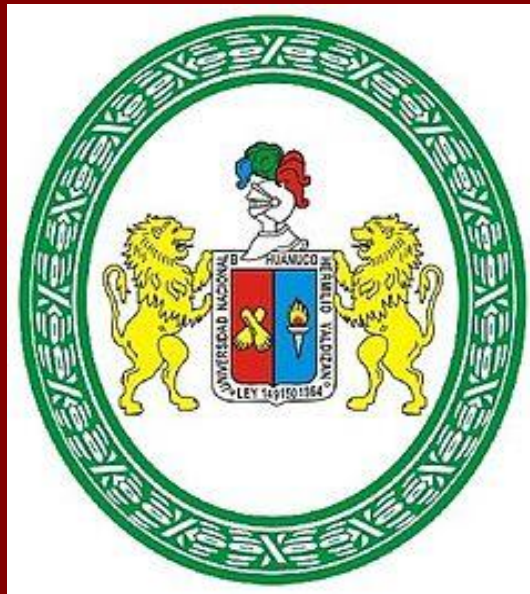


UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“REHABILITACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL PARA
OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS
ESTRUCTURALES DEL PUENTE COLGANTE DE MADERA
DE LAS PAMPAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

TESISTA

MIRIAM TACUCHE LEANDRO

ASESOR

ING. MOISÉS EDGARD TORRES RAMÍREZ

HUÁNUCO – PERÚ

2018

TACUACHE LEANDRO, MIRIAM
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
“REHABILITACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL
PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS
ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE
COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS”
CORREO: MIRIAM_TACUCHE@HOTMAIL.COM
HUÁNUCO - PERÚ, 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“REHABILITACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL PARA
OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS
ESTRUCTURALES DEL PUENTE COLGANTE DE MADERA
DE LAS PAMPAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**TESISTA
MIRIAM TACUCHE LEANDRO**

**ASESOR
ING. MOISÉS EDGARD TORRES RAMÍREZ**

**HUÁNUCO – PERÚ
2018**

DEDICATORIA

A mis padres, con quienes hace un tiempo atrás emprendimos un viaje que estuvo plagado de aciertos y desaciertos, sin embargo se mantuvieron firmes en la idea de educarme y a si construir un futuro mejor, hoy concluimos tal viaje satisfactoriamente para enrumbarme en otro.

Les agradezco por darme la vida, por su cariño, comprensión, paciencia y su apoyo incondicional en el trayecto de mi vida estudiantil.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Esteban Tacuchi Estrada y Feliciano Leandro Soto por su amor desinteresado y el apoyo incondicional en las diferentes etapas de mi vida personal, estudiantil y profesional, quienes siempre fueron mi principal motor para lograr mis metas.

A mis hermanas y hermanos por sus consejos y apoyo incondicional.

Al Ing. Moisés Edgard Torres Ramírez quién me brindó el asesoramiento necesario en este proyecto dedicándole tiempo y paciencia para su revisión.

A todos los docentes de la E.A.P. de Ingeniería Civil, quienes fueron los responsables de mi formación profesional.

RESUMEN

Los puentes colgantes salvan tramos amplios y tienen un aspecto armonioso por lo mismo su diseño y construcción es un tema muy especializado, por lo que se debe tener especial cuidado en el mantenimiento de estos puentes. Por el interés que merece la reparación de los puentes colgantes en una vía, el primer paso es inspeccionar los elementos estructurales en el que se definen sus características y su estado físico, para proponer la rehabilitación de los elementos estructurales y de ese modo optimizar el funcionamiento de los mismos.

El puente colgante de madera de las Pampas está construido sobre el río Huallaga con una longitud de 50.25 m de luz y 2.40 m de ancho, cuyos elementos estructurales son cables principales de acero, péndolas, carros de dilatación de acero, torres, cámara de anclaje de concreto y tablero de madera. Actualmente se observa la circulación de vehículos livianos por dicho puente y se observa el deterioro considerable del sistema estructural del puente colgante de madera de las Pampas, lo cual hace que los elementos que integran al sistema estructural no funcionan adecuadamente por lo que es necesaria la rehabilitación de las mismas para optimizar el funcionamiento de cada uno de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.

En el estudio de la presente tesis se concluyó que el puente colgante de madera de las Pampas tiene una categoría de puente colgante peatonal, en el cual los elementos estructurales presentan un proceso de deterioro constante debido al paso del tiempo y al exceso de carga generados por la circulación vehículos livianos cuyo peso es menor a 3.5 toneladas, para lo cual no fueron diseñados, por lo que se restringe la circulación de estos vehículos por el puente colgante de madera de las Pampas y se propone la rehabilitación de cada uno de sus elementos estructurales para optimizar el funcionamiento de las mismas, contribuyendo así al incremento del tiempo de vida de servicio del puente colgante de madera de las Pampas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	X
CAPITULO I.....	11
I. MARCO TEÓRICO	11
1.1. Planteamiento del problema.....	11
1.2. Fundamentación del problema.....	12
1.3. Antecedentes	13
1.4. Formulación del problema	18
1.5. Objetivos generales y específicos	18
1.6. Variables, dimensiones e indicadores	19
1.7. Justificación e importancia	19
1.8. Matriz de consistencia.....	21
1.9. Población o universo.....	22
1.10. Muestra	22
1.11. Conceptos fundamentales	22
1.16. Marco situacional.....	26
CAPITULO II	27
II. MARCO METODOLÓGICO	27
2.1. Nivel de investigación.....	27
2.1.1. Investigación descriptiva	27
2.1.2. Investigación explicativa	27
2.2. Tipo de investigación.....	27
2.2.1. Estudios explicativos	27
2.3. Técnicas de recolección y tratamiento de datos.....	27
2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
2.4. Descripción de los elementos estructurales del puente colgante de madera.....	28
2.4.1. Descripción de los elementos estructurales de acero.....	28
2.4.2. Descripción de los elementos estructurales de concreto	33

2.4.3. Descripción de los elementos estructurales de madera	37
2.5. Inspección de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las pampas .	39
2.5.1. Inspección de los elementos estructurales de acero.....	40
2.5.2. Inspección de los elementos estructurales de concreto	47
2.5.3. Inspección de los elementos estructurales de madera	55
2.6. Verificación de los elementos de madera empleando el programa SAP 2000	61
2.6.1. Diseño del entablado del puente colgante de madera de las Pampas	61
2.7. Optimización del funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera.....	71
2.7.1. Optimización del funcionamiento de los elementos estructurales de acero	71
2.7.2. Optimización del funcionamiento de los elementos estructurales de concreto	79
2.7.3. Optimización del funcionamiento de los elementos estructurales de madera.....	80
CAPITULO III.....	86
III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
3.1. Interpretación de resultados	86
3.1.1. Rehabilitación de los elementos estructurales de acero.....	86
3.1.2. Rehabilitación de los elementos estructurales de concreto	89
3.1.3. Rehabilitación de los elementos estructurales de madera	91
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	101
ANEXO A: DISEÑO DE PUENTE COLGANTE CON TABLERO DE MADERA	102
ANEXO B: VISTA DEL PUENTE COLGANTE DE LAS PAMPAS	134
ANEXO C: PLANO DEL PUENTE COLGANTE.....	138
ANEXO D: PLANO DEL PUENTE COLGANTE REHABILITADO	139
ANEXO E: CUADRO DE CONTEO DE TRÁFICO	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estado del puente Amposta antes de los trabajos de rehabilitación.	11
Figura 2: Corrosión de los elementos de acero del puente Amposta.	11
Figura 3: Vista panorámica del puente colgante de Amposta rehabilitado.	12
Figura 4: Sistema estructural del puente colgante de madera de las Pampas.	13
Figura 5: Elementos estructurales de un puente colgante.	25
Figura 6: Formas que toma el cable según la carga.	26
Figura 7: Esquema de fuerzas en un puente colgante.	26
Figura 8: Vista panorámica del puente colgante de madera de las Pampas.	28
Figura 9: Vista de los cables estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.	29
Figura 10: Vista de los cables estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.	30
Figura 11: Vista de las péndolas del puente colgante de madera de las Pampas.	31
Figura 12: Vista de la péndola roscada en la parte inferior.	31
Figura 13: Vista de la péndola doblada y soldada en la parte superior.	32
Figura 14: Vista de los carros de dilatación del puente colgante de madera de las Pampas.	33
Figura 15: Vista de las torres del puente colgante de madera de las Pampas.	34
Figura 16: Vista de la cámara de anclaje del puente colgante de madera de las Pampas.	35
Figura 17: Vista de la viga transversal de acero en la cámara de anclaje del puente colgante de madera de las Pampas.	35
Figura 18: Vista de la vereda de acceso del puente colgante de madera de las Pampas.	36
Figura 19: Vista del tablero del puente colgante de madera de las Pampas.	37
Figura 20: Vista la Viga transversal del puente colgante de madera de las Pampas.	38
Figura 21: Vista la Viga longitudinal del puente colgante de madera de las Pampas.	39
Figura 22: Acumulación de material de arrastre bajo el puente colgante de madera de las Pampas.	40
Figura 23: Vista del cable principal con presencia de hierbas y en proceso de oxidación.	41
Figura 24: Vista de los cables principales con alto grado de oxidación.	42
Figura 25: Vista del cable principal sin protección en contacto con el suelo, margen derecha rio arriba	42
Figura 26: Vista de péndola reparada en proceso de oxidación.	44
Figura 27: Vista de la péndola, abrazadera, tornillos en proceso de corrosión.	44
Figura 28: Vista de la abrazadera y los tornillos oxidados.	45
Figura 29: Carros de dilatación sin protección en proceso de corrosión.	46
Figura 30: Vista lateral del carro de dilatación.	47
Figura 31: Vista de la torre del puente colgante margen izquierda rio arriba.	48
Figura 32: Vista lateral de la columna de la torre.	49
Figura 33: Vista posterior de la torre – vereda de acceso.	49
Figura 34: Vista del cable principal en la cámara de anclaje.	51
Figura 35: Vista del cable estructural en la cámara de anclaje.	51
Figura 36: Vista barra horizontal ubicada en la cámara de anclaje.	52
Figura 37: Vista de la barra horizontal que sujeta el cable principal a través de guardacabos.	52
Figura 38: Vista de las fisuras en la pantalla de las veredas de acceso.	53
Figura 39: Vista de la vereda de acceso a la torre del puente.	54
Figura 40: Vista de las tablas que conforman el tablero del puente colgante.	56

Figura 41: Vista de la baranda de protección del puente colgante.....	57
Figura 42: Vista de la viga transversal.	58
Figura 43: Vista de la viga longitudinal.	60
Figura 44: Vista de la viga longitudinal.	60
Figura 45: Elementos del cable de acero.	71
Figura 46: Alma de acero independiente.	72
Figura 47: Forma de los extremos de cables cortados.	75
Figura 48: Fleje del cable conectado al cable principal.	78
Figura 49: Pieza de madera atacada por hongo de pudrición.	83
Figura 50: Termitas subterráneas en pleno ataque a la madera.	84
Figura 51: Cable de acero con alma metálica.....	87
Figura 52: Péndola de acero.....	88
Figura 53: Carro de dilatación metálica.	88
Figura 54: Viga metálica que sostiene al cable principal.	90
Figura 55: Modelo de entablado del puente colgante de madera de las Pampas.	92
Figura 56: Modelo de baranda del puente colgante de madera de las Pampas.....	92
Figura 57: Vista de la viga longitudinal y viga transversal del puente colgante de madera.....	93
Figura 58: Vista panorámica del puente colgante de madera de las Pampas.	135
Figura 59: Puente colgante de madera de las Pampas inspeccionada en el 2015.	135
Figura 60: Puente colgante de madera de las Pampas inspeccionada en el 2017.	136
Figura 61: Circulación de vehículos por el puente colgante de madera de las Pampas.....	136
Figura 62: Circulación de motos lineales por el puente colgante de madera de las Pampas.....	137
Figura 63: Puente colgante de madera de las Pampas inspeccionada en el 2018.	137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Operacionalización de variables.	19
Cuadro 2: Matriz de consistencia.....	21
Cuadro 3: Factor de seguridad.	73
Cuadro 4: Características físicas del zinc y el aluminio rociados térmicamente.	76
Cuadro 5: Diámetro, área y peso de péndolas.....	78
Cuadro 6: Densidad básica de la madera estructural.	81
Cuadro 7: Modulo de elasticidad de la madera estructural.....	81
Cuadro 8: Esfuerzo admisible de la madera estructural.....	81
Cuadro 9: Especies agrupadas de madera.....	82
Cuadro 10: Resumen de conteo de tráfico realizada en el año 2015.....	141
Cuadro 11: Resumen de conteo de tráfico realizado en el año 2017.	142

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la comunicación vía terrestre pasó a ser un servicio básico que debemos cubrir, sin embargo estos se ven interrumpidas por el deterioro constante de los puentes, aislando por completo a las comunidades, la cual evita el desarrollo y un quiebre en el corredor económico, privando a la población de una calidad de vida adecuada.

La elaboración de la presente tesis tiene por propósito la rehabilitación del sistema estructural para optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas, por lo mismo está organizado por capítulos.

