1247	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.495	-0.018	-0.999
1182	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.491	-0.019	-0.989
1246	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.493	-0.016	-0.989
1245	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.492	-0.016	-0.980
1181	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.487	-0.017	-0.979
1244	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.496	-0.018	-0.971
1180	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.484	-0.016	-0.971
1179	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.484	-0.016	-0.962
1178	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.488	-0.018	-0.952
1264	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.422	-0.005	-0.392
1265	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.430	0.009	-0.391
1263	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.416	-0.010	-0.388
1262	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.410	-0.012	-0.382
1176	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.410	-0.004	-0.382
1177	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.418	0.010	-0.380
1175	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.404	-0.009	-0.379
1261	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.404	-0.011	-0.376
1174	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.399	-0.011	-0.373
1260	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.398	-0.009	-0.371
1173	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.394	-0.010	-0.368
1259	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.394	-0.008	-0.367
1172	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.389	-0.009	-0.363
1258	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.389	-0.008	-0.363
1171	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.384	-0.008	-0.359
1257	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.385	-0.009	-0.358
1170	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.380	-0.007	-0.355
1256	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.381	-0.015	-0.352
1169	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.376	-0.009	-0.351
1168	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.372	-0.015	-0.344
1255	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.379	-0.028	-0.340
1167	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.370	-0.028	-0.333

Como se observa en la tabla 6.4 el desplazamientos máximo es de 2.689 cm, que es mayor a la deflexión máxima permitida de 2.54 cm. En la figura 6.4 podemos observar la ubicación del nodo donde se presenta la deflexión máxima.

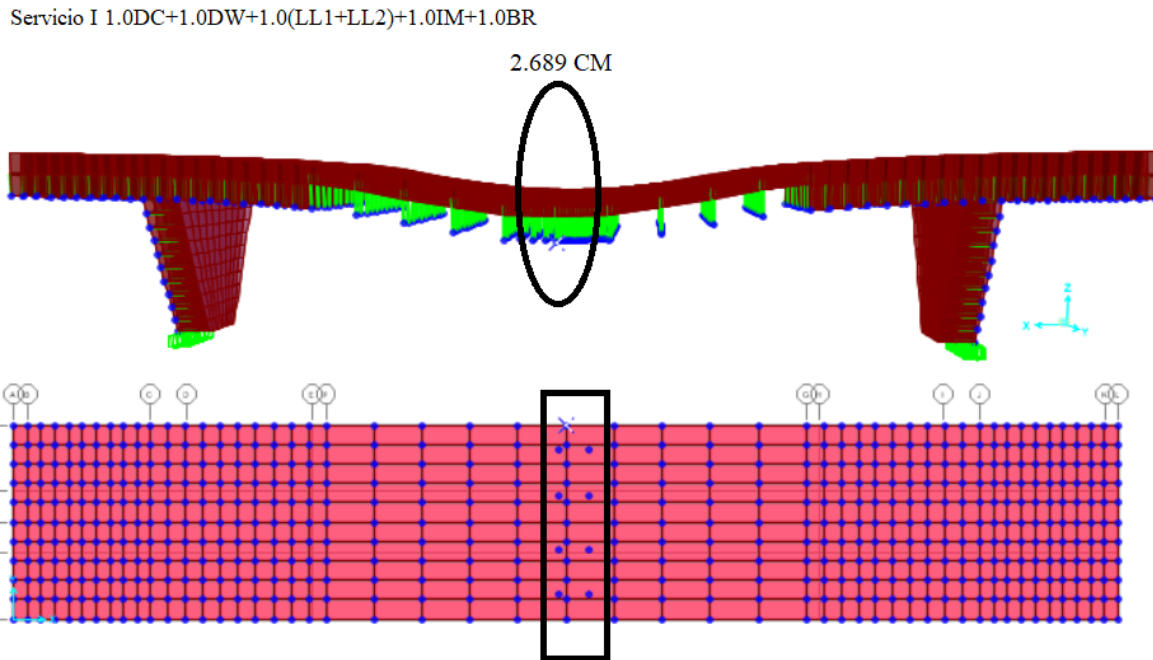


FIG. 6.4 DEFLEXIÓN MÁXIMA EN NODO 1221

## 6.2 COMPARACIÓN DE CASOS

Al comparar los casos anteriores, se puede observar que cuando se aplica un camión de diseño y dos carriles cargados es cuando se presentan mayores desplazamientos verticales en los nodos.

Por lo tanto, se llega a la conclusión siguiente. Con un camión de diseño, más una carga de carril de diseño, el incremento por carga dinámica, y la fuerza de frenado que se observa en la Figura 4.15 del Capítulo 4, representan la combinación más crítica para el puente Juárez. Por lo tanto, es la que registrará nuestro nuevo análisis, con las posibles soluciones para disminuir los desplazamientos presentados.

## 6.3 ESFUERZOS EN LOSA CENTRAL

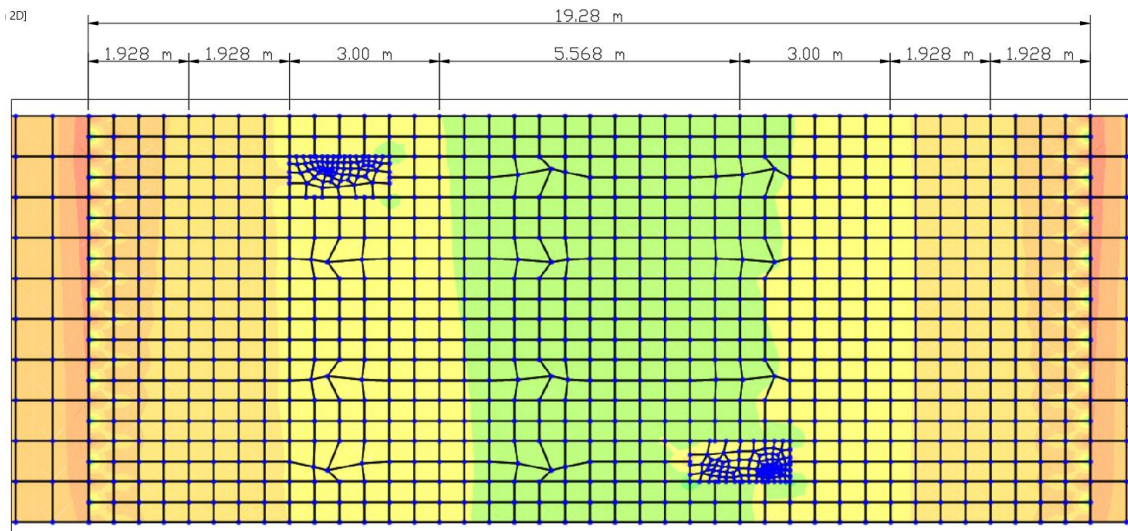
En esta parte del Capítulo 6, se analizan los esfuerzos que se presentan bajo la combinación de carga de servicio I ( $1.0 DC + 1.0 DW + 1.0 (LL1 + LL2) + 1.0 IM + 1.0 BR$ ), donde la dirección “11” son los esfuerzos paralelos a X, y la dirección “22” son los esfuerzos paralelos a Y.

### Momentos M11

Los momentos en dirección M11 que se presentan en la losa central son mayores donde se encuentra la unión de la losa con la parte superior de la columna, en los primeros 1.928 metros de losa central se tienen momentos negativos de hasta 280.00 tonf-m/m (por cada metro), en los segundos 1.928 metros de losa se tienen momentos negativos de hasta 60.2

tonf-m/m (por cada metro), en la tercera parte de la losa con una longitud de 3.00 metros se tienen momentos positivos de hasta 275.48 tonf-m/m (por cada metro) y momentos negativos de hasta -155.01 tonf-m/m (por cada metro) debido que en este punto es donde están colocadas las cargas, en la parte central de la losa con una longitud de 5.568 metros se tienen momentos positivos de hasta 141.15 tonf-m/m (por cada metro) y momentos negativos de hasta 133.00 tonf-m/m (por cada metro), en la Figura 6.5 se muestran las longitudes descritas y marcados los momentos M11 en colores.

Se observa en la Figura 6.5 el color verde en la parte central de la losa que representan el momento positivo de 141.15 tonf-m/m, lo cual se asocia que en la parte central de la losa es necesario colocar mayor refuerzo de acero en la parte inferior, al movernos hacia los extremos de la losa el color va de amarillo a naranja es decir de momentos positivos a momentos negativos, por lo cual en esta parte es necesario colocar mayor acero de refuerzo en la parte superior de la losa.



**FIG. 6.5** DIAGRAMA DE REPRESENTACIÓN DE MOMENTOS M11 EN LOSA CENTRAL

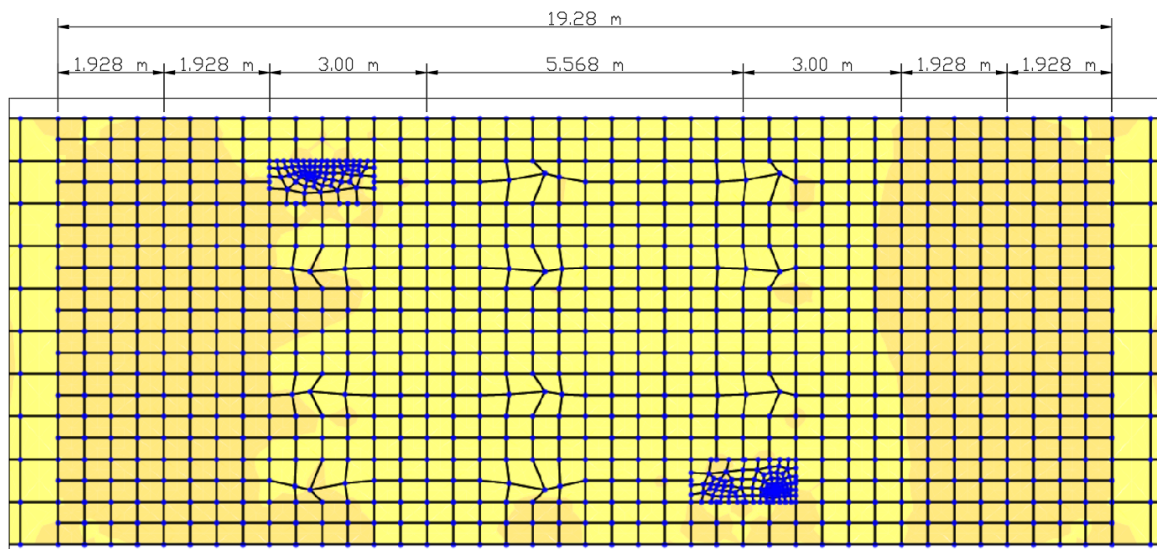
#### Momentos M22

Los momentos en dirección M22 que se presentan en la losa central, se observa que son menores a los que se presentan en dirección M11, en los primeros 1.928 metros de la losa central se tienen momentos negativos de hasta 57.00 tonf-m/m (por cada metro), en los segundos 1.928 metros se tienen momentos negativos de hasta 11.30 tonf-m/m (por cada metro), en el tramo de 3.00 metros de longitud se tienen momentos negativos de hasta 85.94 tonf-m/m (por cada metro) y momentos positivos de hasta 82.00 tonf-m/m en esta parte del puente se presentan mayores momentos debido a que es donde están aplicadas las cargas, en la parte central de puente en la longitud de 5.568 metros, se tienen momentos negativos de hasta 78.00 tonf-m/m (por cada metro) y momentos positivos de hasta 102.00 tonf-m/m (por cada metro), en la Figura 6.6 se muestran las longitudes descritas y marcados los momentos M22 en colores.

Se observa en la Figura 6.6 el color amarillo predominante en el centro de la losa, debido que en este punto se tienen momentos positivos por lo cual es necesario colocar mayor acero de refuerzo en la parte inferior de la losa, al moverse del centro de la losa a los extremos el

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

color cambia a naranja, ya que los momentos predominantes cambia de positivos a negativos por lo tanto en este punto de la losa es necesario colocar mayor acero de refuerzo en la parte superior de la losa.



**FIG. 6.6** DIAGRAMA DE REPRESENTACIÓN DE MOMENTOS M22 EN LOSA CENTRAL



## 7 CAPÍTULO 7.- PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

### 7.1 ANTECEDENTES

Hace aproximadamente 45 años, el puente Benito Juárez fue construido. Recientemente, se ha descubierto que presenta desplazamientos verticales superiores a los permitidos por las reglamentaciones de construcción y evaluación de puentes como AASHTO.

El puente está ubicado en la ciudad de Culiacán en el estado de Sinaloa (ver Figura 7.1), cuyo sistema estructural se puede definir de la siguiente manera.

Superestructura:

- Losa: Concreto Reforzado.
- Losa columna: Concreto Reforzado.

Subestructura:

- Columnas: Concreto Reforzado.

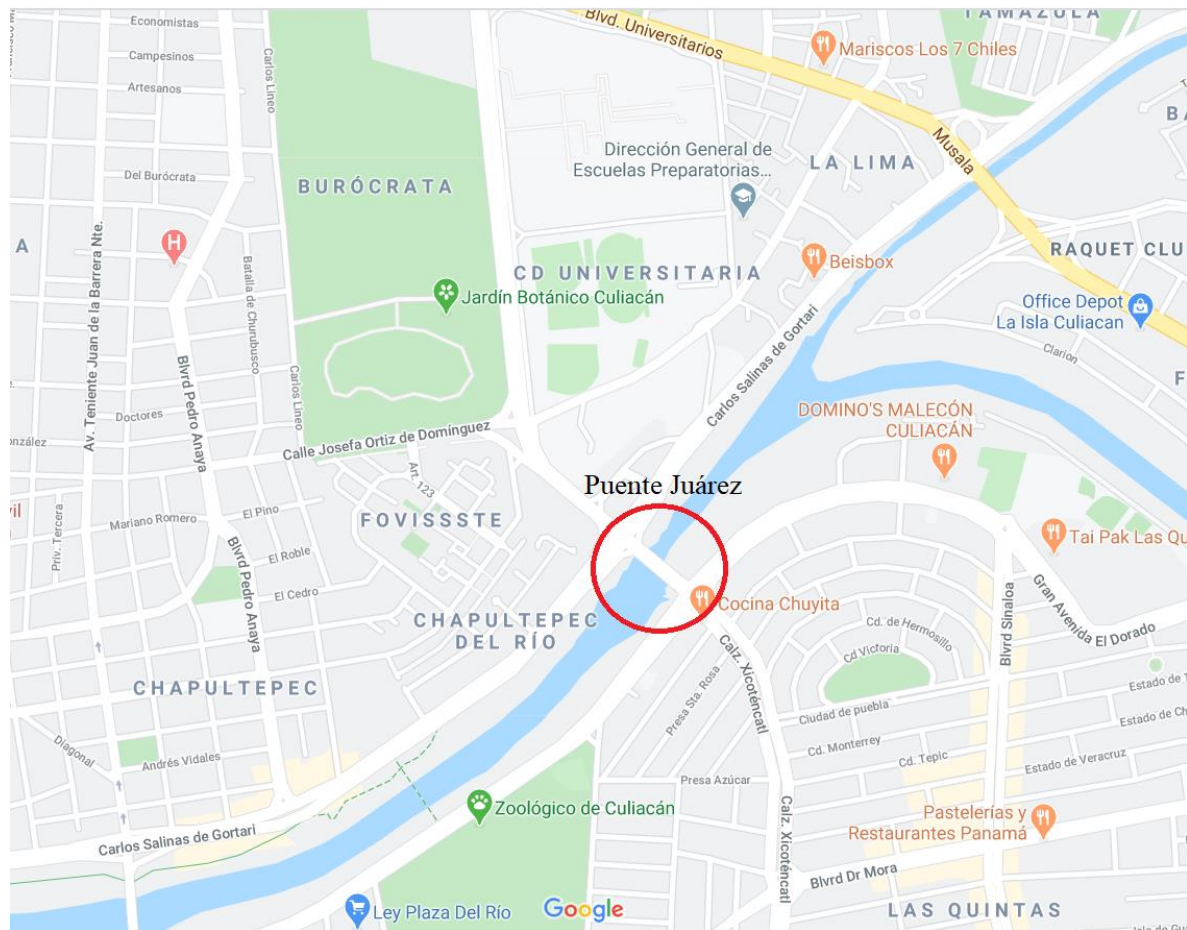


FIG. 7.1 UBICACIÓN DEL PUENTE BENITO JUÁREZ

### 7.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Como se mencionó anteriormente, el puente Benito Juárez presenta desplazamientos y vibraciones excesivas en su componente vertical, que son un problema para el confort de las personas que transitan diariamente por el lugar.

Estas vibraciones y desplazamientos son mayores a los permitidos por el reglamento de AASHTO, el cual señala que la deflexión máxima en puentes para carga vehicular en general es igual a la Longitud/800 (AASHTO, 2017).

### 7.3 PROPUESTA DE REPARACIÓN DEL PUENTE

Se desarrolla una propuesta adecuada para disminuir los desplazamientos excesivos en el puente Benito Juárez, mediante la instalación de sistemas estructurales de acero, los cuales se basan en las siguientes alternativas.

#### 7.3.1 ALTERNATIVA (ARMADURAS)

Propuesta de reparación del puente Benito Juárez mediante la colocación de un sistema estructural de armaduras bajo las losas del puente (ver Figura 7.2).

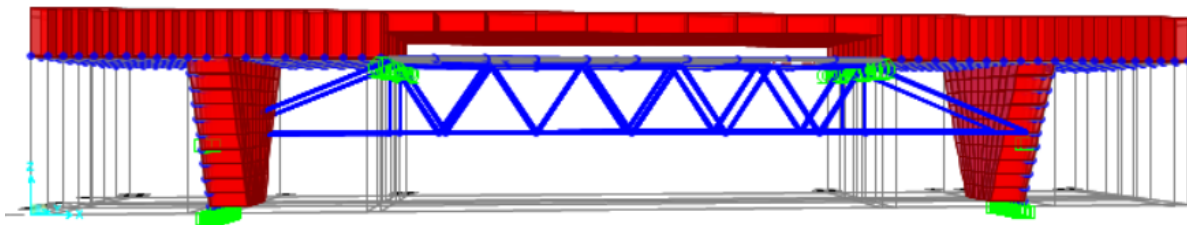


FIG. 7.2 PROPUESTA DE ALTERNATIVA 1 (ARMADURA)

#### 7.3.1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

##### 7.3.1.1.1 VENTAJAS

- Es una estructura liviana.
- Versatilidad de transporte al ser una estructura liviana.
- Facilidad de montaje, al ser una estructura liviana no se necesita equipo pesado.
- Posee una gran capacidad de carga para áreas de acero pequeñas.

##### 7.3.1.1.2 DESVENTAJAS

- Complejidad de diseño.
- Complejidad de fabricación.
- Alto costo para claros cortos.
- Al ser una estructura de acero, presenta desventajas del acero como son corrosión, pandeo, y el costo.
- Alta dificultad al tenerse que soldar numerosas uniones.

#### 7.3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARMADURAS

Las armaduras son estructuras metálicas que se usan para librar claros realmente grandes, son sistemas que actúan como vigas, pero sus componentes principales son sometidos a esfuerzos axiales (Yazuna, Verónica, & Quisphe Coro, 2009).

Una armadura es un conjunto de elementos lineales arreglados en forma de triángulo, o combinación de triángulos, para dar lugar a una estructura rígida y plana. Las armaduras de acero se fabrican de tal manera que los ejes centroidales de todos los miembros que confluyen en cualquier unión tengan un punto común de intersección.



Los miembros de las armaduras están organizados en arreglos triangulares. De manera ideal, el extremo de cada miembro por el cual está conformada la armadura en un nudo es libre de rotar de manera independiente de los otros miembros en el mismo nudo. Además, si se presenta carga en puntos distintos que no sean en los nodos, se presentan esfuerzos de flexión en los miembros (Yazuna et al., 2009).

### 7.3.1.3 TIPOS DE ARMADURAS

Existen distintos tipos de armaduras, a continuación se detallan las armaduras más utilizadas y comunes para la construcción de estructuras de puentes.

#### 7.3.1.3.1 ARMADURA TIPO PRATT

Esta es una armadura muy económica para claros menores a 60 metros, posee una ventaja de tener diagonales inclinadas que bajan hacia el centro y cuerdas paralelas, las diagonales están sujetas a tensión bajo la acción de las cargas y no introducen esfuerzos secundarios (Yazuna et al., 2009), (ver Figura 7.3).

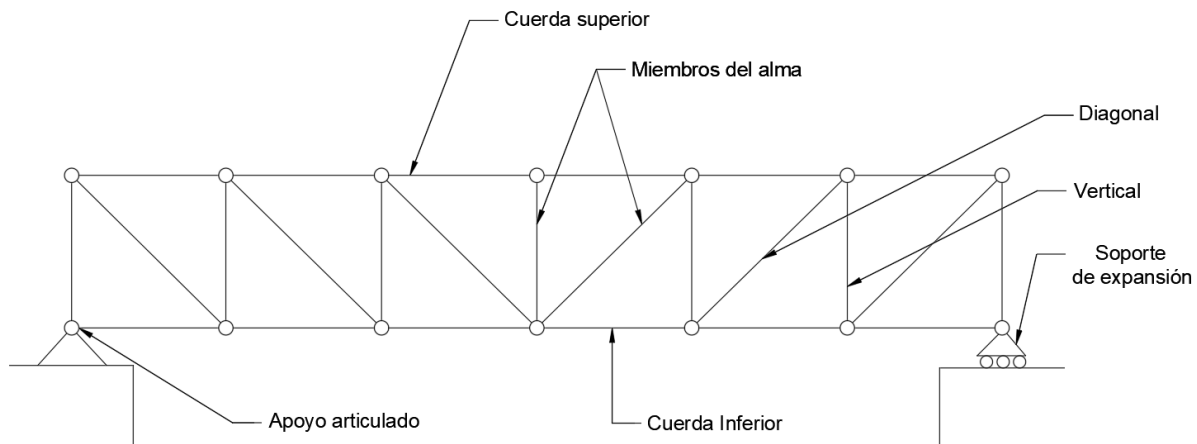
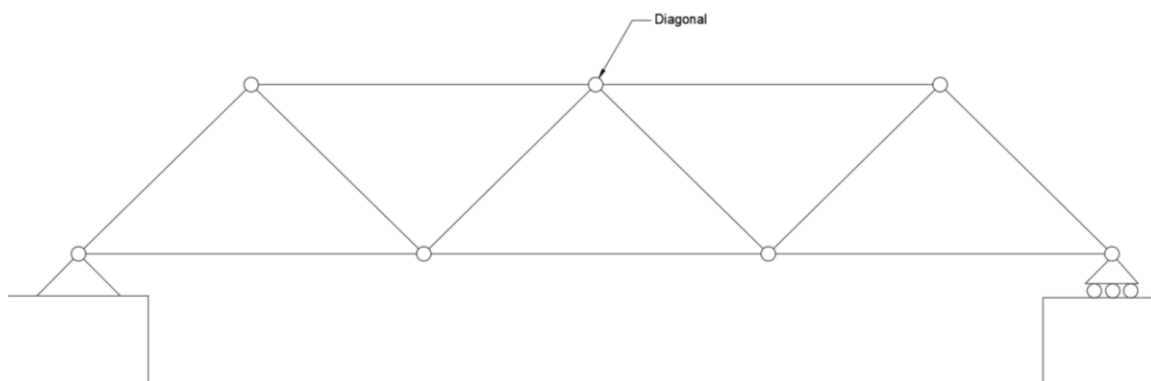


FIG. 7.3 ARMADURA TIPO PRATT

#### 7.3.1.3.2 ARMADURA TIPO WARREN

La armadura tipo Warren es la más conocida de todas las armaduras. Por lo cual, tiene un aspecto muy atractivo incluso más que la Pratt, además de ser muy utilizada en los puentes de paso superior (peatonales) debido a que pueden diseñar con un costo económico. En estos tipos de armaduras se presenta esfuerzos secundarios relativamente altos (Yazuna et al., 2009) (ver Figura 7.4).

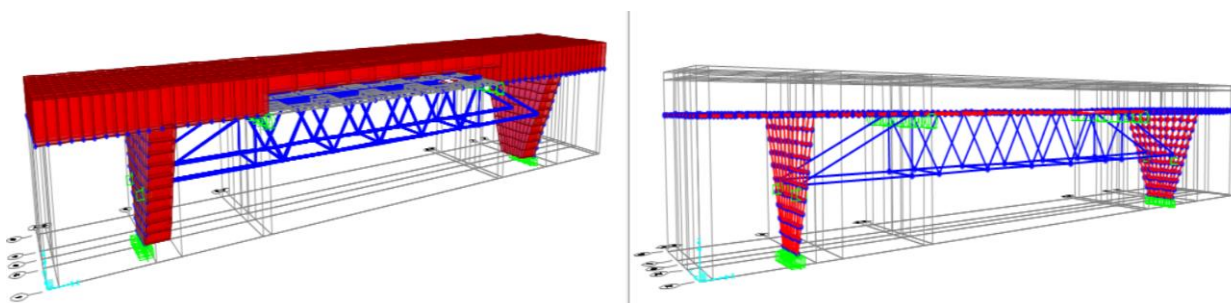


**FIG. 7.4 ARMADURA TIPO WARREN**

### **7.3.1.4 ANÁLISIS Y DISEÑO DE ARMADURA**

#### **7.3.1.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE ARMADURA**

Para el análisis y diseño de la armadura que se colocará debajo del puente, se selecciona una armadura tipo Warren, y se dimensiona la forma cuidando que converjan los nodos del puente con los nodos de la armadura (ver Figura 7.5), se muestra en la figura 7.6 las dimensiones y los miembros de la armadura que converge con los nodos en los que está dividido el puente.



**FIG. 7.5 ARMADURA TIPO WARREN COLOCADA DEBAJO DEL PUENTE**

#### 7.3.1.4.2 PERFILES USADOS EN ARMADURAS

La selección del perfil está dada por la carga que soportará, ya sea si el miembro está a compresión o a tensión. Generalmente, las secciones utilizadas para miembros a compresión comúnmente son similares a las empleadas para miembros a tensión con ciertas excepciones (McCORMAC, 2012). La excepción está dada por la resistencia de los miembros que están sometidos a compresión, ya que varía en cierto modo con la relación de esbeltez y por lo tanto requieren miembros más rígidos, es decir, las varillas y las barras no son adecuadas para miembros a compresión, salvo que este miembro sea muy corto y no tenga que soportar grandes cargas. En la figura 7.7 se muestran los perfiles más utilizados en armaduras, ya sea por su costo, disponibilidad o resistencia.

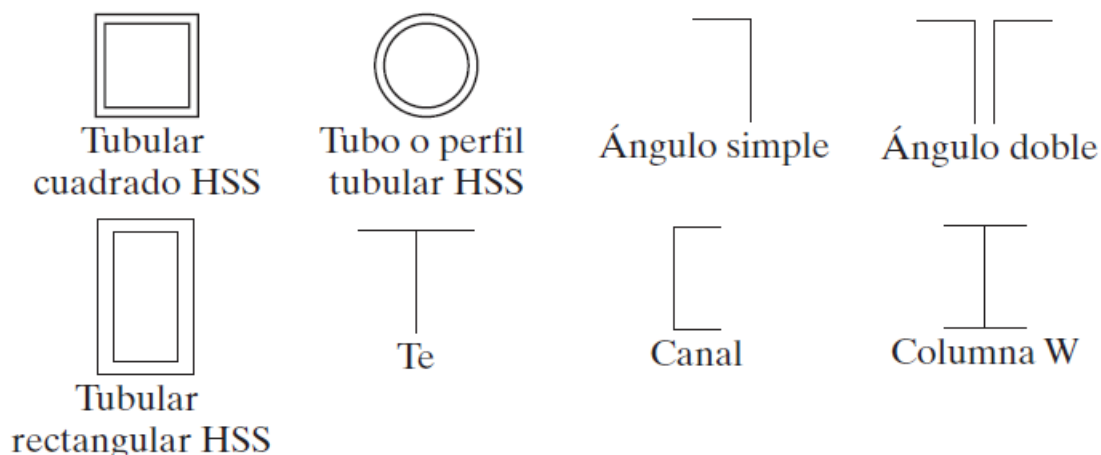


FIG. 7.7 TIPOS DE PERFILES UTILIZADOS EN ARMADURAS

Las secciones estructurales huecas (HSS: Hollow Structural Sections) (cuadradas, rectangulares o redondas) y los tubos de acero son secciones muy valiosas para edificios, puentes y otras estructuras. Estas secciones de aspecto limpio y agradable se fabrican y se montan fácilmente (McCORMAC, 2012). El Manual del AISC proporciona los tamaños de estas secciones y las clasifica ya sea como secciones HSS redondas o tubo de acero estándar, extra fuerte, o doble extra fuerte.

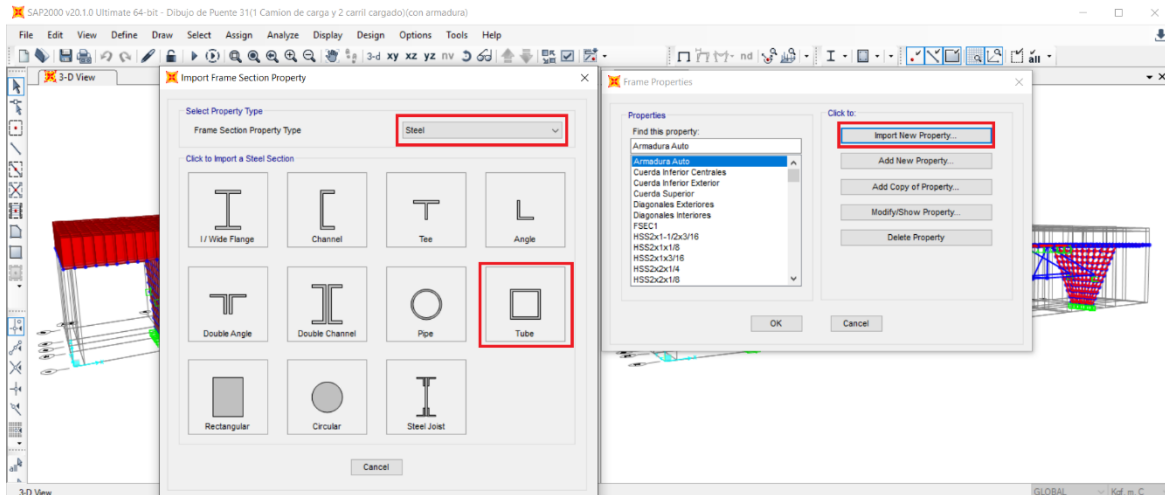
Las secciones tubulares cuadradas y rectangulares HSS se usan cada vez más en la actualidad. Durante muchos años sólo unas cuantas laminadoras en Estados Unidos fabricaron tubería de acero con fines estructurales. Debido al poco uso de las secciones tubulares por la dificultad de efectuar las conexiones con tornillos o remaches. Este problema se ha eliminado con el surgimiento de las técnicas modernas de soldar (McCORMAC, 2012).

Para el desarrollo de esta investigación, se tomó la decisión de utilizar secciones HSS rectangulares, estas son una de las más utilizadas en puentes como se mencionó anteriormente, además de que son perfiles que trabajan bien a compresión ya que poseen un radio de giro constante de ambos lados, tanto al lado corto con el lado largo, con respecto a su centroide, cabe mencionar que esta estructura está colocada debajo del puente por lo tanto se espera que las cargas de compresión sean mayores a las de tensión.

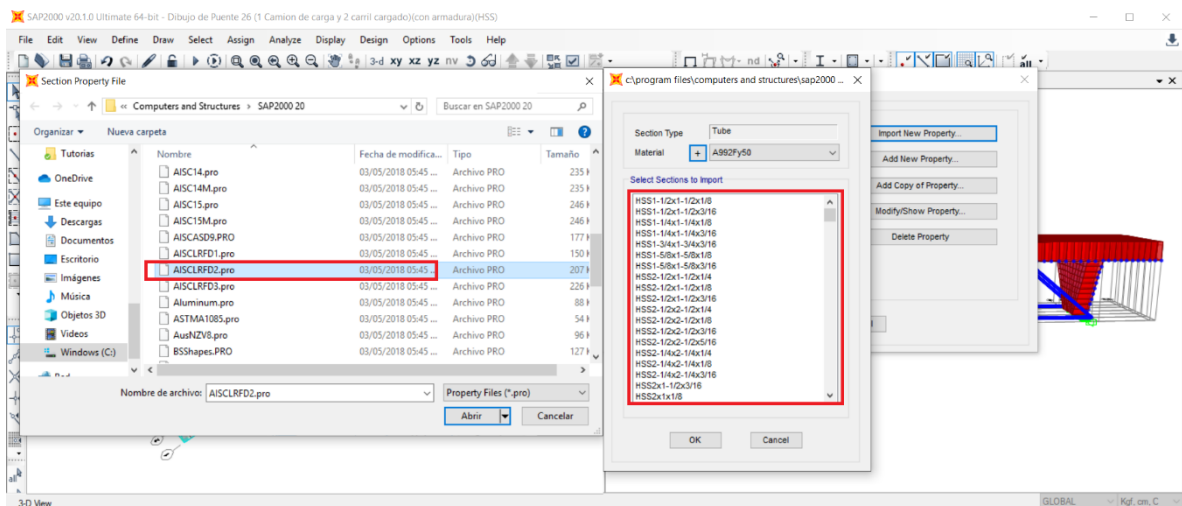
#### 7.3.1.4.3 PROCESO DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURA EN SAP2000

Como primer paso se modela la estructura en SAP2000 (ver Figura 7.2), mediante la herramienta de dibujo “*frame*” a la cual se le asignan diferentes secciones tipo HSS, mediante la herramienta “*Import New Property*” se selecciona el material “*Steel*” y el tipo de sección “*Tube*” (ver Figura 7.8), luego seleccionamos el archivo “ *AISCLRFD2*” en el cual están precargadas las características y propiedades de los perfiles HSS desde las más pequeñas HSS1-1/2 x 1-1/2 x 1/8 hasta las más grandes HSS32 x 32 x 5/8 (ver Figura 7.9), una vez seleccionadas todas las secciones HSS, se procede a asignarle el material es decir el grado de acero por el cual están compuestas, se selecciona acero A500GrB46 (ver Figura 7.10), es decir grado 46, así las secciones serán iguales a las especificadas en el manual del AISC de las secciones 4 y 5.

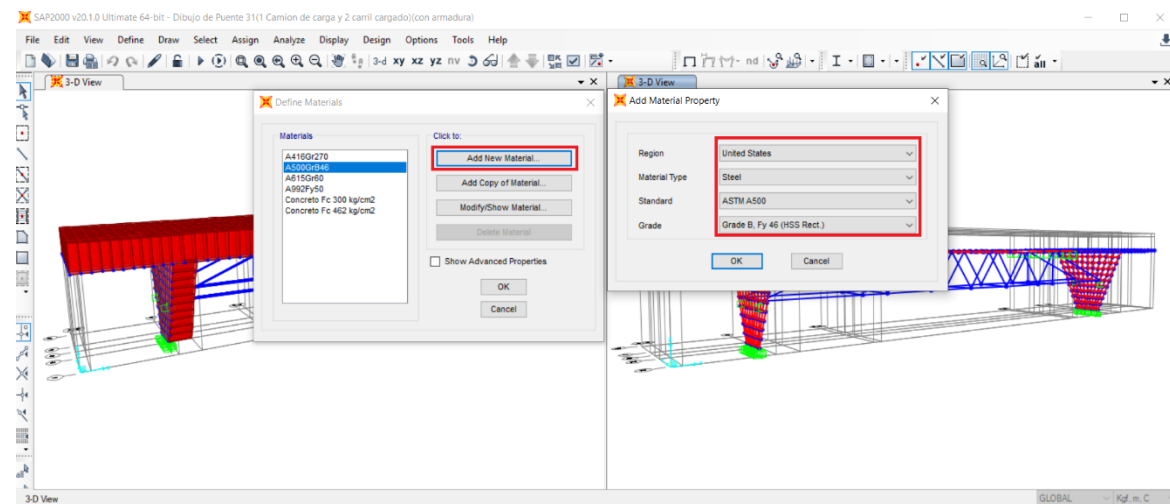
## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 7.8 IMPORTAR PERFILES PREDEFINIDOS**



**FIG. 7.9 SELECCIÓN DE ARCHIVO CON PERFILES PREDEFINIDOS**



**FIG. 7.10 SELECCIÓN DE MATERIAL (ACERO GR46)**

## PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Una vez que se tienen todas las secciones posibles para el análisis, se procede a crear un nuevo “frame” el cual tendrá todas las secciones anteriores asignadas, se crea mediante la herramienta “frame properties”, luego se selecciona “Add New Property” y le damos click a la opción “Auto Select List” (ver Figura 7.11), se procede a nombrar este “frame” que tendrá todas las secciones lo nombramos “Perfiles HSS” y posteriormente seleccionamos todas los perfiles y los asignamos a este “frame” (ver Figura 7.12) y le damos OK, una vez creado el “frame” que contenga todos los perfiles posibles se procede a asignarlo a la armadura creada.