En este capítulo I se considera el marco teórico, en la cual se presenta el planteamiento del problema, fundamentación del problema, antecedentes, formulación del problema, objetivos generales y específicos, variables, dimensiones, indicadores, justificación e importancia, así como también el marco situacional.

En el capítulo II se menciona el marco metodológico, en la cual engloba el nivel y tipo de investigación, técnicas de recolección y tratamiento de datos, descripción de los elementos estructurales, inspección de los elementos estructurales, verificación de los elementos de madera con el programa SAP 2000, MATHCAD, optimización del funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.

En el capítulo III se considera la discusión de resultados, tal como la rehabilitación de los elementos estructurales de acero, la rehabilitación de los elementos estructurales de los elementos estructurales de concreto, la rehabilitación de la vereda de acceso y la rehabilitación de los elementos estructurales de madera. Así mismo el presente estudio contiene conclusiones, recomendaciones y anexos.

CAPITULO I

I. MARCO TEÓRICO

1.1. Planteamiento del problema

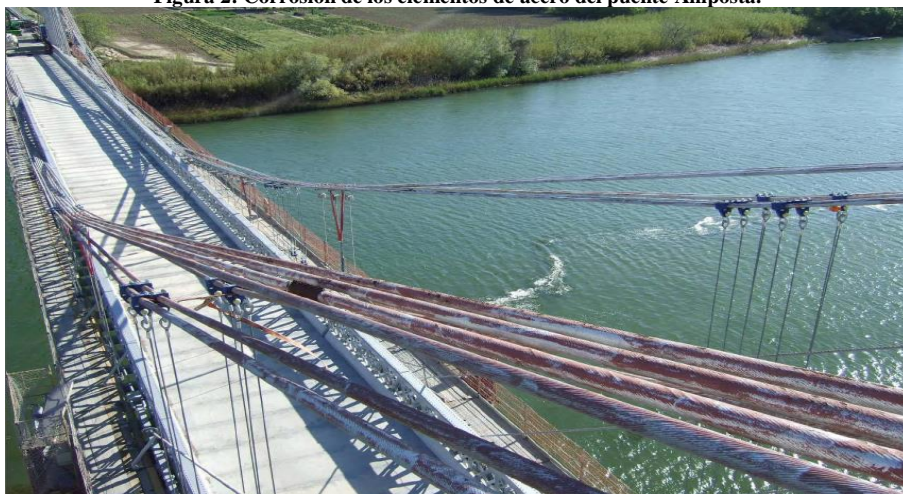
La red vial del país presenta puentes con daños visibles en los elementos estructurales, tales como degradación en la fundación y estribos, fisuras en las torre y pilares, socavación, barandas dañados, desgaste en la superficie de rodamiento, corrosión de los elementos de acero (ver figura N°1 y N°2), deterioro en los elementos de madera que necesitan ser atendidas con urgencia, pero es complicado pensar en su reemplazo total ya que esta requiere de una mayor inversión, por lo que es más práctico rehabilitar el sistema estructural.

Figura 1: Estado del puente Amposta antes de los trabajos de rehabilitación.



Fuente: “Obras de rehabilitación del puente colgante de Amposta”. Revista. Hormigón y Acero. 2009.

Figura 2: Corrosión de los elementos de acero del puente Amposta.



Fuente: “Obras de rehabilitación del puente colgante de Amposta”. Revista. Hormigón y Acero. 2009.

La rehabilitación de puentes es una actividad importante que se debe realizar para la conservación de la red vial, a pesar de que los puentes representan una pequeña porción de la red, estas garantizan la continuidad del funcionamiento de toda la red vial (ver figura N°3).

Figura 3: Vista panorámica del puente colgante de Amposta rehabilitado.



Fuente: “Rehabilitación del puente colgante de Amposta inspección especial, proyecto y obras”.

1.2. Fundamentación del problema

Los puentes tienen una gran utilidad e importancia para mantener comunicada a las poblaciones que se encuentran separadas por ríos o depresiones profundas. El sistema estructural de los puentes deben cumplir con su función en condiciones normales de operación y debe tener un grado de seguridad para la población que transita por dicho puente, la cual se consigue con los elementos estructurales en óptimas condiciones.

El puente colgante de madera de las Pampas está construido sobre el río Huallaga con una longitud de 50.25 m de luz, cuyos elementos estructurales son: cables principales de acero, péndolas, carros de dilatación de acero, torres, cámara de anclaje de concreto y tablero (vigas longitudinales, vigas transversales) de madera.

En la actualidad se observa el **deterioro considerable del sistema estructural del puente colgante** (cables principales, péndolas y tablero, ver figura N°4), por ende las personas que transitan por el puente están propensos a sufrir accidentes graves e incluso la pérdida de vidas humanas a consecuencia de la caída a las aguas del río Huallaga. Además en el estudio de

tráfico realizado en dicho lugar se observó la circulación de vehículos menores y vehículos livianos por el puente, la cual acelera el deterioran los elementos estructurales, dado que el diseño de dicho puente es peatonal.

El sistema estructural deteriorado del puente no funciona adecuadamente por lo que es necesaria una rehabilitación del sistema estructural para optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera.

Figura 4: Sistema estructural del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propia. Vista de los elementos estructurales que conforman el puente colgante y sus accesos.

1.3. Antecedentes

La necesidad de cruzar un obstáculo como ríos o quebradas ha hecho que el hombre desarrolle un tipo de puente colgante, en un inicio empleando sogas flexibles que han ido evolucionando con el tiempo hasta emplear aceros de alta calidad. Narvaes y Sanabria, (2008) menciona que:

Los primeros puentes colgantes eran los puentes catenaria, se construían solo con sogas gruesas, las cuales se sujetaban a contrafuertes de piedra, ubicados a cada lado. Años más tarde, se empezó a utilizar la madera, la cual permitía hacer tablas, que colocadas entre las sogas funcionaban como un tablero, permitiendo así transitar a los animales y las carretas (p.25-26)¹.

En la antigüedad los pobladores de una comunidad empleaban la madera como uno de los elementos principales en la mayoría de los puentes colgantes, por su gran facilidad para manipularlo y transformarlo en tablones. Soley (2012) menciona que:

La madera permite hacer piezas lineales, aptas para resistir esfuerzos de compresión y tracción y por tanto, también de flexión. Además, la madera permite enlazar distintas piezas y así se pueden conseguir elementos lineales de la longitud que se requiera y también admite construir nudos, es decir, uniones de piezas lineales con distintas direcciones. Los primeros datos históricos que se conocen sobre puentes se refieren a flotantes de madera apoyados sobre barcas en campañas militares y frecuentemente con carácter provisional (p.9)².

La historia nos enseña que los puentes colgantes fueron construidos con luces relativamente considerables. Ampuero (2012) al respecto menciona:

Los puentes colgantes con características semejantes a los empleados en la actualidad aparecen a mediados del siglo XVIII en Inglaterra y Alemania, formando los cables con cadenas conectadas con pines y barras de ojo con luces entre 20m y 30m (p.13)³.

Ampuero (2012) “Consideraciones estructurales en el análisis y diseño de puentes colgantes” menciona que:

Los puentes suspendidos modernos típicamente son analizados usando programas de ordenador con capacidades de análisis no lineal basadas en formulaciones de elemento finito. Tales modelos pueden tener muchos miles de grados de libertad. Obviamente,

hay una necesidad de los modelos más simples que ayudan al diseñador a entender el comportamiento de la estructura en una manera no ofrecida por el análisis de elemento finito (p.44)³.

El problema en los puentes colgantes se origina por la construcción de vigas con poca rigidez que no son capaces de soportar las ráfagas de viento. Ampuero (2012) menciona:

En 1940 se construyó el puente de Tacoma, con 854m de luz central, con vigas de rigidez de alma llena de 2.40m de peralte sin arriostramiento lateral en su parte inferior lo que originó que tuviera una rigidez torsional muy reducida. A los pocos meses de haberse puesto en servicio este puente colapsó cuando su tablero fue destrozado por oscilaciones torsionales producidas por vientos con velocidades menores a 72 kph (p.15-16)³.

Si se quiere que el acero tenga una larga vida útil, se debe evaluar los daños que son ocasionados por el medio ambiente y emplear las medidas de protección para el acero contra la corrosión y demás agentes destructores.

El Instituto Técnico de la Estructura de Acero (ITEA) “Sistemas Estructurales: Puentes” menciona que:

Un grave inconveniente de los puentes colgantes es su flexibilidad relativamente grande, actualmente, los cálculos se basan en programas de elementos finitos que pueden incluir grandes deformaciones y los efectos no lineales asociados, por lo que los problemas de la flexibilidad de los puentes colgantes son solucionados satisfactoriamente (p.180)⁴.

Conforme va avanzando el tiempo se observa que las dimensiones de los puentes colgantes van incrementándose. El Instituto Técnico de la Estructura de Acero (ITEA) al respecto menciona que:

Los puentes colgantes salvan claros muchos mayores a 1500 m, una de las principales razones de su superioridad en relación a otros tipos de puentes es la manera más eficaz en que se emplea los materiales, dado que con una tensión directa bajo la cual todas las fibras poseen la misma tensión, se produce un aprovechamiento completo del material (p. 174)⁴.

El puente colgante Amposta en una estructura de un solo vano de 134 m de luz suspendida por un sistema de cables de acero, que fue inspeccionada en el año 2004 con la finalidad de conocer su estado de los elementos estructurales y determinar su rehabilitación del puente colgante. Del pozo, Arrieta, Cerezo y Gómez (2009) al respecto menciona que se realizaron grupos de cuatro categorías para la inspección, siendo estos:

Inspección visual y ensayos de distintos elementos, de cara a conocer el estado de conservación de los mismos: partículas magnéticas y ultrasonidos para detectar fisuras, medición de los espesores de recubrimiento, etc.

Ensayos y análisis relacionados con la evaluación de los esfuerzos axiales en los cables que constituyen el sistema de sustentación del tablero: ensayos de cuerda vibrante y pesaje de cables.

Ensayos de caracterización de materiales: dureza, análisis químico, ensayos de rotura a tracción de alambres, ensayos de rotura a compresión de probetas de hormigón.

Trabajos topográficos: levantamiento de la geometría general del puente (p.5)⁵.

Se concluyó que los elementos metálicos del sistema estructural del puente colgante, especialmente del sistema de suspensión presentan corrosión, algunas de carácter grave, el principal motivo del estado del puente se debe al transcurso del tiempo, por lo que se optó por su rehabilitación.

En la rehabilitación de los puentes colgantes las actividades son secuenciales de acuerdo a la importancia que tienen en el sistema estructural. Del Pozo et al. (2009) al respecto mencionan que:

‘Una vez finalizada la rehabilitación del tablero, se sustituye los sistemas de cables, que puede ser dividida en tres etapas diferenciadas: una primera, son tareas previas, una segunda, dejar el tablero suspendido de la mitad de los cables existentes en el puente y una tercera, se colocaban los nuevos cables y se transfería a ellos la sustentación del tablero (p. 13)⁶.

Duran (2014) “Diseño estructural de un puente peatonal colgante sobre el río Santa Bárbara, vincula la comunidad de Uzhar y san Antonio perteneciente a la parroquia San Juan Cantón Gualaceo provincia del Azuay” menciona que:

El cable principal es un elemento flexible, lo que quiere decir que no tiene rigidez y por tanto no resiste flexiones. Si se le aplica un sistema de fuerzas, tomará la forma necesaria para que en él sólo se produzcan esfuerzos axiales de tracción, por tanto la forma del cable coincidirá forzosamente con la línea generada por la trayectoria de una de las posibles composiciones del sistema de fuerzas que actúan sobre él. La curva del cable principal de un puente colgante es una combinación de la catenaria, porque el cable principal pesa, y de la parábola, porque también pesa el tablero; sin embargo la diferencia entre ambas curvas es mínima, y por ello en los cálculos generalmente se utilizan la parábola de segundo grado (p.2).

Las torres han sido siempre los elementos más difíciles de proyectar de los puentes colgantes, porque son los que permiten mayor libertad. Las torres no plantean problemas especiales de construcción, salvo la dificultad que supone elevar piezas o materiales a grandes alturas (p.2).

El tablero suele estar suspendido mediante tirantes verticales (péndolas) que se conectan con los cables principales del puente colgante (p.3)⁷.

Gámez, González, Pérez (2013) “Propuesta de rehabilitación y cambio de uso del puente colgante sobre el río San Agustín” menciona que:

Por el interés que merece la reparación de los puentes de una vía, se debe hacer una inspección periódica y sistemática, creando un inventario de puentes en el que se definen sus características y su estado físico (p.3)⁸.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

- ✓ ¿Los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas soportan cargas vehiculares livianas?

1.4.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Los efectos que produce la circulación de vehículos livianos afectaran a los elementos estructurales del puente colgante de las Pampas?
- ✓ ¿Es posible optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas?

1.5. Objetivos generales y específicos

1.5.1. Objetivos generales

- ✓ Comprobar si los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas soportan cargas vehiculares livianas.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Reducir los efectos que produce la circulación de vehículos livianos en los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.
- ✓ Rehabilitar el sistema estructural para optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.