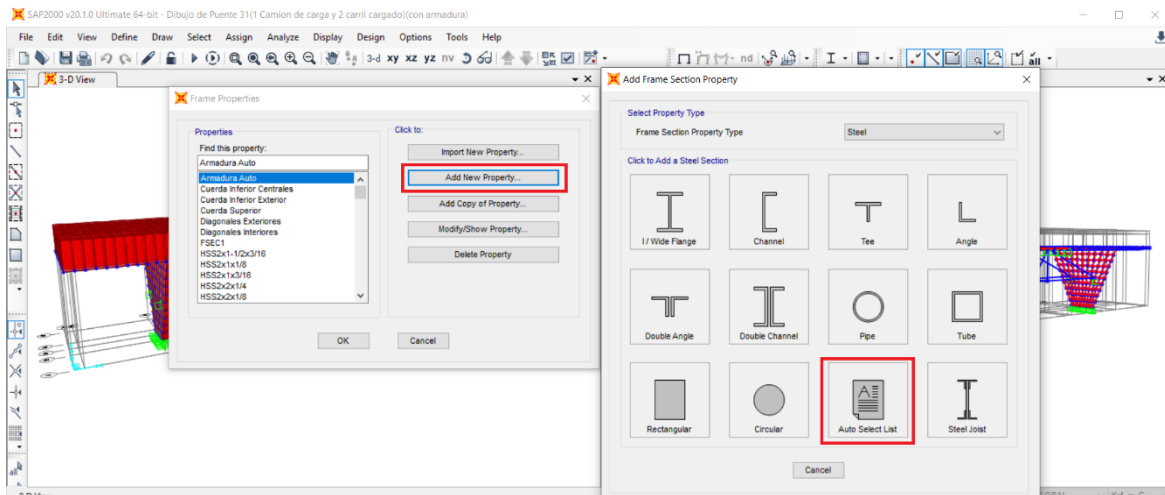


FIG. 7.11 CREACIÓN DE FRAME CON TODAS LAS SECCIONES

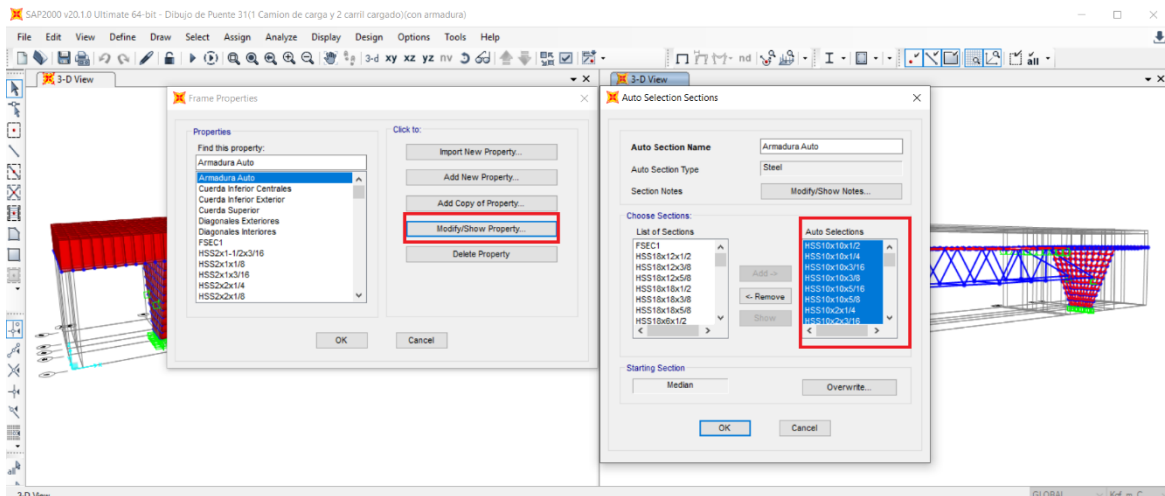


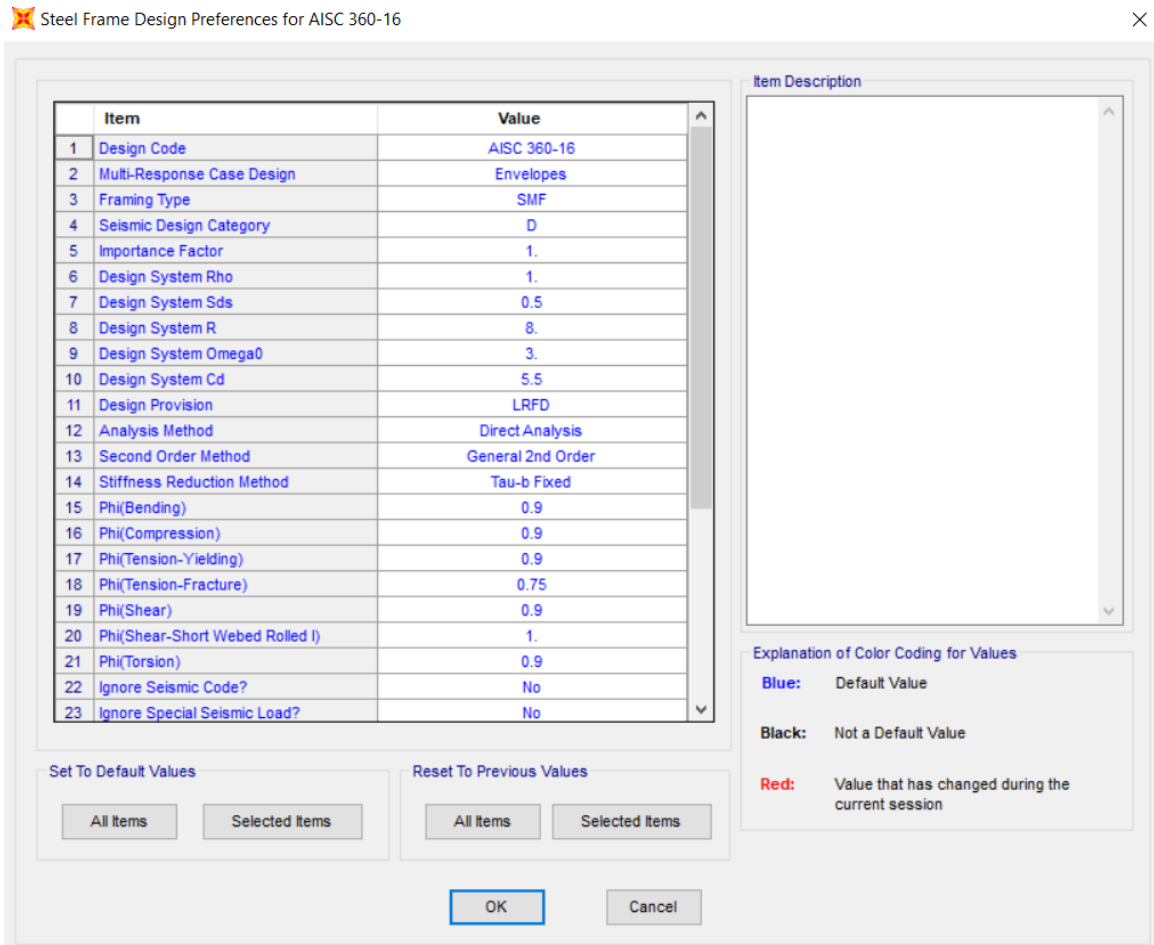
FIG. 7.12 FRAME – PERFILES HSS

Ahora se procede a realizar el análisis y a diseñar con el software SAP2000, pero antes se asigna bajo que código se diseñaran las secciones y que combinaciones de carga se deben cumplir. Para esto seleccionamos que diseño bajo el código del AISC 360-16 (ver Figura 7.13) y que los perfiles soporten la combinación de carga de servicio que se especificó en el capítulo 4 de este documento.

- Resistencia I.-  $1.2DC + 1.5DW + 1.75LL + 1.75IM + 1.75BR$



# PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 7.13 SELECCIÓN DE CÓDIGO DE DISEÑO**

Una vez procesado el análisis seleccionamos la herramienta “Start Designe” y el software seleccionara el perfil que cumpla con el código de AISC y la combinación de carga seleccionada.

Los perfiles que nos sugiere SAP2000 son los siguientes.

- Perfil HSS 14x14x1/2
- Perfil HSS 5x5x1/2
- Perfil HSS 5x4x1/4
- Perfil HSS 5x2 ½ x3/8
- Perfil HSS 3x3x1/8
- Perfil HSS 3x2x1/8

Seleccionamos el perfil recomendado y lo aplicamos a nuestro modelo y obtuvimos las siguientes cargas axiales en los elementos (ver Figura 7.14.)

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

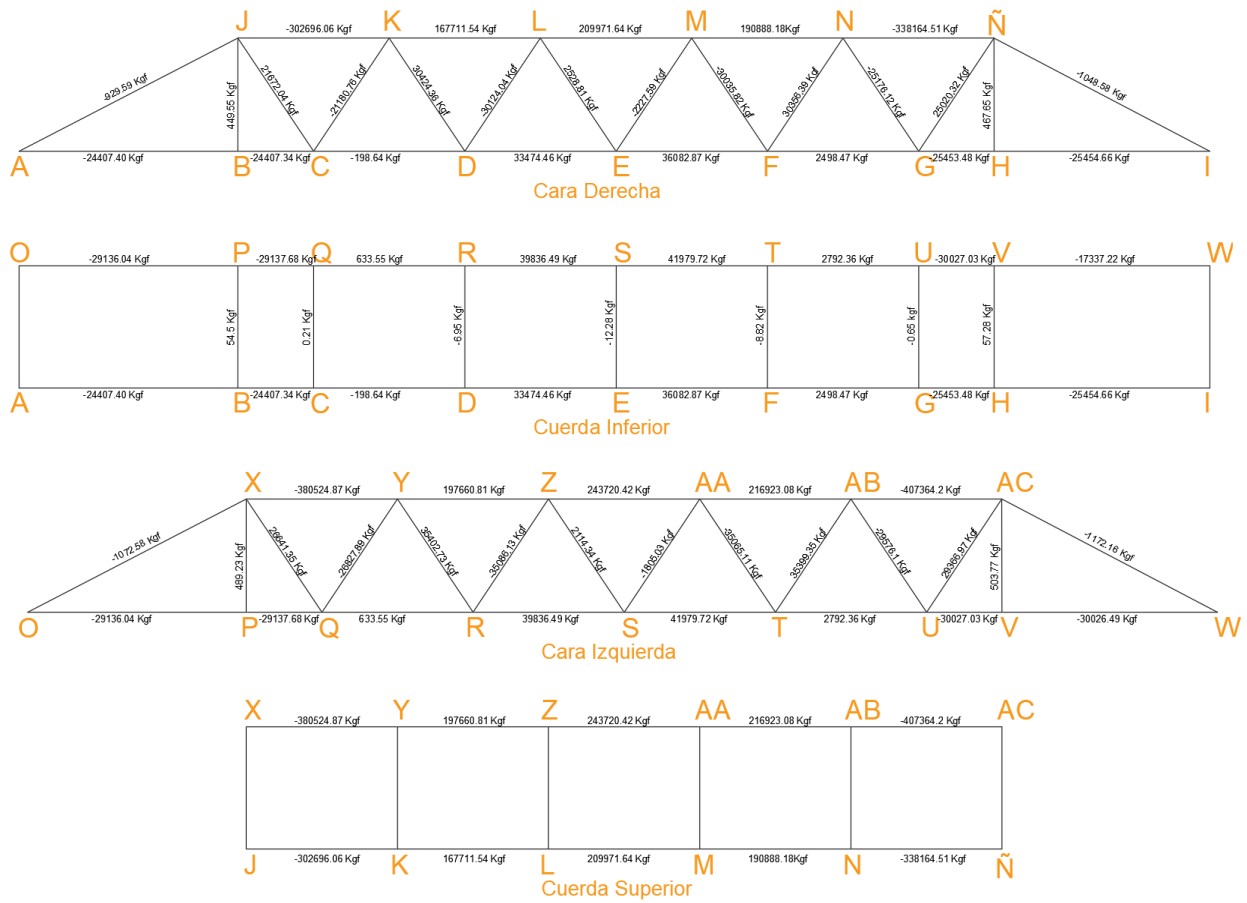


FIG. 7.14 CARGA AXIAL EN ARMADURA

#### 7.3.1.4.4 DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE LA ARMADURA MEDIANTE AISC Y AASHTO

Cuerdas Superiores JK, NÑ, XY, ABAC a compresión

1. Los miembros a compresión de las diagonales de JK, NÑ, XY, ABAC, los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial de -407364.2 kgf y tienen una longitud de 3.86 metros, los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 898.08 kips

Longitud = 12.66 ft

2. A continuación establecemos la relación de resistencia y carga, donde  $\phi_c = 0.90$ , esto debido al factor de reducción de la resistencia.

- $\phi_c F_n = f_u$  Ecuación 7.1

- $0.9 F_y = f_u$  Ecuación 7.2

3. Ahora establecemos el esfuerzo de diseño en  $F_y = 46$  ksi.

- $0.90 F_y = 0.90(46 \text{ ksi}) = 41.4 \text{ ksi}$  Ecuación 7.3

4. Buscamos el área requerida.

- $A_{\text{req}} = \frac{898.08 \text{ kips}}{41.4 \text{ ksi}} = 21.69 \text{ in}^2$  Ecuación 7.4

5. De la tabla 1-12 del AISC, para perfiles HSS revisamos el perfil HSS 14x14x1/2, el cual tiene un área de  $24.6 \text{ in}^2$ , el cual tendrá un  $R_x = 5.49$  y  $R_y = 5.49$ .

6. Revisando las especificaciones de AASHTO de relación de esbeltez, para elementos a compresión, la relación de esbeltez máxima para miembros principales es de 120 y para elementos arriostrados es 140, utilizaremos la relación de 120 al ser más desfavorable (AASHTO, 2017).

7. Comprobamos la relación de esbeltez con  $L = 12.66 \text{ ft} = 151.92 \text{ in}$ , con un  $K = 1$  al ser una armadura con rotaciones libres en cada nudo.

- $\frac{Kl}{r} = \frac{1(151.92)}{5.49} = 27.67$  Ecuación 7.5

8. Como  $27.67 < 120$  la sección cumplen la relación de esbeltez, por lo tanto es correcto usar el perfil HSS 14x14x1/2

9. Ahora comprobamos el esfuerzo de este perfil. Para lo cual encontramos  $\phi_c P_n$  para el perfil seleccionado. Primero encontramos la relación de  $Kl$  en ft.

- $Kl = 12.66 \text{ ft}$  Ecuación 7.6

Revisamos la tabla 4.4 del AISC para elementos a compresión en la cual obtenemos el esfuerzo permisible para carga axial del perfil HSS 14x14x1/2 usando  $Kl = 12.66 \text{ ft}$  en la figura 7.15 se muestra el valor de  $\phi_c P_n$  para un  $Kl$  de 13 ft el cual es muy aproximado el valor de  $Kl$  real.

**Table 4-4**  
**Available Strength in**  
**Axial Compression, kips**  
**Square HSS**

$F_y = 46 \text{ ksi}$

HSS16-HSS14

Shape		HSS16×16×						HSS14×14×					
		<sup>1</sup> / <sub>2</sub>		<sup>3</sup> / <sub>8</sub> <sup>a</sup>		<sup>5</sup> / <sub>16</sub> <sup>c</sup>		<sup>5</sup> / <sub>8</sub>		<sup>1</sup> / <sub>2</sub>		<sup>3</sup> / <sub>8</sub> <sup>c</sup>	
<i>t<sub>design</sub></i> , in.		0.465		0.349		0.291		0.581		0.465		0.349	
lb/ft		103		78.5		65.9		110		89.7		68.3	
Design		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$	
		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
Effective length, <i>KL</i> (ft), with respect to least radius of gyration, <i>r<sub>y</sub></i>	0	780	1170	521	782	381	572	835	1250	678	1020	498	748
	6	773	1160	518	779	379	570	825	1240	670	1010	494	743
	7	770	1160	517	777	379	569	821	1230	667	1000	493	741
	8	767	1150	516	776	378	568	817	1230	664	998	491	738
	9	764	1150	515	774	377	567	813	1220	660	992	489	736
	10	761	1140	513	772	376	566	808	1210	656	986	487	733
	11	757	1140	512	769	375	564	802	1210	652	980	485	729
	12	753	1130	510	767	374	563	796	1200	647	972	483	726
	13	748	1120	508	764	373	561	790	1190	642	965	480	722
	14	743	1120	506	761	372	559	783	1180	636	958	477	718
	15	738	1110	504	758	371	557	775	1170	630	947	474	713
	16	732	1100	502	755	370	555	768	1150	624	938	471	708
	17	727	1090	500	751	368	553	759	1140	618	928	468	703
	18	720	1080	497	747	367	551	751	1130	611	918	464	697
	19	714	1070	495	743	365	549	742	1110	603	907	460	691
	20	707	1060	492	739	363	546	732	1100	596	896	454	683
	21	700	1050	489	735	361	543	722	1090	588	884	448	674
	22	693	1040	486	730	360	540	712	1070	580	872	442	665
	23	685	1030	482	725	358	537	702	1050	572	859	436	656
	24	678	1020	479	720	356	534	691	1040	563	846	430	646
	25	670	1010	475	714	353	531	680	1020	554	833	423	636
	26	661	994	472	709	351	528	669	1010	545	820	416	626
	27	653	981	468	703	349	524	657	988	536	806	410	616
	28	644	968	464	697	346	520	646	970	527	792	403	605
	29	635	955	459	691	344	517	634	953	517	777	395	594
	30	626	941	455	684	341	513	622	934	507	763	388	583
	32	608	913	446	670	336	504	597	897	488	733	373	561
	34	588	884	436	656	330	495	572	859	467	702	358	538
	36	569	855	426	640	323	486	546	821	447	671	343	515
	38	549	825	415	623	316	476	520	782	426	640	327	492
	40	528	794	403	606	309	465	494	743	405	609	311	468

FIG. 7.15 OBTENCIÓN DE  $\phi_c P_n$  POR EL CÓDIGO DEL AISI

10. Ahora tenemos un  $\phi_c P_n = 965 \text{ kips}$  que debe de ser mayor al requerido por la sección.
- $965 \text{ kips} > 898.08 \text{ kips}$  -- OK

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es mayor que el esfuerzo requerido, entonces es correcto usar un perfil HSS 14x14x1/2.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Cuerdas superiores KL, LM, MN, YZ, ZAA, AAAB a tensión

1. Los miembros de las cuerdas superiores están a tensión, son las secciones KL, LM, MN, YZ, ZAA, AAAB, los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial a tensión de 243720.42 kgf y una longitud de 3.86 metros, los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 537.31 kips

Longitud = 12.66 ft

2. A continuación establecemos la relación de resistencia y carga, donde  $\phi_t = 0.90$ , esto debido al factor de reducción de la resistencia.

$$\bullet \quad \phi_t F_n = f_u \quad \text{Ecuación 7.1}$$

$$\bullet \quad 0.9 F_y = f_u \quad \text{Ecuación 7.2}$$

3. Ahora establecemos el esfuerzo de diseño en  $F_y = 46$  ksi.

$$\bullet \quad 0.90 F_y = 0.90(46 \text{ ksi}) = 41.4 \text{ ksi} \quad \text{Ecuación 7.3}$$

4. Buscamos el área requerida.

$$\bullet \quad A_{\text{req}} = \frac{(537.31 \text{ kips})}{(41.4 \text{ ksi})} = 12.98 \text{ in}^2 \quad \text{Ecuación 7.4}$$

5. De la tabla 1-12 del AISC, para perfiles HSS revisamos el perfil HSS 14x14x1/2, el cual tiene un área de  $24.6 \text{ in}^2$ , el cual tendrá un  $R_x = 5.49$  y  $R_y = 5.49$ .

6. Revisando las especificaciones de AASHTO de relación de esbeltez para elementos a tensión, la relación de esbeltez máxima para miembros arriostrados es de 240 y relación de 240 a tensión (AASHTO, 2017).

7. Comprobamos la relación de esbeltez en los miembros con  $L=12.66 \text{ ft} = 151.92 \text{ in}$ , y con un  $K = 1$  al ser una armadura con rotaciones libres en cada nudo.

$$\bullet \quad \frac{Kl}{r} = \frac{1(151.92)}{5.49} = 27.67 \text{ Extremos} \quad \text{Ecuación 7.5}$$

8. Como  $27.67 < 240$  los elementos cumplen la relación de esbeltez, por lo tanto es correcto usar el perfil HSS 14x14x1/2

9. Ahora comprobamos el esfuerzo de este perfil. Para lo cual encontramos  $\phi_t P_n$  para el perfil seleccionado.

Revisamos la tabla 5.5 del AISC para elementos a tensión, en la cual obtenemos el esfuerzo permisible para carga axial del perfil HSS 14x14x1/2.

En la figura 7.16 se muestra el valor de  $\phi_t P_n$  en la cual podemos encontrar el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último (de ruptura), nosotros compararemos el esfuerzo de fluencia con el esfuerzo obtenido de la carga.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO


<div>  <div> <b>Table 5-5</b>  <b>Available Strength in</b>  <b>Axial Tension</b>  <b>Square HSS</b> </div> <div> <math>F_y = 46 \text{ ksi}</math>  <math>F_u = 58 \text{ ksi}</math> </div> </div>						
Shape	Gross Area, $A_g$ in. <sup>2</sup>	$A_e =$ $0.75A_g$ in. <sup>2</sup>	Yielding kips		Rupture kips	
			$P_n/\phi_t$	$\phi_t P_n$	$P_n/\phi_t$	$\phi_t P_n$
			ASD	LRFD	ASD	LRFD
HSS16x16x5/8	35.0	26.3	964	1450	763	1140
x1/2	28.3	21.2	780	1170	615	922
x3/8	21.5	16.1	592	890	467	700
x5/16	18.1	13.6	499	749	394	592
HSS14x14x5/8	30.3	22.7	835	1250	658	987
x1/2	24.6	18.5	678	1020	537	806
x3/8	18.7	14.0	515	774	406	609
x5/16	15.7	11.8	432	650	342	513
HSS12x12x5/8	25.7	19.3	708	1060	560	840
x1/2	20.9	15.7	576	865	455	683
x3/8	16.0	12.0	441	662	348	522
x5/16	13.4	10.1	369	555	293	439
x1/4	10.8	8.10	297	447	235	352
x3/16	8.15	6.11	224	337	177	266
HSS10x10x5/8	21.0	15.8	578	869	458	687
x1/2	17.2	12.9	474	712	374	561
x3/8	13.2	9.90	364	546	287	431
x5/16	11.1	8.32	306	460	241	362
x1/4	8.96	6.72	247	371	195	292
x3/16	6.76	5.07	186	280	147	221
HSS9x9x5/8	18.7	14.0	515	774	406	609
x1/2	15.3	11.5	421	633	334	500
x3/8	11.8	8.85	325	489	257	386
x5/16	9.92	7.44	273	411	216	324
x1/4	8.03	6.02	221	332	175	262
x3/16	6.06	4.55	167	251	132	198
x1/8	4.09	3.07	113	169	89.0	134
HSS8x8x5/8	16.4	12.3	452	679	357	535
x1/2	13.5	10.1	372	559	293	439
x3/8	10.4	7.80	286	431	226	339
x5/16	8.76	6.57	241	363	191	286
x1/4	7.10	5.33	196	294	155	232
x3/16	5.37	4.03	148	222	117	175
x1/8	3.62	2.71	99.7	150	78.6	118

FIG. 7.16 OBTENCION DE  $\phi_t P_n$  POR EL CÓDIGO DEL AISC

10. Ahora tenemos  $\phi_t P_n = 1020 \text{ kips}$  que debe de ser mayor al requerido por la sección.

- $1020 \text{ kips} > 537.31 \text{ kips}$  -- OK

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es mayor que el esfuerzo requerido, entonces es correcto usar un perfil HSS 12x8x1/4.



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Cuerdas inferiores exteriores AB, HI, OP, VW a compresión

1. Los miembros a compresión de las cuerdas de AB, HI, OP, VW, los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial de -30026.49 kgf y tienen una longitud de 5.58 metros, los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 66.197 kips

Longitud = 18.04 ft

2. A continuación establecemos la relación de resistencia y carga, donde  $\phi_c = 0.90$ , esto debido al factor de reducción de la resistencia.

- $\phi_c F_n = f_u$  Ecuación 7.1

- $0.9 F_y = f_u$  Ecuación 7.2

3. Ahora establecemos el esfuerzo de diseño en  $F_y = 46$  ksi.

- $0.90 F_y = 0.90(46 \text{ ksi}) = 41.4 \text{ ksi}$  Ecuación 7.3

4. Buscamos el área requerida.

- $A_{\text{req}} = \frac{66.197 \text{ kips}}{41.4 \text{ ksi}} = 1.60 \text{ in}^2$  Ecuación 7.4

5. De la tabla 1-12 del AISC, para perfiles HSS revisamos el perfil HSS 5x5x1/2, el cual tiene un área de  $7.88 \text{ in}^2$ , el cual tendrá un  $R_x = 1.82$  y  $R_y = 1.82$ .