1.6. Variables, dimensiones e indicadores

Cuadro 1: Operacionalización de variables.

VARIABLES		DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDADES
Independientes	Rehabilitación del sistema estructural.	Ubicación de los elementos que serán rehabilitados.	Corrosión de los elementos de acero	Porcentaje (%)
			Fisura de los elementos de concreto	Milímetros (mm)
			Deterioro de los elementos de madera	Porcentaje (%)
Dependientes	Optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales.	Características del deterioro de los elementos estructurales del puente.	Elementos de acero rehabilitados (sin corrosión)	Porcentaje (%)
			Elementos de concreto rehabilitados (sin fisuras)	Milímetros (mm)
			Elementos de madera rehabilitados (sin deterioro)	Porcentaje (%)

Fuente: Propio

1.7. Justificación e importancia

1.7.1. Justificación

El sistema vial del país es un indicador del desarrollo, además forma parte integral del patrimonio nacional; por lo que debe conservarse en óptimas condiciones. La rehabilitación de puentes es una de las actividades más importantes para llevar a cabo la conservación de una red vial. La falta de rehabilitación en los puentes da lugar a problemas de funcionalidad, seguridad e importantes problemas económicos por el acortamiento de la vida útil de los puentes.

Las Pampas pertenece al distrito de Tomay Kichwa, provincia de Ambo, departamento de Huánuco, cuenta con aproximadamente 2500 habitantes de las cuales más de la mitad de la población y los turistas visitantes hacen uso del puente colgante, porque es la conexión más cercana con la vía nacional (PE-3N) que une las Pampas con otros centros poblados, distritos y departamentos.

El puente colgante de madera de las Pampas presenta diversos daños, tales como fisuras en los pilares, corrosión y oxidación en los elementos de acero, deterioro de los elementos de madera, a consecuencia del incremento de cargas rodantes, siendo su diseño solo como puente peatonal, la cual varía considerablemente con un diseño de puente carretero.

Es importante que se rehabiliten estos deterioros cuanto antes, ya que cualquier falla en su estructura representa mayor inversión para su reparación, así como la disminución del bienestar de la población y turistas.

1.7.2. Importancia

La rehabilitación hace que una obra civil vuelva a tener las mismas o mejores condiciones de servicio que las que tenía al inicio de su vida útil.

El puente colgante de madera de las Pampas constituye una infraestructura de conectividad estratégica, por lo que es importante mantenerla operativa mediante una rehabilitación y un mantenimiento periódico para que responda adecuadamente a las nuevas exigencias de crecimiento, desarrollo, seguridad de la población y turistas visitantes.

1.8. Matriz de consistencia

Cuadro 2: Matriz de consistencia.

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICIÓN DE VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDADES
Rehabilitación del sistema estructural para optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas	General	General	Independiente			Independientes	Independientes	
	¿Los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas soportan cargas vehiculares livianas?	Comprobar si los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas soportan cargas vehiculares livianas.	Rehabilitación del sistema estructural.	Rehabilitación	La rehabilitación hace que una obra civil vuelva a tener las mismas o mejores condiciones de servicio que las que tenía al inicio de su vida útil	Ubicación de los elementos que serán rehabilitados.	Corrosión de los elementos de acero	Porcentaje (%)
				Sistema estructural	Están compuestos de varios elementos de tal forma que la estructura total y cada uno de sus elementos sean capaces de mantenerse sin cambios apreciables en su geometría durante la carga y descarga		Fisura de los elementos de concreto	Milímetros (mm)
							Deterioro de los elementos de madera	Porcentaje (%)
	Específico	Específico	Dependiente			Dependientes	Dependientes	
	¿Los efectos que produce la circulación de vehículos livianos afectaran a los elementos estructurales del puente colgante de las Pampas?	Reducir los efectos que produce la circulación de vehículos livianos en los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.	Optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales.	Optimizar	Optimizar quiere decir buscar mejores resultados, mayor eficiencia en el desempeño de alguna función del elemento	Características del deterioro de los elementos estructurales del puente.	Elementos de acero rehabilitados (sin corrosión)	Porcentaje (%)
	¿Es posible optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas?	Rehabilitar el sistema estructural para optimizar el funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.		Elementos de acero	Son los elementos que sujetan el tablero del puente, tales como: Cable principal Péndola Carro dilatador Flejes o mordazas		Elementos de concreto rehabilitados (sin fisuras)	Milímetros (mm)
				Elementos de concreto	Son elementos que soportan el peso de la estructura del puente, tales como: Pilares Cámaras de anclaje			
			Elementos de madera	Son elementos que conforman la estructura del puente, tales como: Tablero Viga longitudinal Viga transversal	Elementos de madera rehabilitados (sin deterioro)		Porcentaje (%)	

Fuente: Propio

1.9. Población o universo

En la presente investigación el universo o población de estudio está constituido solo por el puente colgante de madera, cimentada sobre el río Huallaga de 50.25 m de luz libre y 2.40 m de ancho libre, que conecta la localidad de las Pampas con la vía nacional (PE-3N).

1.10. Muestra

La selección de la muestra de la presente investigación se utiliza por el muestreo no probabilístico, debido a que no depende de la probabilidad sino de causas relacionadas con las características de los efectos producidos por el incremento de las cargas en dicho puente. En la presente investigación la muestra de estudio está constituida solo por el puente colgante de madera, cimentada sobre el río Huallaga de 50.25 m de luz libre y 2.40 m de ancho libre, que conecta la localidad de las Pampas con la carretera central.

1.11. Conceptos fundamentales

1.11.1. Sistema estructural

Sistema estructural es un ensamblaje de elementos independientes para conformar un cuerpo único y cuyo objetivo principal es darle solución (cargas y forma) a un problema de ingeniería civil.

1.11.2. Estructura

Estructura es el conjunto de elementos resistentes vinculados entre sí, que accionan y reaccionan bajo los efectos de cargas.

1.11.3. Elementos estructurales

Elementos estructurales son cada una de las partes que constituye una estructura y que posee una función resistente dentro del conjunto de la estructura.

1.11.4. Optimizar

Optimizar es buscar mejores resultados, mayor eficiencia en el desempeño de alguna función del elemento.

1.11.4.1. Enfoque de la optimización en el campo de la ingeniería

La optimización en la ingeniería se enfoca en utilizar de forma eficiente recursos limitados, la optimización tiene como propósito de analizar e identificar la mejor solución posible, entre toda las soluciones potenciales.

En la ingeniería el objetivo es evitar las fallas, por lo que es importante el uso de modelos matemáticos para ayudar a la toma de decisiones.

1.11.5. Rehabilitación Estructural

La rehabilitación estructural aumenta y mejora las características originales de la estructura existente, adecuándolo a las nuevas condiciones de tráfico durante su vida útil.

1.11.6. Inspección

Se trata de una exploración física que se realiza principalmente a través de la vista. El objetivo de una inspección es hallar características físicas significativas para determinar cuáles son normales y distinguirlas de aquellas características anormales.

1.11.7. Puente

Es una estructura vial que permite salvar obstáculos naturales y artificiales por el cual no es posible el libre tránsito.

1.11.7.1. Superestructura

Es la parte del puente que permite la continuidad del camino, sobre ríos u otra vía, además es la responsable de soportar el paso de las cargas móviles, las que tras pasa a la subestructura por medio de los sistemas de apoyo.

1.11.7.2. Subestructura

Es la parte del puente que se encarga de apoyar a la superestructura y a través de la cual se reciben las cargas de la superestructura junto con las solicitaciones para transmitir las a la cimentación.

1.11.8. Puente colgante

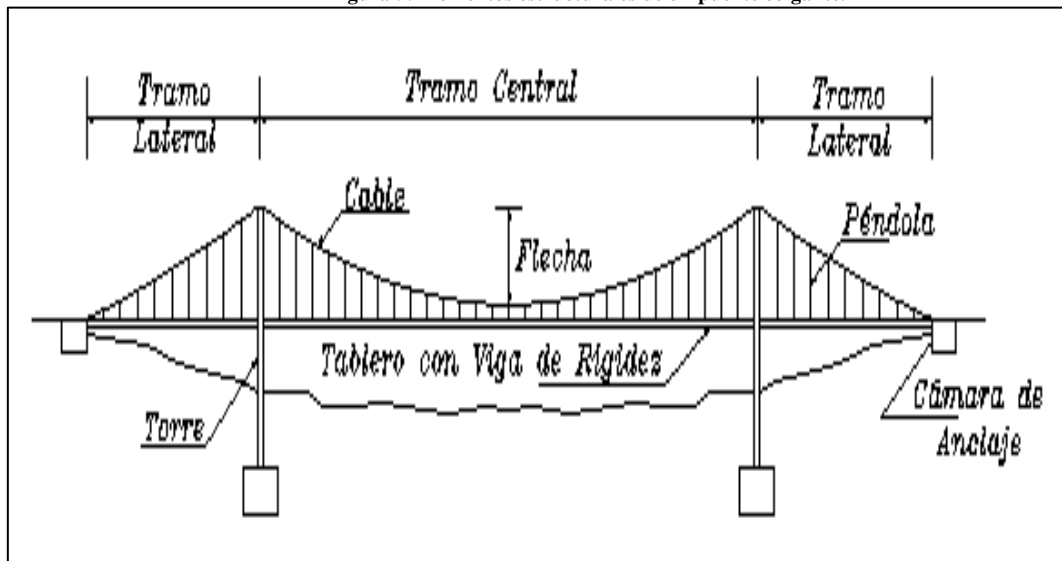
Es una estructura que cuenta con un tablero que no está apoyada sobre pilares o arcos, sino están sujetas a los cables principales formando una catenaria a través de cables verticales de acero. Las fuerzas principales en este tipo de puentes son de tensión en los cables principales y de compresión en los pilares. Los elementos estructurales del puente colgante están conformados por cables principales, péndolas, torres, tablero, cámara de anclajes y cimentaciones.

1.11.8.1. Características principales de los puentes colgantes

Los puentes colgantes son capaces de salvar grandes luces y estas se debe a las siguientes características principales que hacen posible el funcionamiento óptimo y adecuado de la estructura vial durante su vida útil, la figura N°5 muestra elementos del puente colgante.

- Tienen un tramo central, de luz grande, con dos tramos laterales con luces que varían entre 0.20 a 0.50 de la luz del tramo central.
- Dos cables flexibles de acero que forman la estructura portante, con una flecha del orden de 1/10 de la luz del tramo central.
- Dos torres, de acero o de concreto armado, entre el tramo central y los dos tramos laterales, que sirven de apoyo a los cables de acero.
- Un tablero, que es la superficie de tráfico, colgado de los cables mediante péndolas que pueden ser verticales o inclinadas.
- Las vigas de rigidez que distribuyen las cargas concentradas de los vehículos evitando las deformaciones locales de la estructura y proporcionando la rigidez torsional y de flexión necesaria para evitar oscilaciones peligrosas por efectos del viento.
- Dos cámaras de anclaje que sirven para fijar los cables al terreno, resistiendo normalmente por gravedad las fuerzas horizontales que transmiten dichos cables.

Figura 5: Elementos estructurales de un puente colgante.

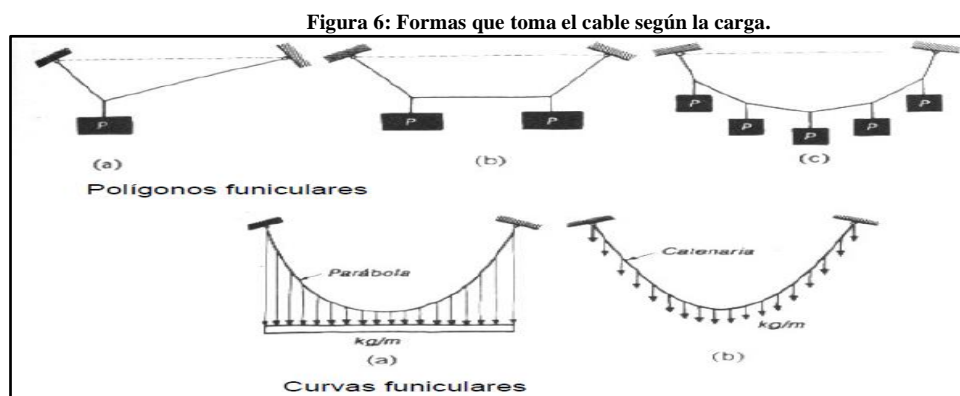


Fuente: “Consideraciones estructurales en el análisis y diseño de puentes colgantes”, p.12, por Everth John A. A. Tesis de grado. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú: Lima 2012.

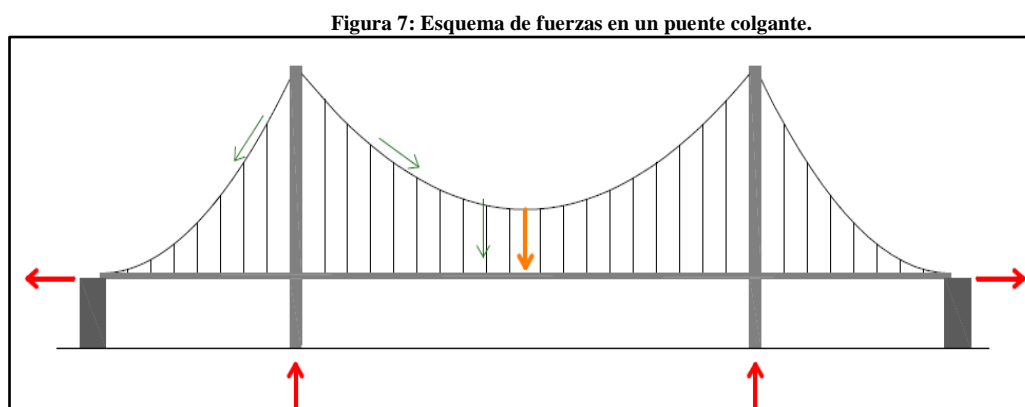
1.11.8.2. Distribución de fuerzas en los puentes colgantes

El cable es un elemento flexible, no tiene rigidez y por tanto no resiste flexiones. Si se le aplica un sistema de fuerzas, tomará la forma necesaria para que en él solo se produzcan esfuerzos axiales de tracción. La carga de tracción se divide por igual entre los hilos del cable, permitiendo que cada hilo quede sometido a la misma tensión admisible. Por tanto, la forma del cable coincidirá forzosamente con la línea generada por la trayectoria de las composiciones del sistema de fuerzas que actúan sobre él. Esta línea es el funicular del sistema de cargas, que se define precisamente como la forma que toma un hilo flexible cuando se aplica sobre él un sistema de fuerzas y pueden dividirse en dos categorías:

- Cables que soportan cargas concentradas. Adoptan forma de polígono funicular, forma natural requerida para que las cargas sean de tensión.
- Cables que sostienen cargas distribuidas. Para una carga distribuida horizontal el cable adquiere la forma de una parábola y para el peso propio adquiere la forma denominada catenaria, tal como se observa en las figura N°6, N°7.



Fuente: Puentes de Fortuna, p.115, Gisela S.S. Tesina de Grado. Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona: Cataluña 2012.



Fuente: Puentes de Fortuna, p.32, Gisela S.S. Tesina de Grado. Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona: Cataluña 2012.

1.11.8.3. Cargas de diseño del puente colgante

1.11.8.3.1. Carga muerta (D)

La carga muerta corresponde al peso propio del puente, es decir, el peso de las péndolas, vigas transversales, longitudinales, tablero y cables.

1.11.8.3.2. Carga viva (L)

Los puentes colgantes para uso peatonal y para el tráfico de bicicletas son diseñados para una carga viva uniformemente repartida de 85 lb/ft² (420 kg/m²).

1.16. Marco situacional

En las últimas décadas con un fuerte desarrollo tecnológico se construyen puentes sofisticados, a pesar de ello con el paso del tiempo se deterioran por lo que es necesario realizarle una rehabilitación para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios.

En la actualidad ya se viene empleando técnicas muchas más avanzadas en la rehabilitación, tal es el caso de la utilización de epóxidos y fibras de carbono en la rehabilitación de las torres de suspensión, la cual es indispensable para los puentes colgantes.

CAPITULO II

II. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Nivel de investigación

2.1.1. Investigación descriptiva

Se describió de acuerdo a los indicadores de estudio el deterioro de los elementos estructurales, sus características y sus consecuencias producidas por el exceso de carga en los elementos estructurales.

2.1.2. Investigación explicativa

Se determinara la relación causa-efecto que se produce y son explicados según el análisis efectuado en campo, en gabinete y el diseño de los elementos estructurales para la rehabilitación.

2.2. Tipo de investigación

2.2.1. Estudios explicativos

La presente investigación se realiza en campo, a fin de verificar los efectos y daños producidos por el exceso de carga, por lo que todos los datos obtenidos para su análisis e interpretación se tomaron in situ.

2.3. Técnicas de recolección y tratamiento de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Siendo técnicas de recolección de datos las distintas formas o maneras de obtener la información, se realizó la inspección en campo y trabajos de gabinete que consiste en:

- ✓ Inspección visual del puente colgante
- ✓ Estudio tránsito y de accesos
- ✓ Recopilación de información
- ✓ Modelación estructural
- ✓ Levantamiento de deterioros y posibles causas

2.4. Descripción de los elementos estructurales del puente colgante de madera

El puente colgante de las Pampas cuenta con un tablero de madera suspendida de los cables principales, por medio de cables verticales de acero (péndolas) y elementos estructurales de concreto que complementan la estructura, la longitud del puente es de 50.25m, tal como se muestra en la figura N°8.

Figura 8: Vista panorámica del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente:

2.4.1. Descripción de los elementos estructurales de acero

Los elementos estructurales de acero están conformados por los cables principales, péndolas y el carro de dilatación por el cual pasa los cables principales hacia los anclajes, en la cual los cables principales se sujetan en una viga de acero.

2.4.1.1. Descripción de los cables principales

Los cables principales son 4, dos a cada lado que pasan sobre el carro de dilatación que se encuentran sobre las torres hacia la cámara de anclaje a ambos lados del puente, su función principal es transmitir todas las cargas concentradas en el tablero hacia las torres, tal como se muestra en la figura N°9. Los cables de acero están constituidos por 6 torones (9 alambres de 2 mm y 9 alambres de 1 mm ordenados helicoidalmente alrededor de un alambre central de 2 mm) ordenados en forma helicoidal alrededor de un alma central de 7x7 torones

(6 alambres de 1mm formados helicoidalmente alrededor de un alma de 1mm), formando una sección circular de diámetro 1 1/4", tal como muestra la figura N°10.

Figura 9: Vista de los cables estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Disposición final de los cables principales en el puente colgante, margen derecho río arriba.

Figura 10: Vista de los cables estructurales del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Disposición final de los torones que conforman el cable estructural

2.4.1.2. Descripción de las péndolas

Las péndolas son elementos verticales de 5/8" de diámetro, cuyo extremo superior se encuentra unido al cable principal por medio de flejes (abrazaderas) de 15cm x 8cm x 1cm, con 1 tornillo ubicado en la parte superior de diámetro 5/8" y 1 tornillo ubicado en la parte inferior de 3/4" diámetro y el extremo inferior sujeta a la viga transversal del tablero. La figura N°11 muestra las péndolas del puente.

El puente colgante cuenta con 49 péndolas a cada lado del puente, dobladas y soldadas formando un ojo en la parte superior, roscadas en la parte inferior, cuya función es transmitir las cargas a los cables principales, tal como se muestra en la figura N°12 y N°13.

Figura 11: Vista de las péndolas del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Disposición final de las péndolas que se encuentran sujetadas del cable principal

Figura 12: Vista de la péndola roscada en la parte inferior.



Fuente: Propio. Las péndolas se encuentran roscadas en la parte inferior, las mismas que sujetaran las vigas transversales.

Figura 13: Vista de la péndola doblada y soldada en la parte superior



Fuente: Propio. La parte superior de las péndolas se encuentran dobladas y soldadas formando un ojo para el paso del tornillo

2.4.1.3. Descripción de los carros de dilatación para el paso de los cables

Los carros de dilatación son elementos de acero colocadas adecuadamente en la parte superior de la torre (figura N°14), la cual permite el paso de los cables principales hacia la cámara de anclaje. La función principal de los carros de dilatación es anular las tenciones horizontales sobre las torres restringiéndoles a soportar solo esfuerzos de compresión vertical.

El puente colgante presenta 4 carros de dilatación de acero en forma semicilíndrica de 0.25 cm de radio y 2 placas semicirculares de 0.35 cm de radio con 1 cm espesor a los costados del semicilindro.

Figura 14: Vista de los carros de dilatación del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Los carros de dilatación permiten el paso del cable por la torre hacia la cámara de anclaje

2.4.2. Descripción de los elementos estructurales de concreto

Los elementos estructurales de concreto están conformados por las torres de concreto, cámaras de anclaje. La vereda de acceso no es estructural pero sirve para nivelar la vía de acceso al puente, por lo que se considera en esta descripción.

2.4.2.1. Descripción de las torres de concreto

Son elementos verticales que soporta una serie de cables de carga, su función estructural principal es llevar el peso del puente, las cargas de tráfico y las fuerzas de la naturaleza a la cimentación. Las torres (ver figura N°15) deben realizar esta función de manera segura, estética y económica ya que de ellos depende la duración del puente, debido a que no pueden ser reemplazadas. La sección de la torre es de 0.70 x 0.40m y la altura de las torres del puente es 6.30 m cada uno.

Figura 15: Vista de las torres del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Torres estructurales que soportan cables de carga.

2.4.2.2. Descripción de las cámaras de anclaje

Son elementos que sirven para fijar los cables al terreno (ver figura N°16) resistiendo normalmente por gravedad las fuerzas horizontales que transmiten dichos cables, cuya sección es de 4.5 x 5 m y su altura es de 4.5 m.

Los cables principales se sujetan con 14 abrazaderas con dos pernos a 15cm, en las vigas transversales de acero de 8 cm de diámetro, que se encuentran en las cámaras de anclaje, la figura N°17 muestra la cámara de anclaje. Los cables principales rodea la barra de acero por medio de guardacabos de acero que también presenta corrosión en su área.

Figura 16: Vista de la cámara de anclaje del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Cámara de anclaje margen izquierdo río arriba

Figura 17: Vista de la viga transversal de acero en la cámara de anclaje del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Viga de acero dentro de la cámara de anclaje del cual se sujeta el cable estructural.

2.4.2.3. Descripción de la vereda de acceso

La vereda de acceso sirve de relleno para nivelar las vías de acceso al puente, y están ubicados en los extremos del puente, entre el camino de acceso y el tablero cuya longitud es de 9.50 m, la figura N°18 muestra la vereda de aproximación del puente colgante.

Figura 18: Vista de la vereda de acceso del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Vereda de acceso para nivelar la vía con el puente, margen izquierdo río arriba.

2.4.3. Descripción de los elementos estructurales de madera

Los elementos de madera están conformados por las vigas longitudinales, transversales, tablero. Las barandas no son estructurales pero sirven de protección y complementan al tablero.

2.4.3.1. Descripción del tablero

El tablero es el encargado de proporcionar la capacidad de soporte para las cargas de tránsito (rigidiza el puente), este elemento es sostenido por las vigas longitudinales y transversales tal como se observa en la figura N°19. El tablero del puente está conformada por tablas de 7.5" x 2" x 2.40 m, con una separación de 2cm, dos durmientes de 2.8" x 2.8" x 50.21m, las barandas está formada por tablas de 1.6" x 1.6" x 1.32 m ubicadas a los costados de cada viga transversal y tablas de 3" x 2" x 1.20 m ubicadas en forma diagonal entre vigas transversales, la figura N°19 muestra las barandas, listones sobre el entablado del puente.

Figura 19: Vista del tablero del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Tablero de madera y barandas de protección del puente colgante.

2.4.3.2. Descripción de las vigas transversales

Las vigas transversales son elementos que salvan el vano del puente colgante, en unión con la viga longitudinal forman una malla de elementos estructurales sobre un plano horizontal (ver figura N°20), las vigas transversales transmiten las cargas del tablero a las péndolas. El puente colgante cuenta con 49 vigas transversales que mide 4" x 6" x 2.72 m cada uno.

Figura 20: Vista la Viga transversal del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Ubicación de las vigas transversales sujetas de la péndola y colocadas paralelamente

2.4.3.3. Descripción de las vigas longitudinales

Estos elementos se encargan de soportar y transmitir las cargas que actúan sobre el tablero hacia las vigas transversales y estas se encargan de transmitir las cargas hacia las péndolas.

Las vigas longitudinales del puente colgante mide 2.8" x 5" x 50.21 m, 2 se ubican en los extremos y 2 en el intermedio del tablero. La figura N°21 muestra la distribución de cada viga longitudinal.

Figura 21: Vista la Viga longitudinal del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Ubicación de las vigas longitudinales sobre las vigas transversales formando una parrilla.

2.5. Inspección de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las pampas

En un contexto geográfico como el Perú, con una parte de su población ubicada en áreas rurales, las carreteras toman importancia para la integración e interconexión del país y los puentes influyen en que la continuidad del servicio de transporte se efectúe en forma permanente y segura, favoreciendo un apropiado funcionamiento de las carreteras del país.

Las condiciones de los puentes de la red vial del Perú varían, muchas estructuras con más de cincuenta años de uso, generalmente sufren daños por falta de un mantenimiento adecuado, más que por su antigüedad. Algunas de las estructuras presentan un estado crítico con respecto a su estabilidad estructural, capacidad de carga y en esas condiciones la seguridad del tránsito asume altos niveles de incertidumbre asociados a riesgos crecientes. Los puentes son los componentes más vulnerable de una carretera, que se ven afectados por las sobre cargas, influencia del ambiente, fenómenos naturales como terremotos e inundaciones, lo que origina su deterioro.

En la inspección que se realizó en el puente colgante de madera de las Pampas se observó que en épocas de lluvia se acumula material de arrastre bajo el puente, haciéndose visible en épocas de estiaje, tal como se visualiza en la figura N°22.

Figura 22: Acumulación de material de arrastre bajo el puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio. Material de arrastre acumulado en épocas de lluvia que se hacen visibles en épocas de estiaje.