6. Revisando las especificaciones de AASHTO de relación de esbeltez, para elementos a compresión, la relación de esbeltez máxima para miembros principales es de 120 y para elementos arriostrados es 140, utilizaremos la relación de 120 al ser la más desfavorable (AASHTO, 2017).

7. Comprobamos la relación de esbeltez con  $L=18.04 \text{ ft} = 216.53 \text{ in}$ , con un  $K = 1$  al ser una armadura con rotaciones libres en cada nudo.

- $\frac{Kl}{r} = \frac{1(216.53)}{1.82} = 118.97$  Ecuación 7.5

8. Para el tramo  $L1$   $118.97 < 120$  la sección cumplen la relación de esbeltez, , por lo tanto es correcto usar el perfil HSS 5x5x1/2

9. Ahora comprobamos el esfuerzo de este perfil. Para lo cual encontramos  $\phi_c P_n$  para el perfil seleccionado. Primero encontramos la relación de  $Kl$  en ft.

- $Kl = 216.53 \text{ in} = 18.04 \text{ ft}$  Ecuación 7.6

Revisamos la tabla 4.4 del AISC para elementos a compresión en la cual obtenemos el esfuerzo permisible para carga axial del perfil HSS 5x5x1/4 usando  $Kl = 18.04$  y En la figura 7.17 se muestra el valor de  $\phi_c P_n$  para un  $Kl = 18 \text{ ft}$  el cual es muy aproximado el valor de  $Kl$  real.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

**Table 4-4 (continued)**  
**Available Strength in**  
**Axial Compression, kips**  
**Square HSS**

$F_y = 46 \text{ ksi}$

HSS5½-HSS5

Shape		HSS5½×5½×										HSS5×5	
		¾		⅝		¼		⅜		⅙		½	
$f_{design}$ , in.		0.349		0.291		0.233		0.174		0.116		0.465	
lb/ft		24.9		21.2		17.3		13.3		9.01		28.4	
Design		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$	
		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
Effective length, $KL$ (ft), with respect to least radius of gyration, $r_y$	0	190	285	161	242	131	197	100	150	58.0	87.2	217	326
	1	189	284	161	242	131	197	99.8	150	58.0	87.1	216	325
	2	188	282	160	240	130	196	99.2	149	57.8	86.9	215	322
	3	186	279	158	237	129	194	98.1	147	57.5	86.4	211	318
	4	183	275	156	234	127	191	96.7	145	57.0	85.7	207	311
	5	179	269	153	229	125	187	94.9	143	56.4	84.8	202	303
	6	175	263	149	224	122	183	92.8	139	55.7	83.7	195	294
	7	170	255	145	218	118	178	90.3	136	54.8	82.4	188	283
	8	164	247	140	211	115	172	87.5	132	53.8	80.9	180	271
	9	158	238	135	203	111	166	84.5	127	52.7	79.2	171	257
	10	151	228	130	195	106	160	81.2	122	51.4	77.3	162	244
	11	145	217	124	186	101	153	77.8	117	50.0	75.2	152	229
	12	137	206	118	177	96.6	145	74.1	111	48.5	72.8	142	214
	13	130	195	112	168	91.6	138	70.4	106	46.7	70.3	132	199
	14	122	184	105	158	86.6	130	66.6	100	44.9	67.5	122	184
	15	115	172	98.8	148	81.3	122	62.7	94.2	42.9	64.5	112	169
	16	107	161	92.3	139	76.1	114	58.8	88.3	40.4	60.7	103	154
	17	99.2	149	85.9	129	70.9	107	54.9	82.5	37.8	56.8	93.2	140
	18	91.7	138	79.6	120	65.8	98.9	51.0	76.7	35.2	52.9	84.1	126
	19	84.5	127	73.5	110	60.8	91.4	47.3	71.0	32.7	49.1	75.5	113
	20	77.4	118	67.5	101	55.9	84.1	43.6	65.5	30.2	45.4	68.1	102
	21	70.5	106	61.6	92.7	51.2	77.0	40.0	60.2	27.8	41.8	61.8	92.9
	22	64.2	96.5	56.2	84.4	46.7	70.1	36.5	54.9	25.4	38.2	56.8	84.6
	23	58.7	88.3	51.4	77.2	42.7	64.2	33.4	50.2	23.3	35.0	51.5	77.4
	24	53.9	81.1	47.2	70.9	39.2	58.9	30.7	46.1	21.4	32.1	47.3	71.1
	25	49.7	74.7	43.5	65.4	36.1	54.3	28.3	42.5	19.7	29.6	43.6	65.5
	26	46.0	69.1	40.2	60.4	33.4	50.2	26.2	39.3	18.2	27.4	40.3	60.6
	27	42.6	64.1	37.3	56.0	31.0	46.6	24.2	36.4	16.9	25.4	37.4	56.2
	28	39.6	59.6	34.7	52.1	28.8	43.3	22.5	33.9	15.7	23.6	34.8	52.2
	29	36.9	55.5	32.3	48.6	26.9	40.4	21.0	31.6	14.6	22.0	32.4	48.7
	30	34.5	51.9	30.2	45.4	25.1	37.7	19.6	29.5	13.7	20.6	30.3	45.5

FIG. 7.17 OBTENCION DE  $\phi_c P_n$  POR EL CÓDIGO DEL AISI

10. Ahora tenemos un  $\phi_c P_n = 126$  kips para el miembro con longitud de 18.04 ft, el valor de  $\phi_c P_n$  debe de ser mayor al requerido por la sección.

- $126 \text{ kips} > 66.197 \text{ kips}$  -- OK

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es mayor que el esfuerzo requerido, entonces es correcto usar un perfil HSS 5x5x1/2.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Diagonales Exteriores AJ, ÑI, OX, ABW a compresión

1. Los miembros a tensión de las cuerdas de AJ, ÑI, OX, ABW, los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial de -1172.16 kgf y tienen una longitud de 6.28 metros los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 2.584 kips

Longitud = 20.60 ft

2. A continuación establecemos la relación de resistencia y carga, donde  $\phi_t = 0.90$ , esto debido al factor de reducción de la resistencia.

- $\phi_t F_n = f_u$  Ecuación 7.1

- $0.9F_y = f_u$  Ecuación 7.2

3. Ahora establecemos el esfuerzo de diseño en  $F_y = 46$  ksi.

- $0.90F_y = 0.90(46 \text{ ksi}) = 41.4 \text{ ksi}$  Ecuación 7.3

4. Buscamos el área requerida.

- $A_{req} = \frac{2.584 \text{ kips}}{41.4 \text{ ksi}} = 0.062 \text{ in}^2$  Ecuación 7.4

5. De la tabla 1-12 del AISC, para perfiles HSS revisamos el perfil HSS 5 ½ x 5 ½ x 1/8, el cual tiene un área de 2.46 in<sup>2</sup>, el cual tendrá un  $R_x = 2.19$  y  $R_y = 2.19$  para lo cual usaremos  $R_y$  al ser más desfavorable.

6. Revisando las especificaciones de AASHTO de relación de esbeltez, para elementos a compresión, la relación de esbeltez máxima para miembros principales es de 120 y para elementos arriostrados es 140, utilizaremos la relación de 120 al ser la más desfavorable (AASHTO, 2017).

7. Comprobamos la relación de esbeltez con  $L = 20.60 \text{ ft} = 247.2 \text{ in}$ , con un  $K = 1$  al ser una armadura con rotaciones libres en cada nudo.

- $\frac{Kl}{r} = \frac{1(247.2)}{2.19} = 112.87$  Ecuación 7.5

8. Para el tramo con longitud de 20.60 ft se tiene  $112.87 < 120$  la sección cumple la relación de esbeltez, por lo tanto es correcto usar el perfil HSS 5 ½ x 5 ½ x 1/8.

9. Ahora comprobamos el esfuerzo de este perfil. Para lo cual encontramos  $\phi_c P_n$  para el perfil seleccionado. Primero encontramos la relación de  $Kl$  en ft.

- $Kl = 247.2 \text{ in} = 20.60 \text{ ft}$  Ecuación 7.6

Revisamos la tabla 4.4 del AISC para elementos a compresión en la cual obtenemos el esfuerzo permisible para carga axial del perfil HSS 5 ½ x 5 ½ x 1/8 usando  $Kl = 20.60$  y En la figura 7.18 se muestra el valor de  $\phi_c P_n$  para un  $Kl = 21 \text{ ft}$  el cual es muy aproximado el valor de  $Kl$  real.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Table 4-4 (continued)  
Available Strength in  
Axial Compression, kips  
Square HSS

$F_y = 46 \text{ ksi}$

HSS5½-HSS5

Shape		HSS5 ½×5 ½×										HSS5×5×	
		3/8	5/16	1/4	3/16	1/8 <sup>c</sup>	1/2						
$t_{design}$ , in.		0.349	0.291	0.233	0.174	0.116	0.465						
lb/ft		24.9	21.2	17.3	13.3	9.01	28.4						
Design		$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$
		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
Effective length, $KL$ (ft), with respect to least radius of gyration, $r_y$	0	190	285	161	242	131	197	100	150	58.0	87.2	217	326
	1	189	284	161	242	131	197	99.8	150	58.0	87.1	216	325
	2	188	282	160	240	130	196	99.2	149	57.8	86.9	215	322
	3	186	279	158	237	129	194	98.1	147	57.5	86.4	211	318
	4	183	275	156	234	127	191	96.7	145	57.0	85.7	207	311
	5	179	269	153	229	125	187	94.9	143	56.4	84.8	202	303
	6	175	263	149	224	122	183	92.8	139	55.7	83.7	195	294
	7	170	255	145	218	118	178	90.3	136	54.8	82.4	188	283
	8	164	247	140	211	115	172	87.5	132	53.8	80.9	180	271
	9	158	238	135	203	111	166	84.5	127	52.7	79.2	171	257
	10	151	228	130	195	106	160	81.2	122	51.4	77.3	162	244
	11	145	217	124	186	101	153	77.8	117	50.0	75.2	152	229
	12	137	206	118	177	96.6	145	74.1	111	48.5	72.8	142	214
	13	130	195	112	168	91.6	138	70.4	106	46.7	70.3	132	199
	14	122	184	105	158	86.5	130	66.6	100	44.9	67.5	122	184
	15	115	172	98.8	148	81.3	122	62.7	94.2	42.9	64.5	112	169
	16	107	161	92.3	139	76.1	114	58.8	88.3	40.4	60.7	103	154
	17	99.2	149	85.9	129	70.9	107	54.9	82.5	37.8	56.8	93.2	140
	18	91.7	138	79.6	120	65.8	98.9	51.0	76.7	35.2	52.9	84.1	126
	19	84.5	127	73.5	110	60.8	91.4	47.3	71.0	32.7	49.1	75.5	113
	20	77.4	116	67.5	101	55.9	84.1	43.6	65.5	30.2	45.4	66.1	102
	21	70.5	106	61.6	92.7	51.2	77.0	40.0	60.2	27.8	41.8	61.8	92.9
	22	64.2	96.5	56.2	84.4	46.7	70.1	36.5	54.9	25.4	38.2	56.8	84.6
	23	58.7	88.3	51.4	77.2	42.7	64.2	33.4	50.2	23.3	35.0	51.5	77.4
	24	53.9	81.1	47.2	70.9	39.2	58.9	30.7	46.1	21.4	32.1	47.3	71.1
	25	49.7	74.7	43.5	65.4	36.1	54.3	28.3	42.5	19.7	29.6	43.6	65.5
	26	46.0	69.1	40.2	60.4	33.4	50.2	26.2	39.3	18.2	27.4	40.3	60.6
	27	42.6	64.1	37.3	56.0	31.0	46.6	24.2	36.4	16.9	25.4	37.4	56.2
	28	39.6	59.6	34.7	52.1	28.8	43.3	22.5	33.9	15.7	23.6	34.8	52.2
	29	36.9	55.5	32.3	48.6	26.9	40.4	21.0	31.6	14.6	22.0	32.4	48.7
	30	34.5	51.9	30.2	45.4	25.1	37.7	19.6	29.5	13.7	20.6	30.3	45.5

FIG. 7.18 OBTENCIÓN DE  $\phi_t P_n$  POR EL CÓDIGO DEL AISC

10. Ahora tenemos un  $\phi_t P_n = 41.8 \text{ kips}$  para el miembro con longitud  $L = 20.60 \text{ ft}$ , el valor de  $\phi_c P_n$  debe de ser mayor al requerido por la sección.

- $41.8 \text{ kips} > 2.584 \text{ kips}$  -- OK

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es mayor que el esfuerzo requerido, entonces es correcto usar un perfil HSS 5 ½ x 5 ½ x 1/8.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Cuerdas inferiores centrales a BC, GH, PQ, UV a compresión

1. Los miembros a compresión de las cuerdas de BC, GH, PQ, UV, los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial de -30027.03 kgf y tienen una longitud de 1.93 metros los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 66.198 kips

Longitud = 6.33 ft

2. A continuación establecemos la relación de resistencia y carga, donde  $\phi_t = 0.90$ , esto debido al factor de reducción de la resistencia.

- $\phi_c F_n = f_u$  Ecuación 7.1

- $0.9 F_y = f_u$  Ecuación 7.2

3. Ahora establecemos el esfuerzo de diseño en  $F_y = 46$  ksi.

- $0.90 F_y = 0.90(46 \text{ ksi}) = 41.4 \text{ ksi}$  Ecuación 7.3

4. Buscamos el área requerida.

- $A_{req} = \frac{66.198 \text{ kips}}{41.4 \text{ ksi}} = 1.598 \text{ in}^2$  Ecuación 7.4

5. De la tabla 1-11 del AISC, para perfiles HSS revisamos el perfil HSS 5 x 5" x 1/4, el cual tiene un área de  $4.30 \text{ in}^2$ , el cual tendrá un  $R_x = 1.93$  y  $R_y = 1.93$  para lo cual usaremos  $R_y$  al ser más desfavorable.

6. Revisando las especificaciones de AASHTO de relación de esbeltez, para elementos a compresión, la relación de esbeltez máxima para miembros principales es de 120 y para elementos arriostrados es 140, utilizaremos la relación de 120 al ser la más desfavorable (AASHTO, 2017).

7. Comprobamos la relación de esbeltez con  $L = 6.33 \text{ ft} = 75.96 \text{ in}$ , con un  $K = 1$  al ser una armadura con rotaciones libres en cada nudo.

- $\frac{Kl}{r} = \frac{1(75.96)}{1.93} = 39.35$  Ecuación 7.5

8. Para el tramo con longitud de 6.33 ft se tiene  $39.35 < 120$  la sección cumple la relación de esbeltez, por lo tanto es correcto usar el perfil HSS 5x5 x 1/4

9. Ahora comprobamos el esfuerzo de este perfil. Para lo cual encontramos  $\phi_c P_n$  para el perfil seleccionado. Primero encontramos la relación de  $Kl$  en ft.

- $Kl = 75.96 \text{ in} = 6.33 \text{ ft}$  Ecuación 7.6

Revisamos la tabla 4.3 del AISC para elementos a compresión en la cual obtenemos el esfuerzo permisible para carga axial del perfil HSS 5x5x1/4 usando  $Kl = 6.33$  y En la figura 7.19 se muestra el valor de  $\phi_c P_n$  para un  $Kl = 7 \text{ ft}$  el cual es muy aproximado el valor de  $Kl$  real.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

**Table 4-4 (continued)**  
**Available Strength in**  
**Axial Compression, kips**  
**Square HSS**

$F_y = 46 \text{ ksi}$

HSS5-HSS4½

Shape		HSS5×5×										HSS4½×4½×	
		3/8	5/16		1/4		3/16		1/8		1/2		
$I_{design}$ , in.		0.349	0.291		0.233		0.174		0.116		0.466		
lb/ft		22.4	19.1		15.6		12.0		8.16		25.0		
Design		$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$	$P_n/\Omega_c$	$\phi_c P_n$
		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
Effective length, $KL$ (ft), with respect to least radius of gyration, $r_y$	0	170	256	145	218	118	178	90.3	136	56.4	84.8	191	288
	1	170	255	144	217	118	178	90.1	135	56.4	84.7	191	287
	2	168	253	143	215	117	176	89.4	134	56.1	84.3	189	283
	3	166	250	141	213	116	174	88.3	133	55.7	83.7	185	278
	4	163	245	139	209	114	171	86.8	130	55.1	82.8	180	271
	5	159	239	135	204	111	167	84.8	127	54.3	81.6	174	262
	6	154	232	132	198	108	162	82.5	124	53.4	80.2	167	252
	7	149	223	127	191	104	157	79.8	120	52.3	78.5	159	240
	8	143	214	122	183	100	151	76.9	116	51.0	76.6	151	227
	9	136	204	117	175	95.9	144	73.7	111	49.5	74.4	141	213
	10	129	194	111	167	91.3	137	70.2	106	47.8	71.9	132	198
	11	122	183	105	157	86.5	130	66.6	100	45.7	68.7	122	183
	12	114	172	98.5	148	81.4	122	62.8	94.4	43.2	64.9	112	168
	13	107	160	92.1	138	76.3	115	59.0	88.7	40.6	61.1	102	153
	14	98.9	149	85.6	129	71.1	107	55.1	82.8	38.0	57.2	92.0	138
	15	91.3	137	79.2	119	66.0	99.2	51.2	77.0	35.4	53.2	82.6	124
	16	83.8	126	72.9	110	60.9	91.5	47.4	71.2	32.8	49.4	73.5	110
	17	76.4	115	66.7	100	55.9	84.0	43.6	65.5	30.3	45.5	65.1	97.8
	18	69.4	104	60.7	91.3	51.0	76.7	39.9	60.0	27.8	41.8	58.0	87.2
	19	62.5	93.9	54.9	82.5	46.3	69.6	36.4	54.6	25.4	38.2	52.1	78.3
	20	56.4	84.8	49.6	74.5	41.8	62.8	32.9	49.4	23.0	34.6	47.0	70.7
	21	51.2	76.9	44.9	67.6	37.9	57.0	29.8	44.8	20.9	31.4	42.6	64.1
	22	46.6	70.0	41.0	61.5	34.5	51.9	27.2	40.8	19.0	28.6	38.9	58.4
	23	42.6	64.1	37.5	56.3	31.6	47.5	24.9	37.4	17.4	26.2	35.5	53.4
	24	39.2	58.9	34.4	51.7	29.0	43.6	22.8	34.3	16.0	24.1	32.6	49.1
	25	36.1	54.2	31.7	47.7	26.7	40.2	21.0	31.6	14.7	22.2	30.1	45.2
	26	33.4	50.2	29.3	44.1	24.7	37.2	19.5	29.2	13.6	20.5	27.8	41.8
	27	30.9	46.5	27.2	40.9	22.9	34.5	18.0	27.1	12.6	19.0		
	28	28.8	43.2	25.3	38.0	21.3	32.1	16.8	25.2	11.8	17.7		
	29	26.8	40.3	23.6	35.4	19.9	29.9	15.6	23.5	11.0	16.5		

**Properties**

$A_g$ , in. <sup>2</sup>	6.18	5.26	4.30	3.28	2.23	6.95
$I_y = I_x$ , in. <sup>4</sup>	21.7	19.0	16.0	12.6	8.80	18.1
$r_y = r_x$ , in.	1.87	1.90	1.93	1.96	1.99	1.61
ASD	LRFD	* Shape is slender for compression with $F_y = 46 \text{ ksi}$ . Note: Heavy line indicates $KL/r_y$ equal to or greater than 200.				
$\Omega_c = 1.67$	$\phi_c = 0.90$					

FIG. 7.19 OBTENCION DE  $\phi_c P_n$  POR EL CÓDIGO DEL AISI

10. Ahora tenemos un  $\phi_c P_n = 104 \text{ kips}$  para el miembro con longitud  $L = 6.33 \text{ ft}$ , el valor de  $\phi_c P_n$  debe de ser mayor al requerido por la sección.

- $104 \text{ kips} > 66.198 \text{ kips}$  -- OK

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es mayor que el esfuerzo requerido, entonces es correcto usar un perfil  $5 \times 5 \times 1/4$ .



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Cuerdas inferiores centrales CD, DE, EF, FG, QR, RS, ST, TU, a tensión

1. Los miembros a tensión de las cuerdas de CD, DE, EF, FG, QR, RS, ST, TU, los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial de 41979.72 kgf y tienen una longitud de 3.86 metros, los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 92.549 kips

Longitud = 12.66 ft

2. A continuación establecemos la relación de resistencia y carga, donde  $\phi_c = 0.90$ , esto debido al factor de reducción de la resistencia.

- $\phi_t F_n = f_u$  Ecuación 7.1

- $0.9 F_y = f_u$  Ecuación 7.2

3. Ahora establecemos el esfuerzo de diseño en  $F_y = 46$  ksi.

- $0.90 F_y = 0.90(46 \text{ ksi}) = 41.4 \text{ ksi}$  Ecuación 7.3

4. Buscamos el área requerida.

- $A_{\text{req}} = \frac{95.549 \text{ kips}}{41.4 \text{ ksi}} = 2.31 \text{ in}^2$  Ecuación 7.4

5. De la tabla 1-11 del AISC, para perfiles HSS revisamos el perfil HSS 5x5 x1/4, el cual tiene un área de  $3.14 \text{ in}^2$ , el cual tendrá un  $R_x = 1.93$  y  $R_y = 1.93$  para lo cual usaremos  $R_y$  al ser más desfavorable.

6. Revisando las especificaciones de AASHTO de relación de esbeltez para elementos a tensión, la relación de esbeltez máxima para miembros arriostrados es de 240 y relación de 240 a tensión (AASHTO, 2017).

7. Comprobamos la relación de esbeltez con  $L = 12.66 \text{ ft} = 151.92 \text{ in}$ , con un  $K = 1$  al ser una armadura con rotaciones libres en cada nudo.

- $\frac{Kl}{r} = \frac{1(151.92)}{1.93} = 78.71$  Ecuación 7.5

8. Para el tramo de longitud  $L = 12.66$  se tiene  $78.71 < 240$ , la sección cumple la relación de esbeltez, por lo tanto es correcto usar el perfil HSS 5x5 x1/4.


9. Ahora comprobamos el esfuerzo de este perfil. Para lo cual encontramos  $\phi_t P_n$  para el perfil seleccionado.

Revisamos la tabla 5.4 del AISC para elementos a tensión, en la cual obtenemos el esfuerzo permisible para carga axial del perfil HSS 5x5 x1/4

En la figura 7.20 se muestra el valor de  $\phi_t P_n$  en la cual podemos encontrar el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último (de ruptura), nosotros compararemos el esfuerzo de fluencia con el esfuerzo obtenido de la carga.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

**Table 5-5 (continued)**  
**Available Strength in**  
**Axial Tension**  
**Square HSS**

  
HSS7-HSS4 1/2

$F_y = 46 \text{ ksi}$   
 $F_u = 58 \text{ ksi}$

Shape	Gross Area, $A_g$ in. <sup>2</sup>	$A_e =$ $0.75A_g$ in. <sup>2</sup>	Yielding kips		Rupture kips	
			$P_n/\Omega_t$	$\phi_t P_n$	$P_n/\Omega_t$	$\phi_t P_n$
			ASD	LRFD	ASD	LRFD
HSS7x7x5/8	14.0	10.5	386	580	305	457
x1/2	11.6	8.70	320	480	252	378
x3/8	8.97	6.73	247	371	195	293
x5/16	7.59	5.69	209	314	165	248
x1/4	6.17	4.63	170	255	134	201
x3/16	4.67	3.50	129	193	102	152
x1/8	3.16	2.37	87.0	131	68.7	103
HSS6x6x5/8	11.7	8.78	322	484	255	382
x1/2	9.74	7.30	268	403	212	318
x3/8	7.58	5.69	209	314	165	248
x5/16	6.43	4.82	177	266	140	210
x1/4	5.24	3.93	144	217	114	171
x3/16	3.98	2.99	110	165	86.7	130
x1/8	2.70	2.03	74.4	112	58.9	88.3
HSS5 1/2x5 1/2x3/8	6.88	5.16	190	285	150	224
x3/16	5.85	4.39	161	242	127	191
x1/4	4.77	3.58	131	197	104	156
x3/16	3.63	2.72	100	150	78.9	118
x1/8	2.46	1.85	67.8	102	53.7	80.5
HSS5x5x1/2	7.88	5.91	217	326	171	257
x3/8	6.18	4.63	170	256	134	201
x5/16	5.26	3.94	145	218	114	171
x1/4	4.30	3.22	118	178	93.4	140
x3/16	3.28	2.46	90.3	136	71.3	107
x1/8	2.23	1.67	61.4	92.3	48.4	72.6
HSS4 1/2x4 1/2x1/2	6.96	5.21	191	288	151	227
x3/8	5.48	4.11	151	227	119	179
x5/16	4.68	3.51	129	194	102	153
x1/4	3.84	2.88	106	159	83.5	125
x3/16	2.93	2.20	80.7	121	63.8	95.7
x1/8	2.00	1.50	55.1	82.8	43.5	65.3

FIG. 7.20 OBTENCIÓN DE  $\phi_t P_n$  POR EL CÓDIGO DEL AISC

10. Ahora tenemos un  $\phi_t P_n = 178 \text{ kips}$  para el miembro con longitud  $L = 12.66$ , el valor de  $\phi_t P_n$  debe de ser mayor al requerido por la sección.

- $178 \text{ kips} > 92.549 \text{ kips}$  -- OK

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es mayor que el esfuerzo requerido, entonces es correcto usar un perfil HSS 5x5 x1/4.

Diagonales centrales CK, DL, EM, MF, NG, QY, RZ, SAA, AAT, ABU a compresión

1. Los miembros de las diagonales están a compresión y tensión, son las secciones CK, DL, EM, MF, NG, QY, RZ, SAA, AAT, ABU los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial a compresión de -35086.13 kgf y una longitud de 3.47 metros los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 77.351 kips

Longitud = 11.38 ft

2. A continuación establecemos la relación de resistencia y carga, donde  $\phi_t = 0.90$ , esto debido al factor de reducción de la resistencia.

- $\phi_c F_n = f_u$  Ecuación 7.1

- $0.9 F_y = f_u$  Ecuación 7.2

3. Ahora establecemos el esfuerzo de diseño en  $F_y = 46$  ksi.

- $0.90 F_y = 0.90(46 \text{ ksi}) = 41.4 \text{ ksi}$  Ecuación 7.3

4. Buscamos el área requerida.

- $A_{req} = \frac{77.351 \text{ kips}}{41.4 \text{ ksi}} = 1.87 \text{ in}^2$  Ecuación 7.4

5. De la tabla 1-11 del AISC, para perfiles HSS revisamos el perfil HSS 5x4x1/4, el cual tiene un área de  $3.84 \text{ in}^2$ , el cual tendrá un  $R_x = 1.87$  y  $R_y = 1.57$  para lo cual usaremos  $R_y$  al ser más desfavorable.

6. Revisando las especificaciones de AASHTO de relación de esbeltez, para elementos a compresión, la relación de esbeltez máxima para miembros principales es de 120 y para elementos arriostrados es 140, utilizaremos la relación de 120 al ser la más desfavorable (AASHTO, 2017).

7. Comprobamos la relación de esbeltez con  $L = 11.38 \text{ ft} = 136.56 \text{ in}$ , con un  $K = 1$  al ser una armadura con rotaciones libres en cada nudo.

- $\frac{Kl}{r} = \frac{1(136.56)}{1.57} = 86.98$  Ecuación 7.5

8. Para el tramo con longitud de 11.38 ft se tiene  $86.98 < 120$  la sección cumple la relación de esbeltez, por lo tanto es correcto usar el perfil HSS 5x4x1/4

9. Ahora comprobamos el esfuerzo de este perfil. Para lo cual encontramos  $\phi_c P_n$  para el perfil seleccionado. Primero encontramos la relación de  $Kl$  en ft.

- $Kl = 136.56 = 11.38 \text{ ft}$  Ecuación 7.6

Revisamos la tabla 4.3 del AISC para elementos a compresión en la cual obtenemos el esfuerzo permisible para carga axial del perfil HSS 5x4 x1/4 usando  $Kl = 11.38$  y En la figura 7.21 se muestra el valor de  $\phi_c P_n$  para un  $Kl = 12 \text{ ft}$  el cual es muy aproximado el valor de  $Kl$  real.


<p><b>Table 4-3 (continued)</b>  <b>Available Strength in</b>  <b>Axial Compression, kips</b>  <b>Rectangular HSS</b></p>													
$F_y = 46 \text{ ksi}$													
		 HSS5											
Shape		HSS5x4x											
$t_{\text{design}}, \text{in.}$		$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}^c$						
lb/ft		25.0	19.8	17.0	13.9	10.7	7.31						
Design		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$		$P_n/\Omega_c$		$\phi_c P_n$	
		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
Effective length, $KL$ (ft), with respect to least radius of gyration, $r_y$	0	191	288	151	227	129	194	106	159	80.7	121	52.6	79.1
	1	191	286	150	226	128	193	105	158	80.4	121	52.4	78.8
	2	188	283	148	223	127	191	104	156	79.5	119	52.0	78.1
	3	184	276	145	218	124	187	102	153	78.0	117	51.2	77.0
	4	178	268	141	212	121	181	99.3	149	76.0	114	50.2	75.4
	5	171	257	136	204	116	175	95.9	144	73.4	110	48.9	73.4
	6	163	244	130	195	111	167	91.8	138	70.4	106	47.3	71.0
	7	153	230	123	185	106	159	87.2	131	67.0	101	45.4	68.3
	8	143	215	115	173	99.3	149	82.3	124	63.3	95.2	43.3	65.1
	9	132	199	107	162	92.6	139	76.9	116	59.4	89.3	40.9	61.4
	10	122	183	99.3	149	85.7	129	71.4	107	55.3	83.1	38.1	57.2
	11	110	166	90.9	137	78.6	118	65.7	98.8	51.1	76.7	35.2	53.0
	12	99.5	150	82.5	124	71.6	108	60.1	90.3	46.8	70.3	32.4	48.7
	13	88.8	133	74.3	112	64.6	97.2	54.4	81.8	42.6	64.0	29.5	44.4
	14	78.6	118	66.4	99.7	57.9	87.0	49.0	73.6	38.4	57.8	26.7	40.2
	15	68.7	103	58.7	88.3	51.4	77.3	43.7	65.7	34.4	51.8	24.0	36.1
	16	60.4	90.8	51.6	77.6	45.3	68.0	38.6	58.0	30.6	46.0	21.4	32.2
	17	53.5	80.4	45.7	68.7	40.1	60.3	34.2	51.4	27.1	40.7	19.0	28.5
	18	47.7	71.7	40.8	61.3	35.8	53.7	30.5	45.8	24.2	36.3	16.9	25.4
	19	42.8	64.4	36.6	55.0	32.1	48.2	27.4	41.1	21.7	32.6	15.2	22.8
	20	38.7	58.1	33.0	49.7	29.0	43.5	24.7	37.1	19.6	29.4	13.7	20.6
	21	35.1	52.7	30.0	45.0	26.3	39.5	22.4	33.7	17.8	26.7	12.4	18.7
	22	31.9	48.0	27.3	41.0	23.9	36.0	20.4	30.7	16.2	24.3	11.3	17.0
	23	29.2	43.9	25.0	37.5	21.9	32.9	18.7	28.1	14.8	22.2	10.4	15.6
	24	26.8	40.4	22.9	34.5	20.1	30.2	17.2	25.8	13.6	20.4	9.51	14.3
	25			21.1	31.8	18.5	27.9	15.8	23.8	12.5	18.8	8.77	13.2
	26							14.6	22.0	11.6	17.4	8.10	12.2
	27											7.52	11.3

FIG. 7.21 OBTENCIÓN DE  $\phi_c P_n$  POR EL CÓDIGO DEL AISC

10. Ahora tenemos un  $\phi_c P_n = 90.3$  kips para el miembro con longitud  $L = 11.38$  ft, el valor de  $\phi_c P_n$  debe de ser mayor al requerido por la sección.

- $90.3 \text{ kips} > 77.351 \text{ kips}$  -- OK

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es mayor que el esfuerzo requerido, entonces es correcto usar un perfil  $5 \times 4 \times 1/4$ .

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Diagonales centrales JC, KD, LE, FN, GÑ, XQ, YR, ZS, TAB, UAC a tensión

1. Los miembros a tensión de las cuerdas de JC, KD, LE, FN, GÑ, XQ, YR, ZS, TAB, UAC los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial de 35402.73 kgf y tienen una longitud de 3.47 metros, los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 78.049 kips

Longitud = 11.38 ft

2. A continuación establecemos la relación de resistencia y carga, donde  $\phi_c = 0.90$ , esto debido al factor de reducción de la resistencia.

- $\phi_t F_n = f_u$  Ecuación 7.1

- $0.9F_y = f_u$  Ecuación 7.2

3. Ahora establecemos el esfuerzo de diseño en  $F_y = 46$  ksi.

- $0.90F_y = 0.90(46 \text{ ksi}) = 41.4 \text{ ksi}$  Ecuación 7.3

4. Buscamos el área requerida.

- $A_{\text{req}} = \frac{78.049 \text{ kips}}{41.4 \text{ ksi}} = 1.88 \text{ in}^2$  Ecuación 7.4

5. De la tabla 1-11 del AISC, para perfiles HSS revisamos el perfil HSS 5x4x1/4, el cual tiene un área de  $3.84 \text{ in}^2$ , el cual tendrá un  $R_x = 1.87$  y  $R_y = 1.57$  para lo cual usaremos  $R_y$  al ser más desfavorable.

6. Revisando las especificaciones de AASHTO de relación de esbeltez para elementos a tensión, la relación de esbeltez máxima para miembros arriostrados es de 240 y relación de 240 a tensión (AASHTO, 2017).

7. Comprobamos la relación de esbeltez con  $L = 11.38 \text{ ft} = 136.56 \text{ in}$ , con un  $K = 1$  al ser una armadura con rotaciones libres en cada nudo.

- $\frac{Kl}{r} = \frac{1(136.56)}{1.57} = 86.98$  Ecuación 7.5

8. Para el tramo de longitud  $L = 11.38$  se tiene  $86.98 < 240$ , la sección cumple la relación de esbeltez, por lo tanto es correcto usar el perfil HSS 5x4 x1/4.

9. Ahora comprobamos el esfuerzo de este perfil. Para lo cual encontramos  $\phi_t P_n$  para el perfil seleccionado.

Revisamos la tabla 5.4 del AISC para elementos a tensión, en la cual obtenemos el esfuerzo permisible para carga axial del perfil HSS 5x4 x1/4

En la figura 7.22 se muestra el valor de  $\phi_t P_n$  en la cual podemos encontrar el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último (de ruptura), nosotros compararemos el esfuerzo de fluencia con el esfuerzo obtenido de la carga.

**Table 5-4 (continued)**  
**Available Strength in**  
**Axial Tension**  
**Rectangular HSS**

$F_y = 46 \text{ ksi}$   
 $F_u = 58 \text{ ksi}$

HSS6-HSS5

Shape	Gross Area, $A_g$ in. <sup>2</sup>	$A_n = 0.75A_g$ in. <sup>2</sup>	kips		Rupture kips	
			Yielding			
			$P_n/\Omega_t$ ASD	$\phi_t P_n$ LRFD	$P_n/\Omega_t$ ASD	$\phi_t P_n$ LRFD
HSS6x4x1/2	7.88	5.91	217	326	171	257
x3/8	6.18	4.63	170	256	134	201
x5/16	5.26	3.94	145	218	114	171
x1/4	4.30	3.22	118	178	93.4	140
x3/16	3.28	2.46	90.3	136	71.3	107
x1/8	2.23	1.67	61.4	92.3	48.4	72.6
HSS6x3x1/2	6.95	5.21	191	288	151	227
x3/8	5.48	4.11	151	227	119	179
x5/16	4.68	3.51	129	194	102	153
x1/4	3.84	2.88	106	159	83.5	125
x3/16	2.93	2.20	80.7	121	63.8	95.7
x1/8	2.00	1.50	55.1	82.8	43.5	65.3
HSS6x2x3/4	4.78	3.58	132	198	104	156
x5/16	4.10	3.08	113	170	89.3	134
x1/4	3.37	2.53	92.8	140	73.4	110
x3/16	2.58	1.94	71.1	107	56.3	84.4
x1/8	1.77	1.33	48.8	73.3	38.6	57.9
HSS5x4x1/2	6.95	5.21	191	288	151	227
x3/8	5.48	4.11	151	227	119	179
x5/16	4.68	3.51	129	194	102	153
x1/4	3.84	2.88	106	159	83.5	125
x3/16	2.93	2.20	80.7	121	63.8	95.7
x1/8	2.00	1.50	55.1	82.8	43.5	65.3
HSS5x3x1/2	6.02	4.51	166	249	131	196
x3/8	4.78	3.58	132	198	104	156
x5/16	4.10	3.08	113	170	89.3	134
x1/4	3.37	2.53	92.8	140	73.4	110
x3/16	2.58	1.94	71.1	107	56.3	84.4
x1/8	1.77	1.33	48.8	73.3	38.6	57.9
HSS5x2 1/2x1/4	3.14	2.36	86.5	130	68.4	103
x3/16	2.41	1.81	66.4	99.8	52.5	78.7
x1/8	1.65	1.24	45.4	68.3	36.0	53.9

FIG. 7.22 OBTENCIÓN DE  $\phi_t P_n$  POR EL CÓDIGO DEL AISC

10. Ahora tenemos un  $\phi_t P_n = 159 \text{ kips}$  para el miembro con longitud  $L = 11.38$ , el valor de  $\phi_t P_n$  debe de ser mayor al requerido por la sección.

- $159 \text{ kips} > 78.049 \text{ kips}$  -- OK

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es mayor que el esfuerzo requerido, entonces es correcto usar un perfil HSS 5x 4 x 1/4.



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Montantes BJ, HÑ, PX, VAC a tensión

1. Los miembros de los montantes a tensión, son las secciones BJ, HÑ, PX, VAC los cuales tienen un esfuerzo máximo de carga axial a tensión de 503.77 kgf y una longitud de 3.89 metros en los extremos los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial tensión = 1.110kips

Longitud = 12.76 ft

2. La sección mínima que utilizaremos es un perfil HSS 3x2x1/8, como observamos en los análisis anteriores, este perfil soportara sin ningún problemas la carga de compresión de 1.110 kips, por lo tanto es adecuado utilizar este perfil.

Cuerdas transversales inferiores BP, CQ, DR, ES, TF, UG.

1. Los miembros de las cuerdas trasversales inferiores a tensión, son las secciones BP, CQ, DR, ES, TF, UG los cuales tiene un esfuerzo máximo de carga axial de 57.28 kgf y una longitud de 3.11 metros en los extremos los transformamos a Kip y ft y obtenemos lo siguiente.

Carga Axial = 0.126 kips

Longitud = 10.20 ft

2. La sección mínima que utilizaremos es un perfil HSS 3x2x1/8, como observamos en los análisis anteriores, este perfil soportara sin ningún problemas la carga de compresión de 0.126 kips, por lo tanto es adecuado utilizar este perfil.

En la figura 7.23 se muestra como queda conformada la armadura con sus perfiles en cada miembro.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

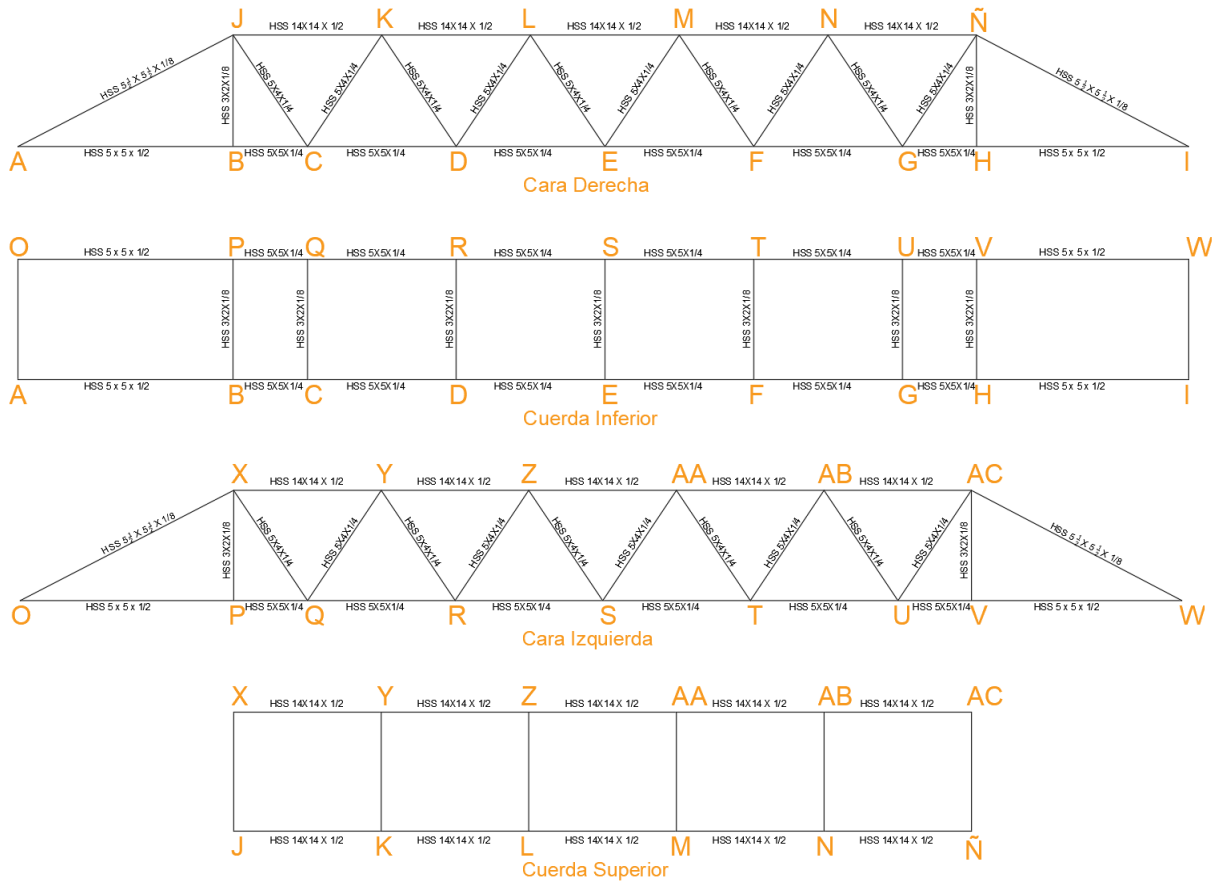


FIG. 7.23 PERFIL SELECCIONADO PARA CADA MIEMBRO

### 7.3.1.5 DESPLAZAMIENTO VERTICAL CON ARMADURA COLOCADA

En esta parte se obtienen los desplazamientos verticales de la losa central del puente con la armadura colocada, con sus perfiles y sus materiales diseñados, se aplicaron las cargas de la Figura 4.15 del Capítulo 4. Dichas cargas se evalúan con respecto a la combinación de carga de Servicio I (I 1.0DC+1.0DW+1.0 (LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR), la cual está encargada de evaluar las deflexiones y deformaciones.