2.5.1. Inspección de los elementos estructurales de acero

El acero es un material muy utilizado para la construcción de puentes, debido a su alta resistencia, ductilidad y su fiabilidad.

2.5.1.1. Inspección del cable principal

La corrosión es el defecto más común encontrado en elementos de acero, la cual produce una discontinuidad del elemento y un cambio súbito en la sección del elemento, generándose una pérdida de la capacidad de resistencia del cable.

Los cables principales han perdido por completo la protección contra la corrosión en toda su extensión, dejando expuestos los cables que forman las trenzas externas del cable. En este caso resulta crítico el estado en que se encuentran las trenzas externas del cable, por lo que el deterioro de las trenzas internas del cable es inevitable con el paso del tiempo disminuyendo la capacidad axial del cable. Ver figura N° 23, N°24, N°25.

Deterioro

- Los cables principales presentan pérdida de sección debido a la corrosión, oxidación del acero producida por el medio ambiente.

Causas directas

- Agentes atmosféricos
- Cambios de temperatura
- Acumulación de agua en épocas de lluvia.

Causas indirectas

- Falta protección y mantenimiento

Porcentaje de afectación

- El cable principal presenta un 20% de afectación por pérdida de sección a causa de la corrosión

Figura 23: Vista del cable principal con presencia de hierbas y en proceso de oxidación.



Fuente: Propio. Cable estructural con presencia de hierbas producidas por la acumulación de agentes que facilitan el crecimiento de las mismas y la falta mantenimiento adecuado.

Figura 24: Vista de los cables principales con alto grado de oxidación



Fuente: Propio. Los cables estructurales sufren oxidación debido a que no cuenta con ningún tipo de protección.

Figura 25: Vista del cable principal sin protección en contacto con el suelo, margen derecha rio arriba



Fuente: Propio. El acero estructural está sujeto a un deterioro constante por la falta de mantenimiento adecuado.

2.5.1.2. Inspección de las péndolas

La corrosión, oxidación es la causa principal en la pérdida de las secciones en elementos de acero y es causada generalmente por los cambios de humedad.

Las péndolas han perdido su protección contra la corrosión. En general las péndolas presentan un grado de corrosión severo. Ver figura N°26, N°27, N°28.

El problema más grave de las péndolas se presenta en las uniones con las abrazaderas y los cables principales a causa de la acumulación de la suciedad, humedad que acelera el deterioro de los cables principales.

Las uniones de las péndolas y los flejes están deteriorados, lo que puede ocasionar la falla del puente colgante en cualquier momento, por lo que debe ser atendido a la mayor brevedad.

Deterioro

- Las uniones de las péndolas presentan pérdida de sección debido a la corrosión del acero producida por el medio ambiente y las lluvias
- Los flejes (mordazas) presentan corrosión en todo el área
- Las péndolas presentan corrosión, por ende pérdida de sección en todo su longitud

Causas directas

- Agentes atmosféricos
- Cambios de temperatura
- Acumulación de agua en épocas de lluvias

Causas indirectas

- Falta de protección y mantenimiento adecuado

Porcentaje de afectación

- En las péndolas se observa un 30% de afectación por pérdida de sección en los nudos y flejes (mordazas) de las péndolas

Figura 26: Vista de péndola reparada en proceso de oxidación.



Fuente: Propio. Péndola soldada funcionamiento sin protección y en proceso de oxidación.

Figura 27: Vista de la péndola, abrazadera, tornillos en proceso de corrosión.



Fuente: Propio. Los elementos de acero no cuentan con protección contra la corrosión, tornillos de la madera de la baranda de protección fueron reemplazados por otros nuevos que no son de las mismas dimensiones.

Figura 28: Vista de la abrazadera y los tornillos oxidados



Fuente: Propio. Las abrazaderas, los tornillos superiores e inferiores no cuentan con protección contra la coacción y se encuentran en proceso de oxidación constante.

2.5.1.3. Inspección del carro de dilación para el paso del cable principal

La corrosión, oxidación es la causa principal en la pérdida de sección en elementos de acero, produciendo la pérdida de resistencia para la cual fue diseñada. Su función principal es equilibrar las fuerzas horizontales en la torre.

Los carros de dilatación han perdido su protección contra la corrosión, presentan oxidación en toda el área y en sus componentes, además presentan abrasión. Ver figura N°29.

Deterioro

- Los componentes del carros de dilatación de ambas torres presenta pérdida de sección a causa de la corrosión
- Los carros de dilatación presenta abrasión en el punto de encuentro con el cable

Causas directas

- Agentes atmosféricos
- Cambios de temperatura
- Acumulación de agua
- Exceso de carga en el cable en contacto con el carro de dilatación

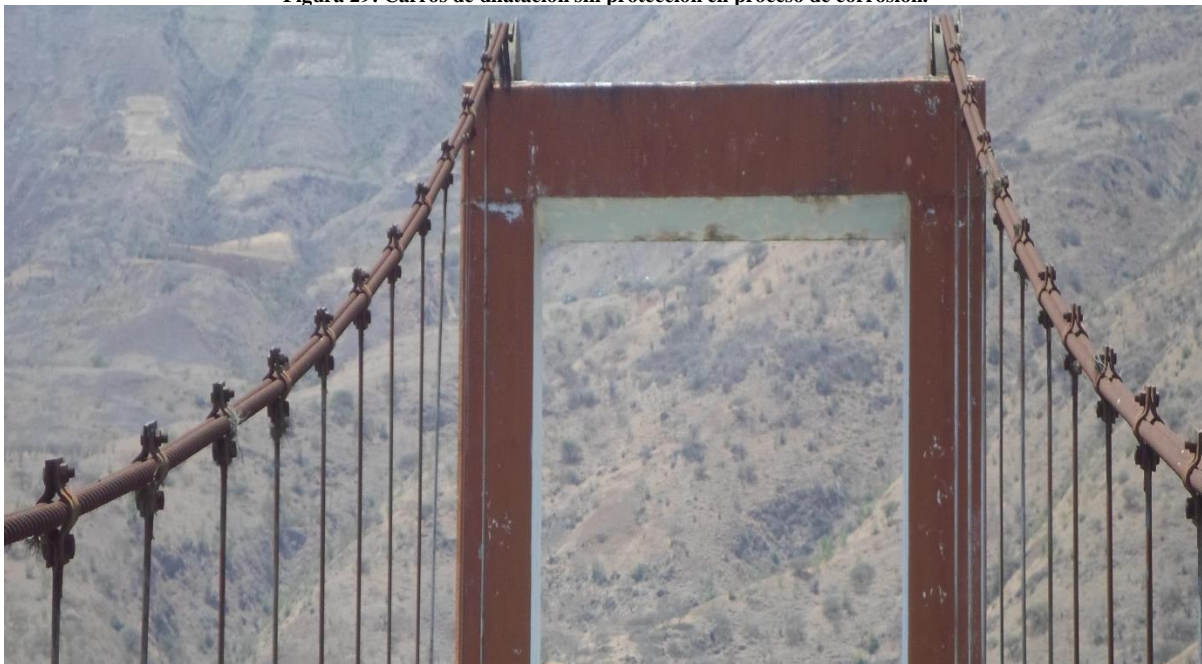
Causas indirectas

- Desgaste de la protección ambiental
- Falta de mantenimiento

Porcentaje de afectación

- En los carros de dilatación se observa un 20% de afectación por pérdida de sección por abrasión

Figura 29: Carros de dilatación sin protección en proceso de corrosión.



Fuente: Propio. Ubicación de los carros de dilatación en la parte superior de la torre.

Figura 30: Vista lateral del carro de dilatación



Fuente: Propio. Los carros de dilatación facilitan el paso del cable hacia la cámara de anclaje.

2.5.2. Inspección de los elementos estructurales de concreto

Los elementos de concreto son empleados en los puentes por su gran resistencia, durabilidad y trabajabilidad.

2.5.2.1. Inspección de la torres

Los daños en elementos de concreto comienzan a manifestarse a partir de un cierto estado de cargas o deformaciones, de modo que el proceso de rotura del concreto se basa en un daño progresivo, la cual es analizada para luego plantear una reparación.

El término fisuración se atribuye a la rotura del concreto que se manifiesta exteriormente con un desarrollo lineal, son producidas por numerosas causas y que pueden ser motivo de fallas estructurales, durabilidad o tan solo afectan a la apariencia y estética de la estructura. Las torres presentan deterioros tales como fisuras de 1mm y 1.5 mm en la cara posterior de la torre y un desgaste de la pintura de protección contra el sol. Ver Figura N°31.

Se observa fractura en la vereda de acceso que se encuentra en la parte posterior de la torre, estos sirven para nivelar la vía de acceso al puente. Ver figura N°33.

Deterioro

- La torre presenta una fisura de 1mm
- La torre presenta una fisura máxima de 1.5mm

Causas directas

- Exceso de carga en el tablero
- Agentes atmosféricos
- Efectos del sol

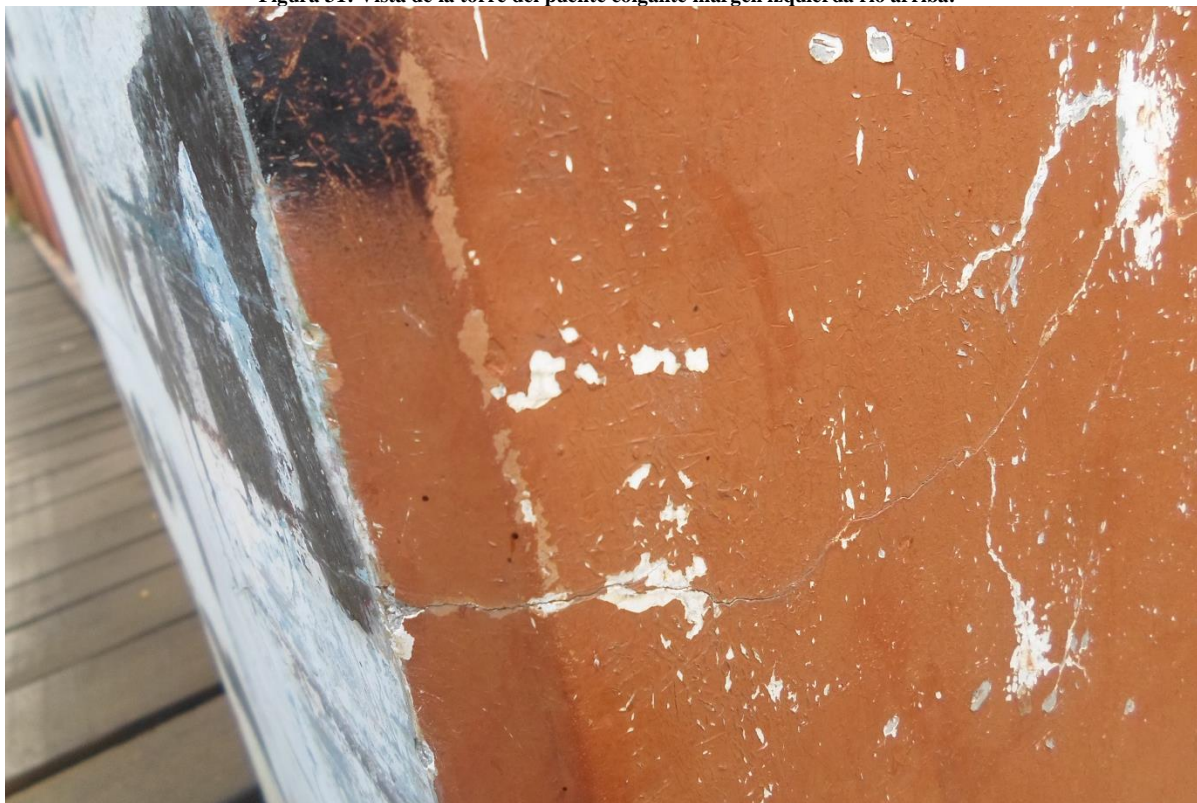
Causa indirectas

- Falta de mantenimiento adecuado

Porcentaje de afectación

- Presenta una afectación de 0.1% por fisura del concreto en la torre

Figura 31: Vista de la torre del puente colgante margen izquierda rio arriba.



Fuente: Propio. La columna de la torre presenta una fisuración de 1 mm.

Figura 32: Vista lateral de la columna de la torre.



Fuente: Propio. La columna de la torre presenta una fisuración de 1.5 mm.

Figura 33: Vista posterior de la torre – vereda de acceso.



Fuente: Propio. La vereda de acceso que nivela el puente y la vía se encuentra fracturada.

2.5.2.2. Inspección de cámara de anclaje

Los anclajes que se encuentra en la margen izquierda del puente presentan problemas de corrosión en los cables principales, ya que el tubo de protección esta al ras del concreto, la cual en épocas de lluvia es invadida por el agua llegando esta hasta la caja de anclaje acelerando el proceso de corrosión de los elementos de acero.

Los anclajes que se ubican en la margen derecha, por estar a nivel de la carretera, presenta oxidación, acumulación de suciedad y crecimiento de vegetación, aspectos que aumentan la velocidad de deterioro de los componentes de acero.