La deflexión máxima deberá de ser menor a la permitida por el manual de AASHTO.

Deflexión máxima permitida = Longitud/800 (AASHTO, 2017).

$$\text{Deflexión máxima} = \frac{2038 \text{ cm}}{800} = 2.5475 \text{ cm.}$$

Los resultados del análisis anterior se muestran en la Tabla 7.1. Dichos resultados se presentan en términos de desplazamientos de la losa central del puente y se encuentran ordenados de mayor a menor.

Donde:

- U1 = Desplazamiento en dirección X en centímetros
- U2 = Desplazamiento en dirección Y en centímetros
- U3 = Desplazamiento en dirección Z en centímetros

**TABLA 7-1 DESPLAZAMIENTO DE LOS NODOS (CM)**

Nodo	Combinación de Carga	U1	U2	U3
		cm	cm	cm
1221	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.003	-0.130	-1.348
1220	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.004	-0.121	-1.276
1232	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.120	-0.121	-1.261
13	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.059	-0.130	-1.239
1210	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.145	-0.120	-1.237
1219	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.006	-0.111	-1.209
1231	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.114	-0.112	-1.195
1209	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.136	-0.112	-1.170
1218	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.007	-0.095	-1.150
1230	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.109	-0.103	-1.133
1208	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.127	-0.103	-1.109
14	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.053	-0.096	-1.102
1217	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.007	-0.081	-1.100
1229	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.100	-0.088	-1.078
1216	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.007	-0.068	-1.057
1207	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.115	-0.089	-1.053
1228	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.099	-0.075	-1.032
1215	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.006	-0.060	-1.021
1243	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.238	-0.096	-1.007
1206	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.116	-0.076	-1.007
1227	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.095	-0.064	-0.992

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

19	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.051	-0.068	-0.992
1214	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.009	-0.049	-0.991
15	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.203	-0.106	-0.986
1213	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.009	-0.038	-0.967
1205	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.114	-0.066	-0.966
1199	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.232	-0.092	-0.963
1226	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.091	-0.054	-0.959
1242	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.225	-0.093	-0.953
1212	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.011	-0.033	-0.948
20	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.050	-0.047	-0.936
1211	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.014	-0.025	-0.932
1225	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.086	-0.042	-0.932
1204	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.111	-0.058	-0.931
1224	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.086	-0.029	-0.912
1198	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.217	-0.087	-0.912
1241	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.209	-0.085	-0.902
1203	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.103	-0.048	-0.902
1223	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.085	-0.031	-0.896
1222	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.085	-0.022	-0.882
1202	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.109	-0.039	-0.878
16	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.183	-0.079	-0.876
1197	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.209	-0.087	-0.862
1201	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.109	-0.034	-0.858
1240	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.192	-0.071	-0.857
1200	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.109	-0.028	-0.842
1239	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.190	-0.061	-0.820
1196	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.192	-0.073	-0.817
21	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.164	-0.054	-0.792
1238	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.184	-0.048	-0.789
1195	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.191	-0.062	-0.778
1237	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.180	-0.044	-0.764
22	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.151	-0.051	-0.750
1194	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.184	-0.054	-0.745
1236	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.167	-0.035	-0.741
1235	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.173	-0.023	-0.726
1193	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.177	-0.048	-0.717
1234	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.170	-0.031	-0.710
1233	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.171	-0.023	-0.697
7	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.245	-0.095	-0.692
1192	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.168	-0.041	-0.691
1191	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.172	-0.036	-0.670
1190	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.173	-0.033	-0.651
1189	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.175	-0.030	-0.633

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

1254	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.290	-0.056	-0.619
8	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.220	-0.064	-0.608
1188	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.275	-0.055	-0.594
1253	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.272	-0.055	-0.588
1187	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.261	-0.057	-0.562
1252	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.254	-0.052	-0.558
17	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.197	-0.048	-0.539
1251	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.228	-0.045	-0.530
1186	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.239	-0.054	-0.529
1250	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.230	-0.038	-0.507
1185	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.217	-0.047	-0.500
18	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.189	-0.043	-0.496
1249	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.223	-0.032	-0.487
1184	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.217	-0.040	-0.475
1248	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.214	-0.027	-0.471
1247	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.198	-0.022	-0.457
1183	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.210	-0.033	-0.454
1246	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.205	-0.019	-0.445
1182	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.202	-0.031	-0.436
1245	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.204	-0.018	-0.434
1244	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.204	-0.018	-0.424
1181	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.185	-0.028	-0.419
1180	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.190	-0.027	-0.403
1179	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.186	-0.028	-0.387
1178	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.183	-0.028	-0.371
1265	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.240	-0.015	-0.233
1177	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.230	-0.016	-0.223
1264	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.226	-0.020	-0.223
1176	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.215	-0.022	-0.213
1263	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.212	-0.021	-0.212
1262	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.189	-0.019	-0.201
1175	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.201	-0.023	-0.201
1261	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.192	-0.015	-0.192
1174	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.178	-0.020	-0.189
1260	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.186	-0.012	-0.185
1173	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.179	-0.015	-0.179
1259	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.179	-0.010	-0.179
1258	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.163	-0.008	-0.173
1172	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.172	-0.013	-0.171
1257	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.170	-0.007	-0.168
1171	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.164	-0.011	-0.164
1256	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.168	-0.009	-0.163
1170	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.149	-0.010	-0.157

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

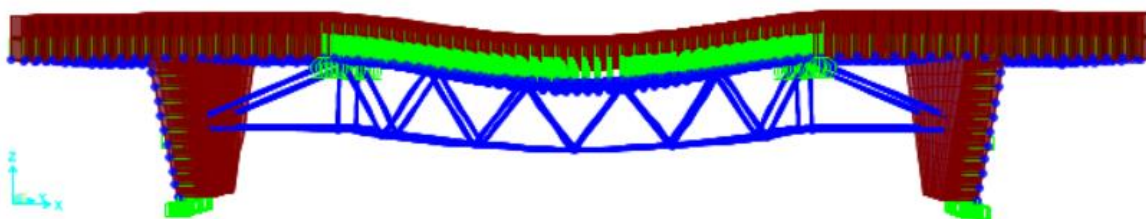
1255	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	0.166	-0.014	-0.156
1169	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.152	-0.010	-0.150
1168	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.148	-0.012	-0.143
1167	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-0.143	-0.017	-0.133

En la tabla 7.2 comparamos la deflexión máxima de la losa del puente con armadura y sin armadura y observamos que la deflexión máxima disminuye más del 50%. A lo cual podemos observar que al reducir la deflexión máxima más del 50% se cumple lo especificado en el manual de AASHTO.

**TABLA 7-2 COMPARACIÓN DE DEFLEXIONES (CM)**

Nodo	Combinación de Carga	U3 Máxima Permitida	U3 Con Armadura	U3 Sin Armadura	Diferencia
		cm	cm	cm	cm
1221	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-2.540	-1.348	-3.021	55%
1220	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-2.540	-1.276	-2.930	56%
1232	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-2.540	-1.261	-2.851	56%
13	Servicio I 1.0DC+1.0DW+1.0(LL1+LL2)+1.0IM+1.0BR	-2.540	-1.239	-2.864	57%

Por lo tanto es una solución colocar una armadura bien diseñada para disminuir la deflexión máxima de la losa central. En la figura 7.24 se observa en diagrama de cómo se vería la deflexión de puente con la armadura colocada.



**FIG. 7.24 DIAGRAMA DE PUENTE Y ARMADURA CON DEFLEXIONES**



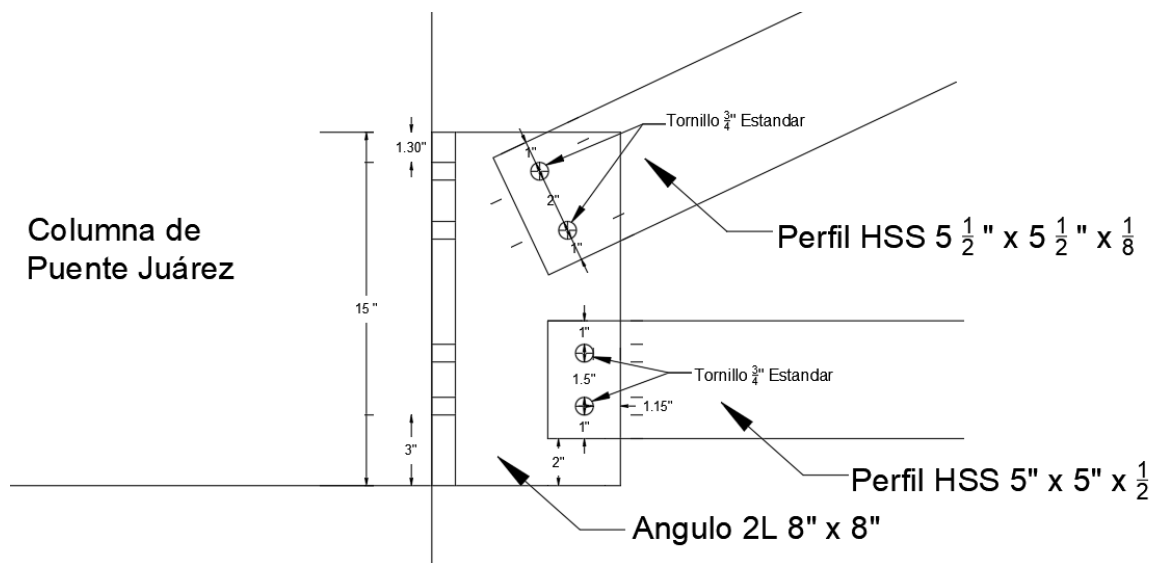
### 7.3.1.6 DETALLES DE CONEXIONES DE PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

En los últimos años un método muy común para conectar miembros de una estructura de acero fueron los remaches. Sin embargo en años recientes, ha ido decaendo rápidamente debido al gran incremento del uso de la soldadura y más recientemente el uso de tornillos de alta resistencia.

El acoplamiento de estructuras de acero por medio de tornillos, es un proceso muy sencillo y además muy rápido, requiere una mano de obra menos especializada que cuando se trabaja con soldadura. Aunque el costo puede ser más elevado por tornillo, al final será menor por la mano de obra más económica y en número de tornillos será menor que el de remaches.

#### 7.3.1.6.1 DETALLE DE CONEXIÓN

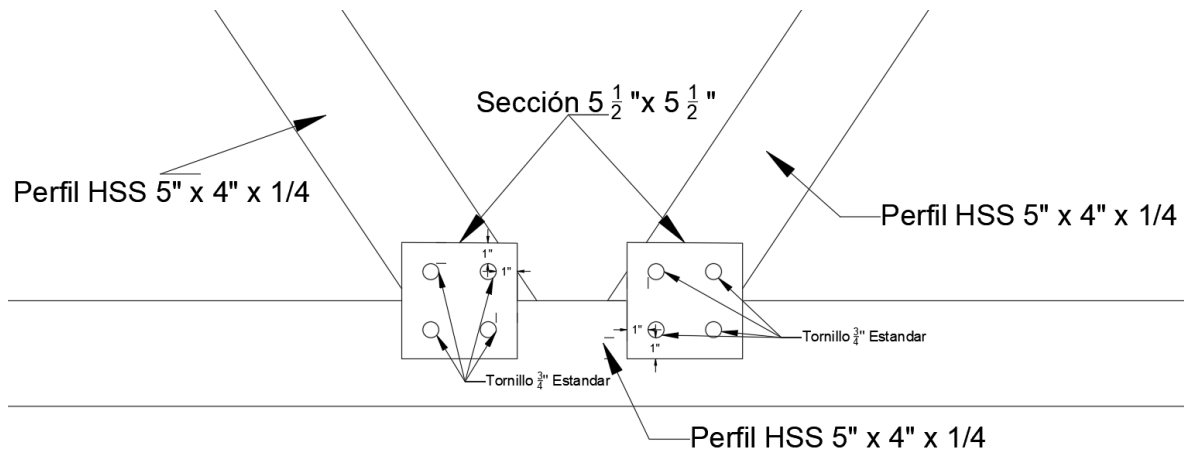
Para la conexión en la columna del puente Benito Juárez, se propone una conexión de cortante simple, al ser modelado en el Software SAP2000 de esta manera. Las conexiones a cortante simple son aquellas que tienen la capacidad de transmitir solo cortante pero no momento. En la figura 7.25 se puede observar las dimensiones y las especificaciones de la conexión a cortante simple que está unida a la columna del puente. A base de una conexión a doble ángulo, una conexión de doble ángulo, se conforma por dos ángulos ensamblados, en esta ocasión un lado está conectado a la columna de concreto y el otro a los perfiles HSS que llegan a la columna del puente.



**FIG. 7.25** ESPECIFICACIONES DE CONEXIÓN A CORTANTE SIMPLE.

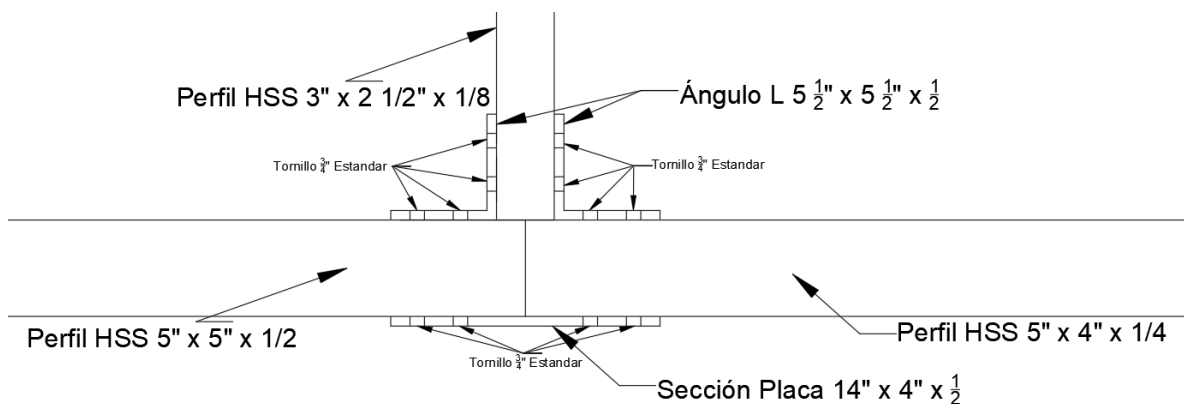
Para la conexión en la cuerda inferior de la armadura donde llegan dos diagonales de perfil HSS 5" x 4" x 1/4 al perfil HSS 5" x 4" x 1/4 se propone una conexión tipo K atornillada. En la figura 7.26 se puede observar las dimensiones y las especificaciones de la conexión tipo K.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO



**FIG. 7.26** ESPECIFICACIONES DE CONEXIÓN TIPO K.

Para la conexión en la cuerda inferior de la armadura donde llega un montante HSS 3" x 2" x 1/8 y se junta con la cuerda inferior de lado izquierdo de perfil HSS 5" x 5" x 1/2 y la cuerda inferior de lado derecho de perfil HSS 5" x 4" x 1/4 se propone una conexión tipo T. En la figura 7.27 se puede observar las dimensiones y las especificaciones de la conexión tipo T.



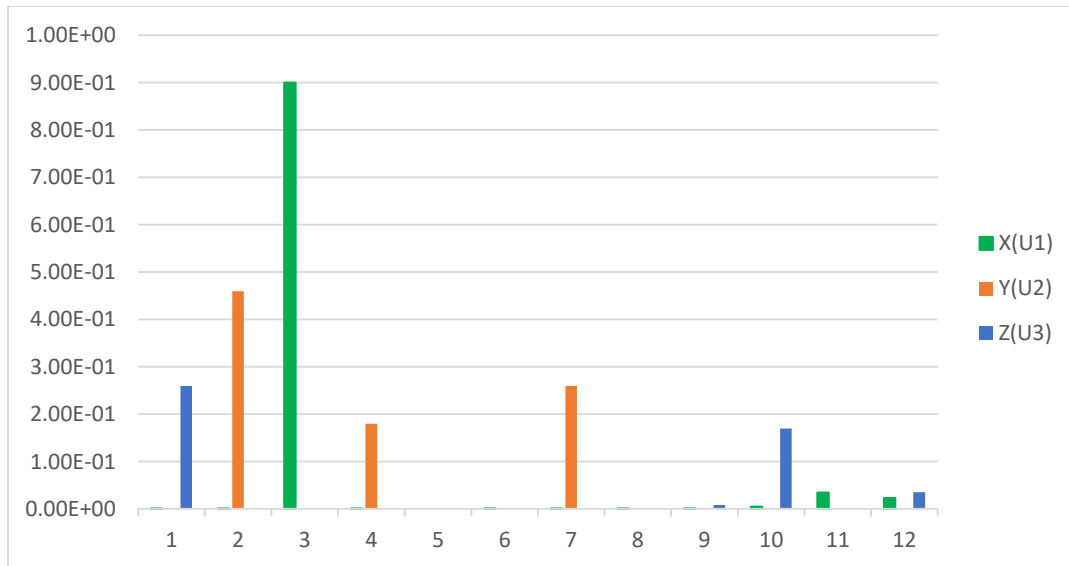
**FIG. 7.27** ESPECIFICACIONES DE CONEXIÓN TIPO T.

### 7.3.2 FRECUENCIAS NATURALES ANTES Y DESPUÉS DE REHABILITACIÓN

La frecuencia se define como la repetición de oscilación para la que un sistema cualquiera vuelve a su posición de equilibrio después de haber sido excitado por una fuerza exterior (Adenocorticotropa, 2001), y el periodo a la inversa de la frecuencia que se identifica como “T” y es medido en segundos “s”.

Se obtienen las frecuencias de vibrar del modelo de elementos finitos del puente Benito Juárez antes de la propuesta de rehabilitación y después de la propuesta de rehabilitación, con el fin de comparar los diferentes modos de vibrar y analizar su comportamiento.

Se procede a obtener los 12 modos de vibrar más relevantes del modelo de elementos finitos antes de la rehabilitación para cada dirección (X, Y, Z), con lo cual obtendremos la relación de masa participante para cada una de las direcciones (ver Fig. 7.28). Se observa que en la dirección X(U1) el modo de vibrar predominante es el 3, en la dirección Y(U2) los modos de vibrar predominantes son los modos 2, 4 y 7, en la dirección Z(U3) los modos de vibrar predominantes son 1, 10 y 12.



**FIG. 7.28** GRAFICA DE RELACIÓN DE MASA PARTICIPANTE PARA LOS 3 GRADOS DE LIBERTAD

Las direcciones que más influyen en el modelo de elementos finitos son las direcciones Y(U2) y Z(U3). Al ser aquellas que tienen más modos de vibrar sobresalientes, con 3 modos de vibrar cada una. La dirección X(U1) solo tiene un modo de vibrar considerable, por lo cual no la tomaremos en cuenta.