Los cables principales han perdido la protección contra la corrosión, dejando expuestos los alambres que forman las trenzas exteriores del cable, los pernos que sujetan los cables presentan oxidación, las barras de acero del cual se sujeta los cables principales del puente presentan corrosión y oxidación, así mismo se observa presencia de agua en la cámara de anclaje. Ver figura N°34, N°35, N°36, N°37.

Deterioro

- Barra horizontal ubicada transversalmente en la cámara de anclaje presenta perdida de sección por corrosión
- Cable principal presenta perdida de sección por corrosión, oxidación

Causas directas

- Agentes atmosféricos
- Acumulación de agua
- Acumulación de desmonte y vegetación

Causas indirectas

- Falta de mantenimiento adecuado

Porcentaje de afectación

- Cable principal presenta un el 30% de afectación por pérdida de sección.

- Barra horizontal presenta un 15% de afectación por pérdida de sección por corrosión
- Pernos de sujeción presenta un 10% de afectación por corrosión, oxidación.

Figura 34: Vista del cable principal en la cámara de anclaje.



Fuente: Propio. El cable estructural en contacto con el suelo, cámara de anclaje margen derecho del río.

Figura 35: Vista del cable estructural en la cámara de anclaje.



Fuente: Propio. Cable estructural sujetado en la barra de acero por medio de pernos de sujeción.

Figura 36: Vista barra horizontal ubicada en la cámara de anclaje.



Fuente: Propio. La barra horizontal presenta pérdida de sección por corrosión.

Figura 37: Vista de la barra horizontal que sujeta el cable principal a través de guardacabos.



Fuente: Propio

2.5.2.3. Inspección de la vereda de acceso

Sostiene el relleno de tierra a trasdós de la torre y que sirve para nivelar la vía de acceso del puente. Ambas veredas de acceso presenta fisuras en la pantalla poniendo en riesgo la circulación fluida de la población pórtico. Ver figura N°38, N°39.

Deterioro

- Fisuras de 0.3mm en la cara de la vereda de acceso
- Fisuras de 0.40mm en la cara de la vereda de acceso

Causas directas

- Agentes atmosféricos
- Cambios de temperatura
- Acumulación de agua.

Causas indirectas

- Falta de mantenimiento adecuado.

Porcentaje de afectación

- La vereda de aproximación presenta un 75% de afectación por fisura en la pantalla.

Figura 38: Vista de las fisuras en la pantalla de las veredas de acceso.



Fuente: Propio. Presencia de fisura en la pantalla de la vereda de acceso ubicadas a tras dos del puente.

Figura 39: Vista de la vereda de acceso a la torre del puente



Fuente: Propio.

2.5.3. Inspección de los elementos estructurales de madera

La madera es un excelente material de ingeniería para el uso en puentes, renovable, resistente, económico, estéticamente agradable, disponibles en muchos lugares, fácil manipulación, resistente a los agentes de deshielo.

2.5.3.1. Inspección del tablero

El tablero está constituido por las vigas transversales, que cuelgan directamente de las péndolas y que sobre ellos se colocan una serie de vigas longitudinales para formar el tablero.

Las maderas que conforman la superficie del tablero están deterioradas, presentan fracturas, las barandas que se encuentran adheridas a la viga transversal se encuentran deterioradas, en su gran mayoría fueron cambiadas, las mismas que ya están deterioradas y que no ofrecen seguridad a la población que hace uso de dicho puente. Ver figura N°40,N°41.

La gran mayoría de los clavos que sujetan las tablas que conforman el tablero están libres, los tornillos que sujetan a la baranda se encuentran libres por que la madera que conforma la baranda están podridas y fracturados, los pernos de las barandas presenta oxidación severa y otras ya fueron cambiadas.

Deterioro

- Las maderas que conforman la superficie del tablero presentan fracturas mayores a 10cm y algunas ya fueron cambiadas
- Se perdió parte de la madera que forma la baranda
- Los tornillos presentan corrosión y oxidación

Causas directas

- Hongos
- Insectos
- Degradación de la madera por corrosión del clavos
- Agentes atmosféricos

- Cambios de temperatura
- Acumulación de agua

Causas indirectas

- Falta de protección
- Falta de mantenimiento adecuado

Porcentaje de afectación

- Las maderas que conforman la parte superficial del tablero presentan un 75% de afectación por fractura.
- Las maderas que conforman las barandas presentan un 85% de afectación por fractura.
- Los tornillos presentan un 65% de afectación por oxidación.

Figura 40: Vista de las tablas que conforman el tablero del puente colgante.



Fuente: Propio. Fractura de la tabla que se encuentra sobre la viga trasversal y longitudinal.

Figura 41: Vista de la baranda de protección del puente colgante



Fuente: Propio. Perdida de los listones que conforman la baranda de protección del puente colgante.

2.5.3.2. Inspección de la viga transversal

Las vigas transversales cuelgan directamente de las péndolas, por lo que son de mayor importancia en el puente colgante, por lo mismo debe mantenerse en perfectas condiciones, para garantizar seguridad y comodidad a la población que transita por dicho puente.

Se observa la pérdida de protección de las vigas transversales, por lo que se encuentran muy deterioradas, además presenta fracturas en la unión de las péndolas con la viga transversal, también presenta ataque hongos de pudrición en todo el elemento, provocando la pérdida de la sección de la viga. Ver figura N°42.

Deterioro

- Presenta fractura en las uniones de las péndolas y la viga transversal
- La mayoría de las vigas presenta ataque de hongos de pudrición y (moho), provocando pérdida de sección de la viga, la cual provoca la pérdida de la resistencia de la viga transversal

Causas directas

- Hongos
- Insectos
- Degradación por corrosión
- Humedad
- Luz ultravioleta
- Agentes atmosféricos
- Cambios de temperatura
- Acumulación de agua

Causas indirectas

- Falta de mantenimiento oportuno y adecuado.

Porcentaje de afectación

- Las vigas transversales presentan un 60% de afectación por fractura en las uniones de las péndolas con la viga
- Las vigas transversales presenta un 30% de afectación por pérdida de sección en las vigas a causa de los hongos de pudrición y moho acumulado en la viga

Figura 42: Vista de la viga transversal.



Fuente: Propio. Acumulación de humedad, hongos y moho en la viga transversal.

2.5.3.3. Inspección de la viga longitudinal

Las vigas longitudinales se colocan directamente sobre las vigas transversales, formando el tablero del puente colgante.

La viga longitudinal presenta ataque hongos de pudrición y moho en todo el elemento, provocando la disminución de la sección de la viga, la cual provoca la pérdida de la resistencia de la viga longitudinal. Ver figura N°43, N°44.

Deterioro

- Las vigas presentan ataque de hongos de pudrición y moho, provocando pérdida de sección de la viga

Causas directas

- Hongos
- Insectos
- Degradación por corrosión
- Humedad
- Luz ultravioleta
- Agentes atmosféricos
- Cambios de temperatura
- Acumulación de agua

Causas indirectas

- Falta de mantenimiento oportuno y adecuado

Porcentaje de afectación

- Las vigas longitudinales presentan un 40% de afectación por pérdida de sección en las vigas a causa de los hongos de pudrición y moho acumulados en la viga longitudinal

Figura 43: Vista de la viga longitudinal.



Fuente: Propio. Ubicación de la viga longitudinal en el puente colgante.

Figura 44: Vista de la viga longitudinal



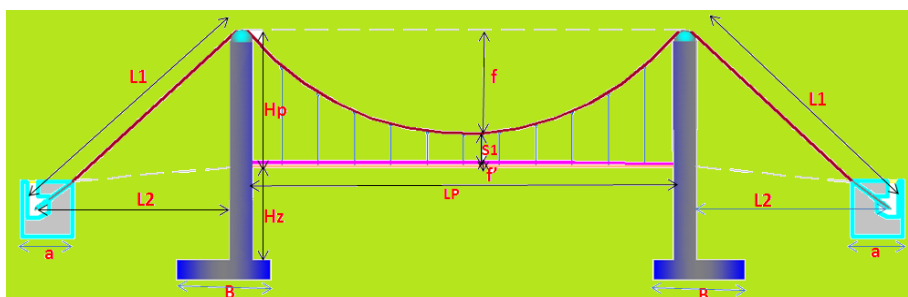
Fuente: Propio. Acumulación de humedad, hongos y moho en la viga longitudinal.

2.6. Verificación de los elementos de madera empleando el programa SAP 2000

Empleando el programa SAP 2000 y con la ayuda de la hoja de cálculo desarrollada en MATHCAD, se determina la resistencia de los elementos estructurales de madera, siendo estos quienes soportan las cargas vehiculares. La verificación de estos elementos se realizan empleando carga de vehículo liviano para el diseño y sin ella.

2.6.1. Diseño del entablado del puente colgante de madera de las Pampas

1.- CARACTERISTICAS DEL PUENTE COLGANTE



Longitud del puente: Flecha del cable:

$$L_p := 50.25\text{m}$$

$$f_c := \frac{L_p}{10} = 5.025\text{ m}$$

$$f := 5.36\text{m}$$

Contraflecha del cable:

$$f_{cf} := \frac{2 \cdot L_p}{300} = 0.335\text{ m}$$

$$f' := 0.21\text{m}$$

Altura de la pendola central:

$$S1 := 1.12\text{m}$$

Ancho de puente:

$$A_p := 2.74\text{m}$$

Ancho de tablero:

$$A_t := 2.40\text{m}$$

Altura de torre:

$$H_T := 6.56\text{m}$$

Sobrecarga peatonal:

$$SC := 420 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Tipo de madera para diseño:

GRUPO := "B"

MADERA	ESFUERZO ADMISIBLE (kg/cm ²)		DENSIDAD (kg/m ³)
	FLEXION	CORTE	
A	210	15	750
B	150	12	650
C	100	8	450

Peso específico:

$$\gamma_m := 1020 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo a flexión:

$$f_m = 150$$

$$f_m := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte:

$$f_v = 12$$

$$f_v := 12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Diseño del entablado

Datos:

Dimensión real de la madera:

Base de tabla: Altura de tabla:

$$B_e := 18\text{cm}$$

$$H_e := 4\text{cm}$$

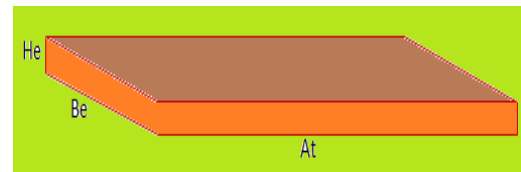
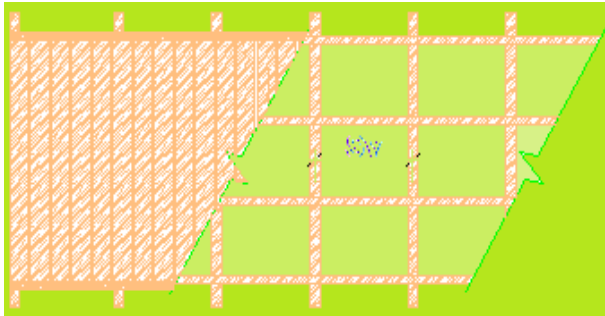
Dimensión comercial de la madera:

Base de tabla:

Altura de tabla:

$$B_{ec} := 20\text{cm}$$

$$H_{ec} := 5\text{cm}$$



Cálculos:

Módulo de sección:

$$S_e := \frac{(B_e) \cdot (H_e)^2}{6} = 48 \cdot \text{cm}^3$$

Módulo de reacción:

$$R_e := \frac{2(B_e) \cdot (H_e)}{3} = 48 \cdot \text{cm}^2$$

Datos para cálculos en SAP 2000:

Peso por sobrecarga del entablado:

$$W_{SC} := SC \cdot B_{ec} = 84 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kgf}$$

Diseño de la viga longitudinal

Datos:

Dimensión real de la madera:

Base de la viga
longitudinal:

$$B_1 := 6.5\text{cm}$$

Altura de la viga
longitudinal:

$$H_1 := 11\text{cm}$$

Dimensión comercial de la madera:

Base de la viga
longitudinal:

$$B_{1c} := 7.6\text{cm}$$

Altura de la viga
longitudinal:

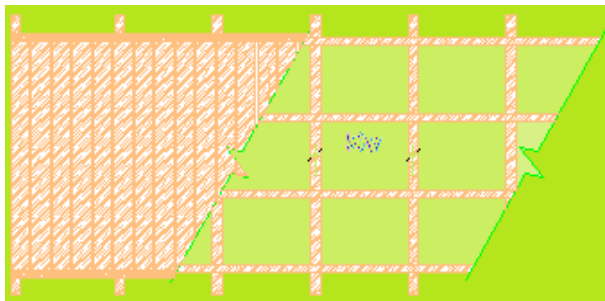
$$H_{1c} := 12.7\text{cm}$$

Separación de vigas
longitudinal

$$S_1 := 0.75\text{m}$$

Peso de clavo en viga
longitudinal:

$$W_{\text{clavos}} := 5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



Diseño:

Módulo de sección:

$$S_1 := \frac{B_1 \cdot (H_1)^2}{6} = 131.083 \cdot \text{cm}^3$$

Módulo de reacción:

$$R_1 := \frac{2B_1 \cdot (H_1)}{3} = 47.667 \cdot \text{cm}^2$$

Datos para calculos en SAP 2000:

Peso del entablado:

$$W_E := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot S_1 = 38.25 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kgf}$$

Peso por sobrecarga:

$$W_{SC} := SC \cdot S_1 = 315 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kgf}$$

Peso de clavos y otros:

$$W_{\text{clavos}} = 5 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Diseño de la viga transversal

Datos:

Dimensión real de la madera:

Dimensión comercial de la madera:

 Separación de vigas
 transversal:

 Base de la viga
 transversal:

 Altura de la viga
 transversal:

 Base de la viga
 transversal:

 Altura de la viga
 transversal:

$$S_v := 1\text{m}$$

$$B_t := 9\text{cm}$$

$$H_t := 14\text{cm}$$

$$B_{tc} := 10\text{cm}$$

$$H_{tc} := 15\text{cm}$$

Areas tributarias:

Longitud tributaria:

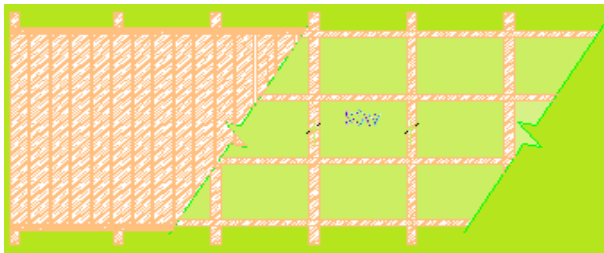
$$At_{v1} := 0.405\text{m}^2$$

$$At_{v2} := 0.7451\text{m}^2$$

$$At_{v3} := 0.7451\text{m}^2$$

$$At_{v4} := 0.405\text{m}^2$$

$$L_{tv} := 1\text{m}$$



Diseño:

Módulo de sección:

$$S_t := \frac{B_t \cdot (H_t)^2}{6} = 294 \cdot \text{cm}^3$$

Módulo de reacción:

$$R_t := \frac{2 \cdot B_t \cdot (H_t)^2}{3} = 84 \cdot \text{cm}^2$$

Datos calculados para SAP 2000:

Peso de la tabla en cada punto de contacto:

$$PT1 := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot At_{v1} = 20.655 \cdot \text{kgf}$$

$$PT2 := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot At_{v2} = 38 \cdot \text{kgf}$$

$$PT3 := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot At_{v3} = 38 \cdot \text{kgf}$$

$$PT4 := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot At_{v4} = 20.655 \cdot \text{kgf}$$

Peso de la viga longitudinal en cada punto de contacto:

$$PV := \gamma_m \cdot B_{lc} \cdot H_{lc} \cdot L_{tv} = 9.845 \cdot \text{kgf}$$

Sobrecarga peatonal en cada punto de contacto:

$$Pscp1 := SC \cdot At_{v1} = 170.1 \cdot \text{kgf}$$

$$Pscp2 := SC \cdot At_{v2} = 312.942 \cdot \text{kgf}$$

$$Pscp3 := SC \cdot At_{v3} = 312.942 \cdot \text{kgf}$$

$$Pscp4 := SC \cdot At_{v4} = 170.1 \cdot \text{kgf}$$

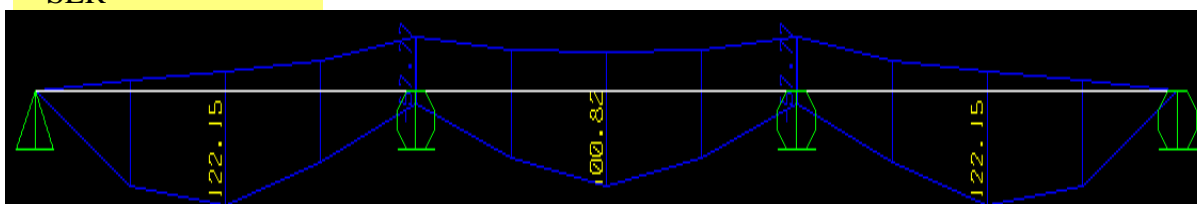
2.6.2. Verificación de la tabla con carga vehicular de diseño - vehículo liviano

En el estudio de tráfico que se realizó al inicio del proyecto se constató la circulación de vehículos livianos con tonelajes menores a 3500 kg, para la verificación de los elementos de madera se empleara carga vehicular de diseño de 2665kg que corresponde a una pick up.

Datos calculados con SAP 2000:

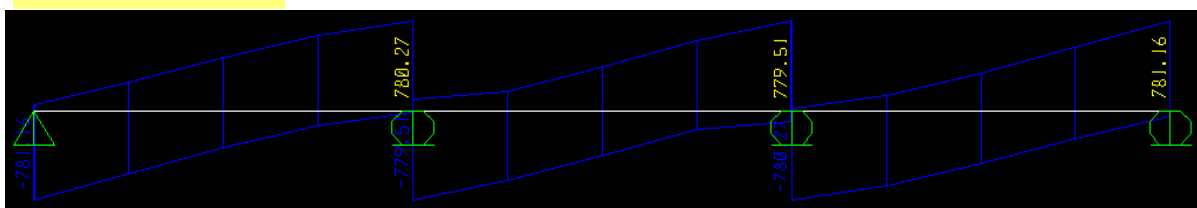
Momento por servicio del entablado:

$$M_{SER} := 122.15 \text{m} \cdot \text{kgf}$$



Cortante por servicio del entablado:

$$V_{SER} := 781.16 \text{kgf}$$



Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_f := \frac{M_{SER}}{S_e} = 254.479 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{flexion} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_f < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_v := \frac{V_{SER}}{R_e} = 16.274 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte de la madera

$$f_v = 12 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{corte} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_v < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

La tabla empleada para el diseño del puente colgante no soporta la circulación de vehículos livianos con 2665 kg de peso.

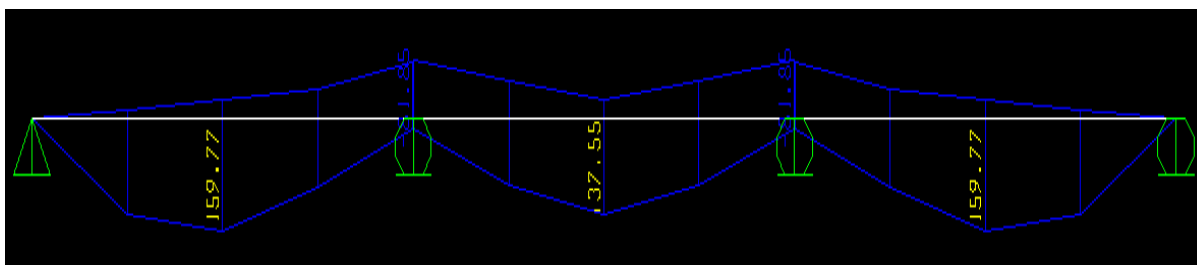
2.6.3. Verificación de la viga longitudinal con carga vehicular de diseño - vehículo liviano

liviano

Datos calculados con SAP 2000:

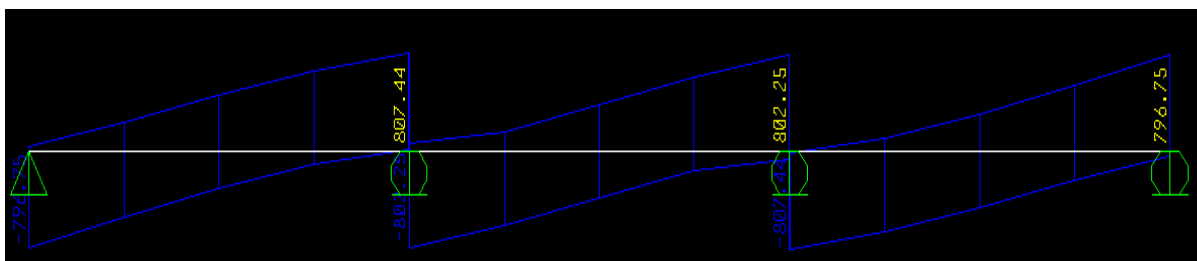
Momento por carga de servicio en la viga longitudinal:

$$MW_{SER} := 159.77 \text{m} \cdot \text{kgf}$$



Cortante por carga de servicio en viga longitudinal:

$$V_{SER} := 807.44 \text{kgf}$$



Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_{fl} := \frac{MW_{SER}}{SI} = 121.884 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{flexion} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fl} < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_{fv} := \frac{V_{SER}}{RI} = 16.939 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte de la madera:

$$f_v = 12 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{fv} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fv} < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"NO CUMPLE"}$$

La viga longitudinal empleada para el diseño del puente colgante no soporta la circulación de vehículos livianos con 2665 kg de peso.

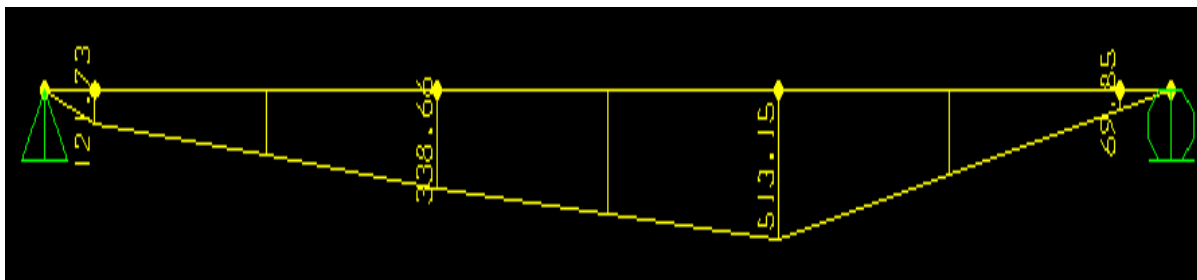
2.6.4. Verificación de la viga transversal con carga vehicular de diseño - vehículo liviano

liviano

Datos calculados con SAP 2000:

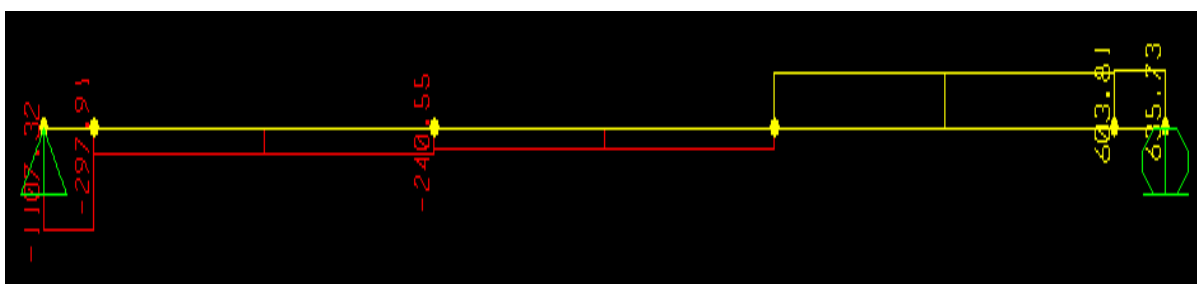
Momento por carga de servicio en la viga transversal:

$$MW_{ser} := 513.15 \text{kgf}\cdot\text{m}$$



Cortante por carga de servicio en la viga transversal:

$$V_{ser} := 1107.32 \text{kgf}$$



Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_{fl} := \frac{MW_{ser}}{S_t} = 174.541 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{flexiont} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fl} < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"NO CUMPLE"}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_{fv} := \frac{V_{ser}}{R_t} = 13.182 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte de la madera:

$$f_v = 12 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{corte} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fv} < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"NO CUMPLE"}$$

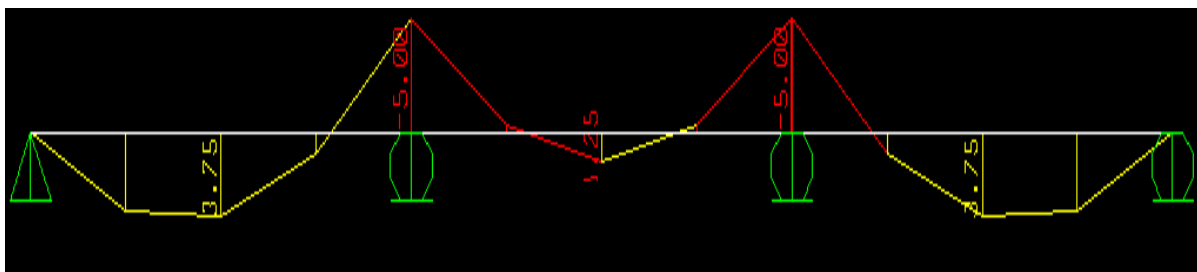
La viga transversal empleada para el diseño del puente colgante no soporta la circulación de vehículos livianos con 2665 kg de peso.