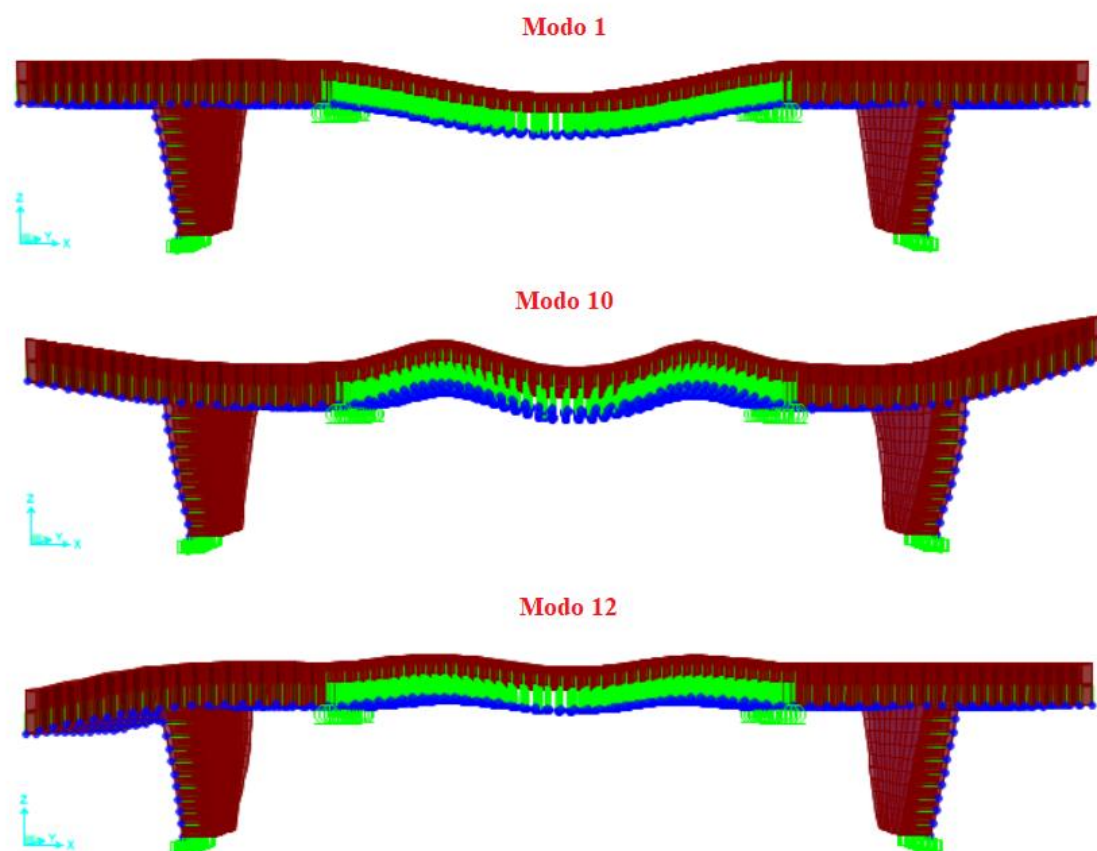
PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

En la tabla 7.3 se muestran los modos de vibrar, sus frecuencias naturales y sus periodos, del modelo de elementos finitos antes de la rehabilitación.

**TABLA 7-3** FRECUENCIA Y PERIDODO DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS ANTES DE LA REHABILITACIÓN.

Modo	Frecuencia (Cyc/seg)	Periodo (s)
1	4.4874	0.2228
2	6.2602	0.1597
4	9.9117	0.1009
7	13.3592	0.0749
10	21.6699	0.0461
12	22.4133	0.0446

Los modos de vibrar 1, 10 y 12, son los que tomaremos en cuenta en esta investigación al ser aquellos que están relacionados a la deflexión en dirección Z(U3) se pueden observar de mejor manera en la figura 7.29.



**FIG. 7.29** MODOS DE VIBRAR RELACIONADOS A DIRECCIÓN Z(U3)

**PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO**

Se procede a obtener los modos de vibrar del modelo de elementos finitos después de la rehabilitación que consistió en colocar una armadura correctamente diseñada en la parte inferior del puente Benito Juárez. En la tabla 7.4 se observan las frecuencias y periodo de los modos de vibrar de la dirección Y(U2) y dirección Z(U3).

**TABLA 7-4 FRECUENCIA Y PERIDODO DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS DESPUÉS DE LA REHABILITACIÓN.**

<b>Modo</b>	<b>Frecuencia (Cyc/seg)</b>	<b>Periodo (s)</b>
1	4.3425	0.2303
2	4.3705	0.2288
4	6.5312	0.1531
7	7.6312	0.1310
10	12.0264	0.0832
12	17.8497	0.0560

Las frecuencias disminuyeron con la armadura colocada para los modos de vibrar más sobresalientes, debido a que la armadura proporciona más rigidez y más masa al puente, por lo que al tener más masa el puente disminuye sus frecuencias de vibrar pero aumentan sus periodos. En la tabla 7.5 se muestra la comparación de las frecuencias antes y después de la rehabilitación del puente Benito Juárez.

**TABLA 7-5 COMPARACIÓN DE FRECUENCIAS ANTES Y DESPUÉS DE LA REHABILITACIÓN.**

<b>Modo</b>	<b>Frecuencias Antes de Rehabilitación (Cyc/seg)</b>	<b>Frecuencias Después de Rehabilitación (Cyc/seg)</b>	<b>Diferencia</b>
1	4.4874	4.3425	3.23%
2	6.2602	4.3705	30.19%
4	9.9117	6.5312	34.11%
7	13.3592	7.6312	42.88%
10	21.6699	12.0264	44.50%
12	22.4133	17.8497	20.36%

## **CAPÍTULO 8.- ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN**

### **8.1 PLAN DE ACCIÓN**

#### **1.- Identificación del problema**

El primer paso para llevar a cabo la rehabilitación es identificar los diversos problemas que conllevan a un mal funcionamiento del puente Benito Juárez. En este caso, el Puente Juárez presenta desplazamientos y vibraciones excesivas en su componente vertical, las cuales presentan inconformidad y molestia a los usuarios que transitan sobre el puente día a día. Estos desplazamientos son mayores a los permitidos en los reglamentos de AASHTO por lo cual es necesario plantear una solución para reducirlos.

#### **2.- Justificación una solución**

El puente Juárez se encuentra ubicado en la ciudad de Culiacán, en el estado de Sinaloa, es uno de los numerosos puentes de la ciudad, el cual cruza sobre el río Tamazula y conecta el lado sur con el norte de la ciudad, en realidad es uno de los puentes más utilizados el cual conlleva el tráfico de la Universidad Autónoma de Sinaloa, así como el de las colonias cercanas a ella, por lo tanto, en el caso de que se presente alguna falla en el puente, el tráfico quedaría muy congestionado.

#### **3.- Plantear soluciones**

El tercer paso a seguir es plantear y crear soluciones que resuelvan los problemas que presenta el puente Benito Juárez. Las soluciones deben presentarse con base en el costo, fiabilidades y proceso de colocación. Una posible solución es colocar un sistema estructural de armadura de acero debajo del puente, con el cual se disminuyen los desplazamientos verticales, los cuales son menores a los máximos permitidos por el reglamento de AASHTO. Otra posible solución sería un sistema de contravientos igualmente colocado debajo del puente, en este documento se presenta la solución de la armadura planteado en capítulo 7.

#### **4.- Presentar la solución a las autoridades**

El cuarto paso será presentar las soluciones a las autoridades pertinentes, con base en un proyecto planteando correctamente, el proyecto debe de incluir los permisos de construcción, solicitudes de proyecto, presupuestos de cada alternativa, planos de cada solución, programa de obra. En este caso sería al departamento de obras públicas del estado del Honorable Ayuntamiento de Culiacán y al Departamento de obras públicas del estado de Sinaloa.

#### **5.- Selección de alternativa**

En el quinto paso será, que las autoridades pertinentes seleccionen la alternativa más adecuada de acuerdo al costo, fiabilidad, proceso, montaje, mantenimiento y estética. Para posteriormente realizar una licitación pública a través del portal de CompraNET, para posteriormente seleccionar una empresa ganadora mediante un fallo.

#### **6.- Aplicación de Alternativa**

El último paso será que la empresa ganadora de la licitación realice la reparación del puente Benito Juárez, siguiendo los pasos del proyecto presentado en términos de tiempo y forma establecidos.



## **8.2 ESTRATEGIAS USADAS PARA PRESENTAR Y PERSUADIR A LOS INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO**

En este apartado se presenta una pequeña discusión de las acciones para dar a conocer este proyecto de intervención a las autoridades que tienen la facultad de realizarlo, que en este caso sería el departamento de obras públicas del municipio de Culiacán.

Se les hará llegar a las autoridades de la ciudad de Culiacán, a IMPLAN específicamente al departamento de Coordinación de Proyectos Estratégicos, en el cual, como indica su manual su primera función es *“Integrar el inventario inicial de proyectos externos existentes (en ejecución como en etapa de anteproyecto)”* el proyecto con una propuesta para rehabilitar el puente Benito Juárez, que incluirá los siguiente puntos.

La Presentación será el primer paso a dar, es decir informarles a las autoridades pertinentes, nuestro nombre, de dónde venimos. Soy el ingeniero Francisco Javier López Varelas, alumno de la Facultad de Ingeniería Culiacán, de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Curso el segundo año de la Maestría en Ingeniería de la Construcción, mi proyecto de intervención está enfocado en resolver la inconformidad que perciben los usuarios al transitar por el puente Benito Juárez, y a resolver los desplazamientos verticales excesivos que presenta.

El problema es el segundo paso, en el cual explicaremos que problemática y la necesidad que hemos encontrado. En la Ciudad de Culiacán, se tienen numerosos puentes, uno de estos es el puente Benito Juárez, el cual es uno de los más utilizados, algunas investigaciones reportadas como Vazquez-Becerra et al., (2017) demostraron que el puente presenta vibraciones excesivas en su componente vertical. Revisando el reglamento de AAHSTO, en el capítulo 2 en el cual nos indica las deflexiones máximas al centro del claro, realizando un modelo de elementos finitos (FEM) del puente Benito Juárez (ver capítulo 5) y aplicando las cargas características de AASHTO (ver capítulo 4), demostramos que son mayores a las permitidas por dicho reglamento (ver capítulo 6). Otro problema que descubrimos fue al hacer preguntas a los usuarios que transitan sobre el puente, en la cual discutimos sobre si percibían las vibraciones del puente y si generaba alguna inconformidad al estar sobre él, a lo cual respondieron que no se sentían cómodos cuando percibían estas vibraciones.

La solución es el tercer paso a mencionar, en el cual debemos exponer nuestra propuesta para resolver el problema anteriormente mencionado. La solución planteada en este proyecto de intervención es colocar una armadura tipo Warren debajo del puente Benito Juárez, la cual diseñamos mediante el Software comercial SAP2000, el reglamento de AASHTO y del AISC (ver capítulo 7). Con el cual demostramos que se disminuyen los desplazamientos verticales en el puente una vez colocada la armadura debajo de este.

Definir el público objetivo es el cuarto paso a mencionar, en el cual mostramos con claridad quienes son los beneficiados con este proyecto. El tránsito y las personas que circulan por el puente Benito Juárez, son los principales beneficiados con el proyecto al poder transitar por el puente sin la incomodidad de percibir las vibraciones excesivas que se presentan hoy en día. Otro beneficio sería la economía de la ciudad, al ser una obra pública,

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

es necesario realizar una licitación pública, y así las empresas constructoras de la ciudad tendrán la oportunidad de participar y ganar la licitación.

## CAPÍTULO 9.- ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

### 9.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se presenta el cronograma de actividades del plan de acción a ejecutar, para la propuesta de rehabilitación del puente Benito Juárez. Se marcan en verde las actividades programadas, y en color roja las actividades ejecutadas, las enmarcadas en rojo son aquellas las que abarca este proyecto de intervención.

Cronograma de trabajo del plan de acción del puente Benito Juárez.

ACTIVIDADES	PARAMETRO	2020						2021							
		MESES													
		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN		
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	P														
	E														
JUSTIFICACIÓN UNA SOLUCIÓN	P														
	E														
PLANTEAR SOLUCIONES	P														
	E														
PRESENTAR LA SOLUCIÓN A LAS AUTORIDADES	P														
	E														
SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	P														
	E														
APLICACIÓN DE ALTERNATIVA	P														
	E														

PROGRAMADO

EJECUTADO

PROGRAMADO

EJECUTADO

### 9.2 RECURSOS

#### 9.2.1 PERSONAL INVOLUCRADO PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

El personal que se involucra en el proyecto de intervención son aquellos que en algún momento interactuaron o interactuarán con él, como son:

Topógrafos: aquellos encargados de realizar el levantamiento topográfico con estación total y plasmarlo en un plano gráfico.

Ayudante de topógrafo: realiza el trabajo de sostener el prisma en el lugar donde se lo indique el maestro topógrafo.

Ingeniero civil: será el encargado de realizar el análisis estructural para la rehabilitación del puente, la propuesta de rehabilitación, así como su presupuesto.

Autoridades Pertinentes: son aquellas autoridades encargadas de realizar las obras públicas en la ciudad, el departamento de obras públicas del Honorable Ayuntamiento de Culiacán tendrá la decisión de realizar el proyecto que se le presente.

Contratista: es aquel contratado por las autoridades pertinentes para realizar la obra, el cual participa por medio de una licitación pública o adjudicación.

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

## 9.2.2 PRESUPUESTO APROXIMADO DE REAHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ

En este apartado se realiza un presupuesto aproximado para la rehabilitación del Puente Juárez, el cual se presenta a costo directo. Se crean los conceptos de la estructura con los perfiles que se obtuvieron en el análisis y diseño de la armadura.

Tipo	Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U.	Total
Capítulo	PRELI	Preliminares				
Subcapítulo	OA	Obra de Acceso				\$ 427,372.00
Concepto	TRAZ	Trazo y nivelación con equipo topográfico estableciendo del terreno para establecer ejes y referencias de niveles; incluye: materiales, mano de obra, herramienta y equipo.	m2	570	\$ 11.68	\$ 6,657.60
Concepto	LIMP02	Limpieza y desenraice de área cercana a la obra, incluye: mano de obra, herramienta, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m2	400	\$ 12.22	\$ 4,888.00
Concepto	MAT-01	Adquisición de material de banco para relleno incluye: carga de material, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución	m3	2,280.00	\$ 45.00	\$ 102,600.00
Concepto	COMP	Formación y compactado de terraplén de acceso con maquinaria hasta las primeras 4 columnas de ambos lados del puente, incluye: mano de obra, herramienta menor, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m3	2,280.00	\$ 53.26	\$ 121,432.80
Concepto	RETI02	Retiro de material (corte y carga) usado en el relleno para acceso Incluye: equipo, mano de obra, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M3	2,280.00	\$ 84.12	\$ 191,793.60
Subcapítulo	ESTR	Estructura				\$ 543,689.57
Concepto	HSS 14X14X1/2	Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 14x14x1/2" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.	kg	10,304.00	\$ 31.36	\$ 323,133.44

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Concepto	HSS 5 1/2X	Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 5 1/2 x 5 1/2 x 1/8" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.	kg	650.28	\$ 31.36	\$ 20,392.78
Concepto	HSS 5X5X1/2	Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 5x5x1/2" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.	kg	1,888.27	\$ 31.36	\$ 59,216.15
Concepto	HSS 5X4X1/4	Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 5x4x1/4" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.	kg	2,871.78	\$ 31.36	\$ 90,059.02
Concepto	HSS 5X 2 1/2	Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 5 x 2 1/2 x1/4" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.	kg	1,302.90	\$ 31.36	\$ 40,858.94
Concepto	HSS 3X2X1/8	Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 3 x 2 x1/8" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.	kg	319.81	\$ 31.36	\$ 10,029.24
Total Costo Directo					\$	971,061.57

## **CAPÍTULO 10.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **10.1 CONCLUSIONES**

- 1.- Realizado el levantamiento topográfico y mediante la elaboración de los planos geométricos del puente Benito Juárez, se observó que la unión entre losa y la losa columna se encuentran simplemente apoyadas, mediante un aglomerado el cual forma un cojín comprimible que funciona como junta expansiva.
- 2.- Las cargas y combinaciones de cargas del manual de AAHSTO son adecuadas para modelar puentes en funcionamiento.
- 3.- Las cargas de camión de diseño y carril de diseño, son las que presentan una combinación más crítica en la losa del puente, al ser aquellas en las cuales se presenta una mayor deflexión.
- 4.- A partir del modelo de elementos finitos realizado en SAP2000, se concluye que el puente Benito Juárez presenta deflexiones más allá de las permitidas por el manual de AAHSTO, además presentan molestia a los usuarios que transitan sobre él.
- 5.- La evidencia presentada anteriormente en el capítulo 7 demuestra que la propuesta de rehabilitación del puente Benito Juárez a base de una armadura de acero colocada en la parte inferior del puente disminuye considerablemente sus deflexiones en el centro del claro de la losa.
- 6.- Las secciones superiores de la armadura que están en contacto con la losa, requieren una mayor resistencia axial, al ser las que cargan la mayor cantidad de esfuerzos del puente.
- 7.- Luego de realizar el presupuesto aproximado de la rehabilitación, se concluye que es necesario reparar el puente Juárez. La falla del puente ocasionaría grandes pérdidas económicas y una apreciable disminución de la producción de servicios en las zonas cercanas. Por lo que es conveniente realizar estudios de riesgos basados en confiabilidad en estructuras cuya falla produzca pérdidas económicas y de vidas humanas.

### **10.2 RECOMENDACIONES**

- 1.- Realizar extracciones de corazones de concreto en columnas y en losa, para conocer la resistencia a la compresión exacta.
- 2.- Realizar un estudio de sensibilidad en SAP2000, cambiando espesores de losa, mallado de los nodos, resistencia del concreto, con lo cual conoceremos los diferentes modos de vibrar y su periodo.
- 3.- Realizar una investigación con acelerómetros colocados estratégicamente en el puente Benito Juárez (ver Anexo B), con el fin de calibrar el modelo de elementos finitos en SAP2000 mediante pruebas experimentales y la respuesta dinámica o estática del modelo.
- 4.- Comparar los resultados del modelo calibrado de elementos finitos en SAP2000, con los códigos y criterios basados en los límites de deflexión y vibración para puente con base en la respuesta humana a la vibración, con lo cual se obtendrá si el puente presenta vibraciones que son considerables a la percepción humana. Los códigos y criterios son: criterios de Wright y Walk, Criterio de Irwin, Criterio de AASHTO, Código Coreano, Normas Canadienses y Código Australiano.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, L. (2017). Bridge design specifications: American Association of State Highway and Transportation Officials ....
- Adenocorticotropa, A. (2001). Accidente de trabajo (definición técnico-preventiva): Todo suceso anormal, no querido.
- Armisen, J. M. (2015). Los primeros arcos de hormigón. *Revista de Obras Públicas: Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*(3561), 65-88.
- Armisen, J. M. (2019). Puentes que me ayudaron a entender y diseñar. *Informes de la Construcción*, 71(553), 279.
- Bazzucchi, Fabio, Restuccia, Luciana, Ferro, & Andrea, G. (2018). Considerations over the Italian road bridge infrastructure safety after the polcevera viaduct collapse: Past errors and future perspectives. *Frattura ed Integrita Strutturale*, 12(46), 400-421. doi:10.3221/IGF-ESIS.46.37
- Bossio, S. N. (2006). Rehabilitar para mejorar la calidad de vida. *Criterios y Ejemplos de rehabilitación del*, p.1.
- Díaz Alvarez, R. (2017). *Análisis de superestructuras de puentes mediante diferentes métodos de cálculos y programas profesionales*. Universidad Central " Marta Abreu " de Las Villas.
- Estrada Molina, A. (2013). Esquemas de mantenimiento y rehabilitación de puentes carreteros y urbanos de concreto. (Tesis que otorga el título Ingeniero Civil), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Farrar, C. R., & Worden, K. (2007). An Introduction to Structural Health Monitoring. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1851), 303-315.
- Fu, F. (2015). Bridge structures *Advanced Modelling Techniques in Structural Design*. John Wiley & Sons.
- Herrera, R. G., Carbone, J. A. A., López, C. N., Gomez, E. M. D. C., & Diaz, R. C. (2016). ESTADO DEL ARTE DE TÉCNICAS DE REPARACIÓN DE PUENTES. *Estimados Lectores..* 15.
- Ko, J. M., & Ni, Y. Q. (2005). Technology developments in structural health monitoring of large-scale bridges. *Engineering Structures*, 27(12), 1715-1725. doi:10.1016/j.engstruct.2005.02.021
- López-Higuera, J. M., L. Rodriguez Cobo, A. Quintela Incera, & A. Cobo. (2011). Fiber Optic Sensors in Structural Health Monitoring. *Journal of Lightwave Technology*, 29(4), 587-608. doi:10.1109/JLT.2011.2106479
- Manterola, J. (1984). Evolución de los puentes en la historia reciente. *Informes de la Construcción*, 35(359-360), 5-35.
- Matamoros, T. M. (1998). Reforzamiento y reparacion del puente Tunzingo localizado en el estado de Guerrero. (Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.).
- McCORMAC, J. (2012). *Diseño de estructuras de acero*: Alfaomega Grupo Editor.
- Mehrotra, A., & Glisic, B. (2015). Reconstruction of the appearance and structural system of Trajan's Bridge. *Journal of Cultural Heritage*, 16(1), 65-72. doi:10.1016/j.culher.2014.01.005

PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

- Naderian, H., Cheung, M. M. S., Mohammadian, M., & Dragomirescu, E. (2019). Integrated finite strip flutter analysis of bridges. *Computers and Structures*, 212, 145-161. doi:10.1016/j.compstruc.2018.10.003
- Pachas, R. (2009). El levantamiento topográfico: Uso del GPS y estación total. *Academia*, 8(16), 29-45.
- SCT. (2019). SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS. <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/puentes-de-la-red-federal-de-carreteras/>
- Vargas, D. R., Velázquez, O. L., & Molina, A. E. (2012). ESQUEMAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PUENTES DE CONCRETO REFORZADO.
- Vazquez B, Gaxiola-Camacho, Bennett, & Guzman-Acevedo. (2017). Structural evaluation of dynamic and semi-static displacements of the Juarez Bridge using GPS technology. *Measurement*, 110, 146-153. doi:10.1016/j.measurement.2017.06.026
- Yazuna, D., Verónica, S., & Quisphe Coro, C. (2009). *Reparación de puentes de hormigón colapsados, mediante la instalación de sistemas estructurales de acero*. QUITO/EPN/2009. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1462>

## **Anexos**

# Anexos A

## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE ARMADURA DISEÑADA

**PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO**

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: TRAZ				Unidad :	m2	
Trazo y nivelación con equipo topográfico estableciendo del terreno para establecer ejes y referencias de niveles; incluye: materiales, mano de obra, herramienta y equipo.				Cantidad :	570.00	
				Precio unitario :	\$ 11.68	
				Total :	\$ 6,657.60	
C. Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total	
Materiales						
14C0510	CAL	KG	0.08000	\$ 1.80	\$ 0.14	
30C4010	CLAVOS DE 2 1/2" CON CABEZA	KG	0.03000	\$ 20.34	\$ 0.61	
30M5010	MADERA DE PINO (1 ERA.)	PT	0.00857	\$ 12.66	\$ 0.11	
90H3010	HILOS	KG	0.00100	\$ 35.00	\$ 0.04	
Total de Materiales				\$	0.90	
Mano de Obra						
MOT0520	TOPOGRAFO	jor	0.00520	\$ 918.17	\$ 4.77	
MOC0520	CADENERO	jor	0.00520	\$ 418.51	\$ 2.18	
MI001	Mando Intermedio	(%)mo	0.10000	\$ 6.95	\$ 0.70	
Total de Mano de Obra				\$	7.65	
Herramienta						
HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 6.95	\$ 0.21	
Total de Herramienta				\$	0.21	
Equipo						
EPP01	Equipo de Protección Personal	(%)mo	0.02000	\$ 6.95	\$ 0.14	
Total de Equipo				\$	0.14	
Auxiliares						
PRESTACIONES	PRESTACIONES (40%)	(%)mo	0.40000	\$ 6.95	\$ 2.78	
Total de Auxiliares				\$	2.78	
				Costo Directo	\$ 11.68	
				Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00	
				Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00	
				Subtotal	\$ 11.68	
				Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00	
				Subtotal	\$ 11.68	
				Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00	
				Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00	
				Precio Unitario	\$ 11.68	
** ONCE PESOS 68/100 M.N. **						

\*\* ONCE PESOS 68/100 M.N. \*\*

**PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN  
CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO**

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: LIMP02 Limpieza y desentraque de area cercana a la obra, incluye: mano de obra, herramienta, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.						
				Unidad :	m2	
				Cantidad :		400.00
				Precio unitario :	\$	12.22
				Total :	\$	4,888.00
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Mano de Obra</b>						
+	CUAD01	Cuadrilla 01 (0.1 Cabo + 1 Peon)	jor	1.00000	\$ 349.72	\$ 349.72
	MO01	PEON	jor	0.10000	\$ 443.43	\$ 44.34
	MO03	CABO	jor	0.10000	\$ 443.43	\$ 44.34
				Suma	\$	394.06
				Total	\$	7.88
	MI001	Mando Intermedio	(%)mo	0.10000	\$ 7.88	\$ 0.79
<b>Total de Mano de Obra</b>					\$	<b>8.67</b>
<b>Herramienta</b>						
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 7.88	\$ 0.24
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.02000	\$ 7.88	\$ 0.16
<b>Total de Herramienta</b>					\$	<b>0.40</b>
<b>Auxiliares</b>						
	PRESTACIONES	PRESTACIONES (40%)	(%)mo	0.40000	\$ 7.88	\$ 3.15
<b>Total de Auxiliares</b>					\$	<b>3.15</b>
					Costo Directo	\$ 12.22
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 12.22
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 12.22
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					Precio Unitario	\$ 12.22
** DOCE PESOS 22/100 M.N. **						

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: MAT-01 Adquisición de material de banco para relleno incluye: carga de material, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución						
				Unidad :	m3	
				Cantidad :		2,280.00
				Precio unitario :	\$	45.00
				Total :	\$	102,600.00
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	18SB01	MATERIAL INERTE (TIERRA LAMA)	m3	1.00000	\$ 45.00	\$ 45.00
<b>Total de Materiales</b>					\$	<b>45.00</b>
					Costo Directo	\$ 45.00
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 45.00
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 45.00
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					Precio Unitario	\$ 45.00
** CUARENTA Y CINCO PESOS 00/100 M.N. **						

# PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: COMP						
Formación y compactado de terraplén de acceso con maquinaria hasta las primeras 4 columnas de ambos lados del puente, incluye: mano de obra, herramienta menor, equipo y todo lo necesario para su correcta ejecución.						
				Unidad :	m3	
				Cantidad :	2,280.00	
				Precio unitario :	\$	53.26
				Total :	\$	121,432.80
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Equipo						
H	EQ02	RETROEXCAVADORA 416F CATERPILLAR	hora	0.04762	\$ 586.74	\$ 27.94
H	COMROD	COMPACTADOR DE SUELO DE TAMBOR VIBRATORIO INGERSOLL RAND SD 100	hora	0.04762	\$ 531.64	\$ 25.32
Total de Equipo					\$	53.26
					Costo Directo	\$ 53.26
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 53.26
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 53.26
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					Precio Unitario	\$ 53.26
** CINCUENTA Y TRES PESOS 26/100 M.N. **						

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: RETI02					Unidad :	M3
Retiro de material (corte y carga) usado en el relleno para acceso Incluye: equipo, mano de obra, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución.					Cantidad :	2,280.00
					Precio unitario :	\$ 84.12
					Total :	\$ 191,793.60
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Materiales						
	ACAR01	TARIFA UNION DE CAMIONES AL PRIMER KILOMETO	M3	1.00000	\$ 13.25	\$ 13.25
	ACAR02	TARIFA DE UNION DE CAMIONES KILOMETRO SUBSECUENTE	M3	4.00000	\$ 6.63	\$ 26.52
Total de Materiales					\$	39.77
Equipo						
H	RETRO	Retroexcavadora 416E CATERPILLAR con pala cargadora de 0.76 m3, cucharón de 0.18 m3, profundidad de excavación de 4.36 m y motor de 94 hp.	hora	0.03125	\$ 840.29	\$ 26.26
H	EQM01	Camión Volteo marca Kodiak mod. 2003 de 7 m3 Motor Diesel 140 HP	hora	0.03125	\$ 578.80	\$ 18.09
Total de Equipo					\$	44.35
					Costo Directo	\$ 84.12
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 84.12
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 84.12
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					Precio Unitario	\$ 84.12
** OCHENTA Y CUATRO PESOS 12/100 M.N. **						



# PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: HSS 14X14X1/2				Unidad :	kg	
Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 14x14x1/2" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye;				Cantidad :	10,304.00	
mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.				Precio unitario :	\$ 31.36	
				Total :	\$ 323,133.44	
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	HSS 14X14X 1/2	Perfil HSS 14x14x 1/2 Gr 46	KG	1.03000	\$ 19.60	\$ 20.19
<b>Total de Materiales</b>						
<b>Auxiliares</b>						
+	BAS12	Armado de Estructura	KG			
	2900009	FIERRERO	jor	0.00411	\$ 486.99	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
				Total		\$ 2.00
+	BAS13	Soldado de estructura	KG			
H	SOLDADORA	Soldadora marca Miller modelo Millermatic 140, trabaja con alambre de acero macizo 0.024 y 0.030	hora	0.05157	\$ 38.78	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
				Total		\$ 2.00
+	BAS14	Limpieza y Pintura de Estructura	KG			
+	CUAD01	Cuadrilla 01 (0.1 Cabo + 1 Peon)	jor	0.00385	\$ 394.06	\$ 1.52
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 1.52	\$ 0.05
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 1.52	\$ 0.02
	PINT020	PINTURA ESMALTE EXTERIOR CAFÉ CLARO 1-1403T, COMEX O SIMILAR	CUB	0.00003	\$ 1,556.72	\$ 0.05
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 1.64
				Total		\$ 1.64
+	BAS15	Montaje de Estructura	KG			
H	EQ010	GRUA DE PATIO DE 20. TON	hora	0.00125	\$ 849.52	\$ 1.06
	MO34	OPERADOR DE EQUIPO MAYOR	jor	0.00556	\$ 773.84	\$ 4.30
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 4.30	\$ 0.13
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 4.30	\$ 0.04
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 5.53
				Total		\$ 5.53
<b>Total de Auxiliares</b>						
					Costo Directo	\$ 31.36
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					Precio Unitario	\$ 31.36
** TREINTA Y UN PESOS 36/100 M.N. **						

# PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: HSS 5 1/2X				Unidad :	kg	
Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 5 1/2 x 5 1/2 x 1/8" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.				Cantidad :		650.28
				Precio unitario :	\$	31.36
				Total :	\$	20,392.78
C.	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	HSS 51/2	Perfil HSS 5 1/2 x 5 1/2 x 1/8 Gr 46	kg	1.03000	\$ 19.60	\$ 20.19
<b>Total de Materiales</b>					\$	<b>20.19</b>
<b>Auxiliares</b>						
+	BAS12	Armado de Estructura	KG			
	2900009	FIERRERO	jor	0.00411	\$ 486.99	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
					Total	\$ 2.00
+	BAS13	Soldado de estructura	KG			
H	SOLDADORA	Soldadora marca Miller modelo Millermatic 140, trabaja con alambre de acero macizo 0.024 y 0.030	hora	0.05157	\$ 38.78	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
					Total	\$ 2.00
+	BAS14	Limpieza y Pintura de Estructura	KG			
	CUAD01	Cuadrilla 01 (0.1 Cabo + 1 Peon)	jor	0.00385	\$ 394.06	\$ 1.52
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 1.52	\$ 0.05
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 1.52	\$ 0.02
	PINT020	PINTURA ESMALTE EXTERIOR CAFÉ CLARO 1-1403T, COMEX O SIMILAR	CUB	0.00003	\$ 1,556.72	\$ 0.05
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 1.64
					Total	\$ 1.64
+	BAS15	Montaje de Estructura	KG			
H	EQ010	GRUA DE PATIO DE 20. TON	hora	0.00125	\$ 849.52	\$ 1.06
	MO34	OPERADOR DE EQUIPO MAYOR	jor	0.00556	\$ 773.84	\$ 4.30
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 4.30	\$ 0.13
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 4.30	\$ 0.04
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 5.53
					Total	\$ 5.53
<b>Total de Auxiliares</b>					\$	<b>11.17</b>
					<b>Costo Directo</b>	\$ 31.36
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					<b>Precio Unitario</b>	\$ 31.36
** TREINTA Y UN PESOS 36/100 M.N. **						

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: HSS 5X5X1/2				Unidad :	kg	
Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 5x5x1/2" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye;				Cantidad :		1,888.27
mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.				Precio unitario :	\$	31.36
				Total :	\$	59,216.15
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	HSS 5X5	Perfil HSS 5 x 5 x 1/2 Gr 46	kg	1.03000	\$ 19.60	\$ 20.19
<b>Total de Materiales</b>						
<b>Auxiliares</b>						
	+ BAS12	Armado de Estructura	KG			
	2900009	FIERRERO	jor	0.00411	\$ 486.99	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
						Total \$ 2.00
	+ BAS13	Soldado de estructura	KG			
H	SOLDADORA	Soldadora marca Miller modelo Millermatic 140, trabaja con alambre de acero macizo 0.024 y 0.030	hora	0.05157	\$ 38.78	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
						Total \$ 2.00
	+ BAS14	Limpieza y Pintura de Estructura	KG			
	+ CUAD01	Cuadrilla 01 (0.1 Cabo + 1 Peon)	jor	0.00385	\$ 394.06	\$ 1.52
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 1.52	\$ 0.05
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 1.52	\$ 0.02
	PINT020	PINTURA ESMALTE EXTERIOR CAFÉ CLARO 1-1403T, COMEX O SIMILAR	CUB	0.00003	\$ 1,556.72	\$ 0.05
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 1.64
						Total \$ 1.64
	+ BAS15	Montaje de Estructura	KG			
H	EQ010	GRUA DE PATIO DE 20. TON	hora	0.00125	\$ 849.52	\$ 1.06
	MO34	OPERADOR DE EQUIPO MAYOR	jor	0.00556	\$ 773.84	\$ 4.30
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 4.30	\$ 0.13
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 4.30	\$ 0.04
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 5.53
						Total \$ 5.53
<b>Total de Auxiliares</b>						
				Cantidad : 1.00000	Total	\$ 11.17
					Costo Directo	\$ 31.36
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					Precio Unitario	\$ 31.36
** TREINTA Y UN PESOS 36/100 M.N. **						

# PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: HSS 5X4X1/4				Unidad :	kg	
Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 5x4x1/4" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.				Cantidad :	2,871.78	
				Precio unitario :	\$	31.36
				Total :	\$	90,059.02
C:	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	HSS 5X4	Perfil HSS 5 x 4 x 1/4 Gr 46	kg	1.03000	\$ 19.60	\$ 20.19
<b>Total de Materiales</b>						
<b>Auxiliares</b>						
+	BAS12	Armado de Estructura	KG			
	2900009	FIERRERO	jor	0.00411	\$ 486.99	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
				Total		\$ 2.00
+	BAS13	Soldado de estructura	KG			
H	SOLDADORA	Soldadora marca Miller modelo Millermatic 140, trabaja con alambre de acero macizo 0.024 y 0.030	hora	0.05157	\$ 38.78	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
				Total		\$ 2.00
+	BAS14	Limpieza y Pintura de Estructura	KG			
+	CUAD01	Cuadrilla 01 (0.1 Cabo + 1 Peon)	jor	0.00385	\$ 394.06	\$ 1.52
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 1.52	\$ 0.05
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 1.52	\$ 0.02
	PINT020	PINTURA ESMALTE EXTERIOR CAFÉ CLARO 1-1403T, COMEX O SIMILAR	CUB	0.00003	\$ 1,556.72	\$ 0.05
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 1.64
				Total		\$ 1.64
+	BAS15	Montaje de Estructura	KG			
H	EQ010	GRUA DE PATIO DE 20. TON	hora	0.00125	\$ 849.52	\$ 1.06
	MO34	OPERADOR DE EQUIPO MAYOR	jor	0.00556	\$ 773.84	\$ 4.30
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 4.30	\$ 0.13
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 4.30	\$ 0.04
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 5.53
				Total		\$ 5.53
<b>Total de Auxiliares</b>						
					Costo Directo	\$ 31.36
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					Precio Unitario	\$ 31.36
<b>** TREINTA Y UN PESOS 36/100 M.N. **</b>						

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: HSS 5X 2 1/2				Unidad :	kg	
Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 5 x 2 1/2 x1/4" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.				Cantidad :		1,302.90
				Precio unitario :	\$	31.36
				Total :	\$	40,858.94
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	HSS 5X21/2	Perfil HSS 5 x 2 1/2 x 1/4 Gr 46	kg	1.03000	\$ 19.60	\$ 20.19
<b>Total de Materiales</b>					<b>\$</b>	<b>20.19</b>
<b>Auxiliares</b>						
+	BAS13	Soldado de estructura	KG			
H	SOLDADORA	Soldadora marca Miller modelo Millermatic 140, trabaja con alambre de acero macizo 0.024 y 0.030	hora	0.05157	\$ 38.78	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
				Total		\$ 2.00
+	BAS12	Armado de Estructura	KG			
	2900009	FIERRERO	jor	0.00411	\$ 486.99	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 2.00
				Total		\$ 2.00
+	BAS14	Limpieza y Pintura de Estructura	KG			
+	CUAD01	Cuadrilla 01 (0.1 Cabo + 1 Peon)	jor	0.00385	\$ 394.06	\$ 1.52
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 1.52	\$ 0.05
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 1.52	\$ 0.02
	PINT020	PINTURA ESMALTE EXTERIOR CAFÉ CLARO 1-1403T, COMEX O SIMILAR	CUB	0.00003	\$ 1,556.72	\$ 0.05
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 1.64
				Total		\$ 1.64
+	BAS15	Montaje de Estructura	KG			
H	EQ010	GRUA DE PATIO DE 20. TON	hora	0.00125	\$ 849.52	\$ 1.06
	MO34	OPERADOR DE EQUIPO MAYOR	jor	0.00556	\$ 773.84	\$ 4.30
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 4.30	\$ 0.13
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 4.30	\$ 0.04
				Cantidad : 1.00000	Suma	\$ 5.53
				Total		\$ 5.53
<b>Total de Auxiliares</b>					<b>\$</b>	<b>11.17</b>
					<b>Costo Directo</b>	<b>\$ 31.36</b>
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					<b>Precio Unitario</b>	<b>\$ 31.36</b>
<b>** TREINTA Y UN PESOS 36/100 M.N. **</b>						

# PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE JUÁREZ LOCALIZADO EN CULIACÁN, SINALOA, UTILIZANDO LA REGLAMENTACIÓN AASHTO

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: HSS 3X2X1/8						
Suministro, fabricación y montaje de viga HSS 3 x 2 x1/8" grado A46 de diferentes peraltes, dimensiones y pesos según plano estructural, incluye; mano de obra, soldadura, materiales, herramienta, equipo de seguridad y fondo estructural.						
				Unidad :	kg	
				Cantidad :		319.81
				Precio unitario :	\$	31.36
				Total :	\$	10,029.24
C	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
<b>Materiales</b>						
	HSS 3X2	Perfil HSS 3x2 1/8 Gr 46	kg	1.03000	\$ 19.60	\$ 20.19
<b>Total de Materiales</b>					\$	<b>20.19</b>
<b>Auxiliares</b>						
+	BAS13	Soldado de estructura	KG			
H	SOLDADORA	Soldadora marca Miller modelo Millermatic 140, trabaja con alambre de acero macizo 0.024 y 0.030	hora	0.05157	\$ 38.78	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma \$	2.00
					Total \$	2.00
+	BAS12	Armado de Estructura	KG			
	2900009	FIERRERO	jor	0.00411	\$ 486.99	\$ 2.00
				Cantidad : 1.00000	Suma \$	2.00
					Total \$	2.00
+	BAS14	Limpieza y Pintura de Estructura	KG			
+	CUAD01	Cuadrilla 01 (0.1 Cabo + 1 Peon)	jor	0.00385	\$ 394.06	\$ 1.52
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 1.52	\$ 0.05
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 1.52	\$ 0.02
	PINT020	PINTURA ESMALTE EXTERIOR CAFÉ CLARO 1-1403T, COMEX O SIMILAR	CUB	0.00003	\$ 1,556.72	\$ 0.05
				Cantidad : 1.00000	Suma \$	1.64
					Total \$	1.64
+	BAS15	Montaje de Estructura	KG			
H	EQ010	GRUA DE PATIO DE 20. TON	hora	0.00125	\$ 849.52	\$ 1.06
	MO34	OPERADOR DE EQUIPO MAYOR	jor	0.00556	\$ 773.84	\$ 4.30
	HE000	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 4.30	\$ 0.13
	EPP	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL	(%)mo	0.01000	\$ 4.30	\$ 0.04
				Cantidad : 1.00000	Suma \$	5.53
					Total \$	5.53
<b>Total de Auxiliares</b>					\$	<b>11.17</b>
					<b>Costo Directo</b>	<b>\$ 31.36</b>
					Indirectos ( 0.00%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Financiamiento ( 0.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 31.36
					Utilidad ( 0.00%)	\$ 0.00
					Cargos Adicionales ( 0.00%)	\$ 0.00
					<b>Precio Unitario</b>	<b>\$ 31.36</b>

\*\* TREINTA Y UN PESOS 36/100 M.N. \*\*

# Anexos B

## DIAGRAMA DE COLOCACIÓN DE ACELERÓMETROS