2.6.5. Verificación de la tabla sin carga vehicular de diseño

Datos calculados con SAP 2000:

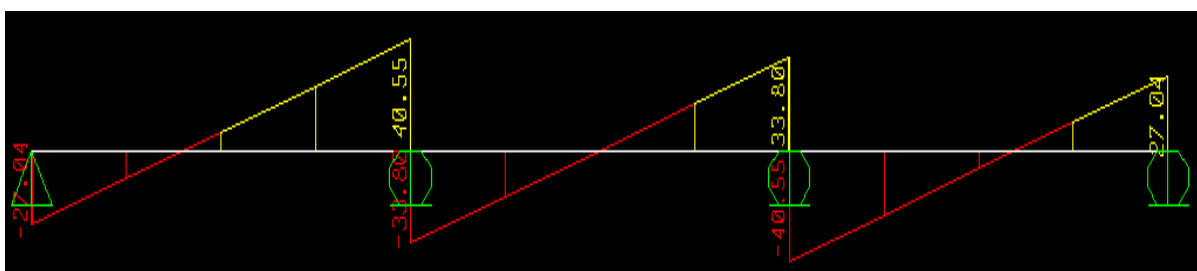
Momento por servicio del entablado:

$$M_{SER} := 5m \cdot kgf$$



Cortante por servicio del entablado:

$$V_{SER} := 40.55kgf$$



Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_f := \frac{M_{SER}}{S_e} = 10.417 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\sigma_{flexion} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_f < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_v := \frac{V_{SER}}{R_e} = 0.845 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

Esfuerzo a corte de la madera

$$f_v = 12 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

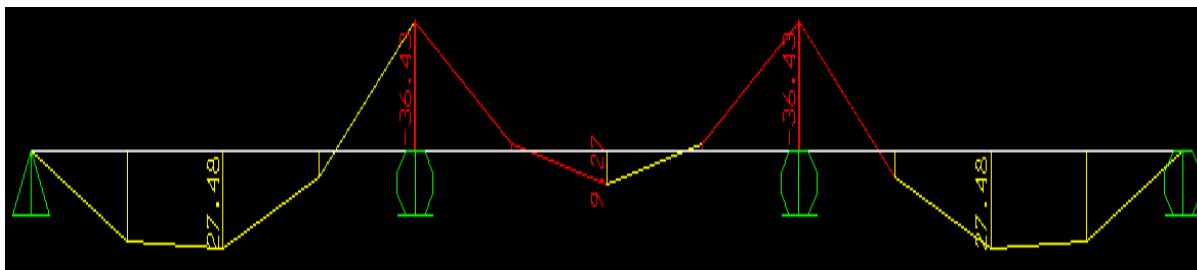
$$\sigma_{corte} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_v < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

2.6.6. Verificación de la viga longitudinal sin carga vehicular de diseño

Datos calculados con SAP 2000:

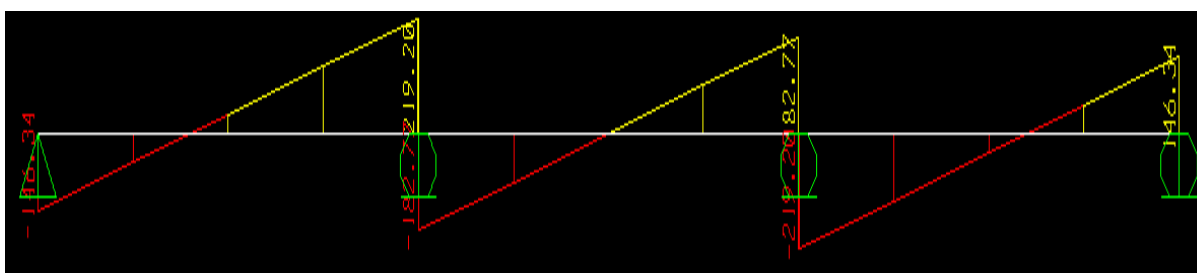
Momento por carga de servicio en la viga longitudinal:

$$MW_{SER} := 36.43m \cdot kgf$$



Cortante por carga de servicio en viga longitudinal:

$$V_{SER} := 219.20kgf$$



Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_{fl} := \frac{MW_{SER}}{S_I} = 27.791 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\sigma_{flexion} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fl} < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_{fv} := \frac{V_{SER}}{R_I} = 4.599 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

Esfuerzo a corte de la madera:

$$f_v = 12 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

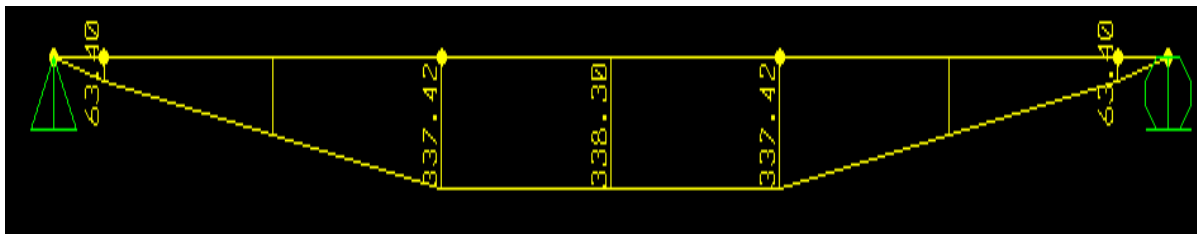
$$\sigma_{fv} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fv} < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

2.6.7. Verificación de la viga transversal sin carga vehicular de diseño

Datos calculados con SAP 2000:

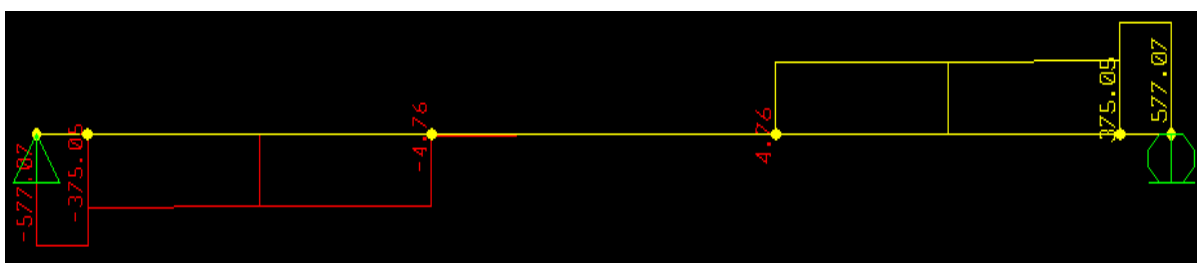
Momento por carga de servicio en la viga transversal:

$$MW_{ser} := 338.30 \text{kgf} \cdot \text{m}$$



Cortante por carga de servicio en la viga transversal:

$$V_{ser} := 577.07 \text{kgf}$$



Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_{fl} := \frac{MW_{ser}}{S_t} = 115.068 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{flexion} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fl} < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_{vt} := \frac{V_{ser}}{R_t} = 6.87 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte de la madera:

$$f_v = 12 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{corte} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{vt} < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

En atención a las verificaciones se concluye que los elementos estructurales de madera no soportan cargas de vehículos livianos con 2665 kg de peso, por lo tanto el puente colgante de madera de las Pampas se mantendrá solo como puente peatonal, para lo cual cumple con las verificaciones de diseño sin carga vehicular desarrolladas anteriormente.

2.7. Optimización del funcionamiento de los elementos estructurales del puente colgante de madera

Para lograr mayor eficiencia en el desempeño de sus funciones de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas, se tiene que considerar en la rehabilitación una adecuada selección y protección de los elementos que conforman la estructura del puente colgante, además restringir el paso de vehículos livianos por el puente colgante, siendo este uno de los agentes que ocasionan daños a los elementos estructurales del puente.

2.7.1. Optimización del funcionamiento de los elementos estructurales de acero

2.7.1.1. Optimización del funcionamiento del cable principal

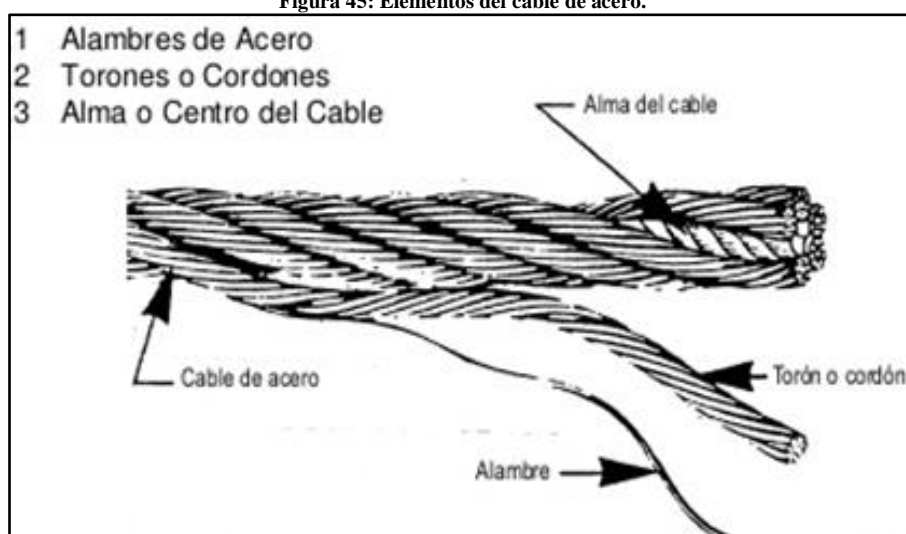
2.7.1.1.1. Cable de acero

El cable de acero es un elemento fabricado con alambres de acero, trenzados ordenadamente con el objetivo de resistir las cargas externas a la que está sometida la estructura del puente colgante.

A). Elementos que componen el cable

El cable de acero está formado por el alma, torón y alambre, (ver figura N°45).

Figura 45: Elementos del cable de acero.



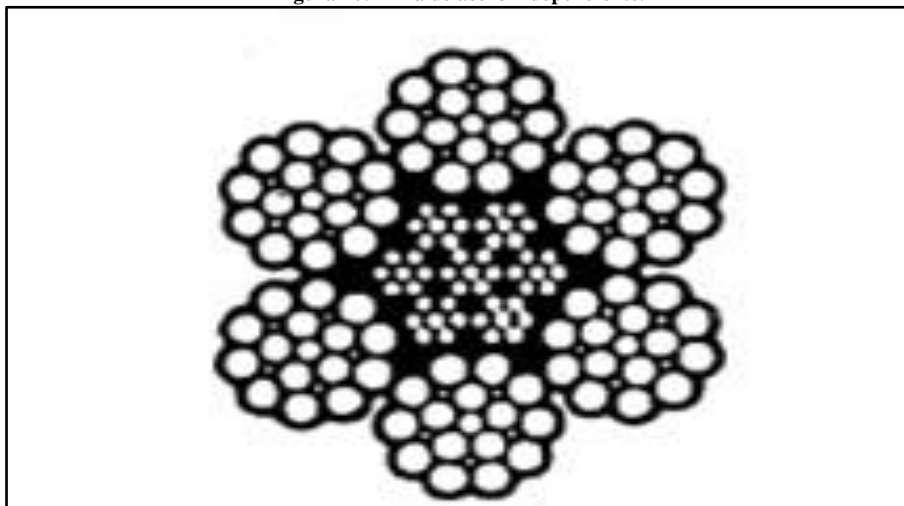
Fuente: Norma estándar operacional, Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos, p. 10, dirección de administración y protección de los recursos subgerencia gestión integral de seguridad, calidad y ambiente, Codelco-chile.

Alambre de acero.- Son hilos de acero que colocados helicoidalmente forman un torón, el tamaño, número de torones y características del alma se escoge en función del servicio que va desempeñar los cables en el puente colgante.

Torones.- Conjunto de alambres colocados en una o varias capas trenzados helicoidalmente alrededor de un alambre central o alma.

Alma o centros del cable.- Es el núcleo central del cable alrededor del cual se trenza los torones y alambres que forman el cable, en nuestro caso utilizaremos cables de alma metálica (elementos formados por cable de acero independiente o alma de torón), ver figura N°46.

Figura 46: Alma de acero independiente.



Fuente: Norma estándar operacional, Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos, p. 11, dirección de administración y protección de los recursos subgerencia gestión integral de seguridad, calidad y ambiente, Codelco-chile.

B). Esfuerzos de un cable de acero

El cable principal tiene características bien definidas para satisfacer las condiciones y esfuerzos a los que estará sometido durante su vida útil.

Resistencia a la ruptura (tracción).- Es la fuerza externa que debe aplicarse por tensión a lo largo de la línea central del cable para que ocurra su ruptura. Todo cable de acero debe poseer la resistencia necesaria para cumplir su función.

Flexibilidad.- Es la capacidad del cable para soportar esfuerzo de flexión (flexiones sucesivas), la flexibilidad del cable se debe principalmente a su construcción.

Resistencia a la abrasión.- Es la característica del cable para soportar el desgaste mientras está en funcionamiento. La abrasión produce una pérdida de resistencia útil en el cable cuando es doblado alrededor de una polea.

Resistencia a la corrosión.- La corrosión de los cables de acero se debe principalmente al efecto de la humedad, reduciendo el área metálica del cable y por ende debilitándolo. A la medida que avanza la corrosión los cables se deterioran y su resistencia se reduce considerablemente perdiendo flexibilidad y elasticidad.

Resistencia al aplastamiento y distorsión.- Un cable se aplasta si es forzado a trabajar bajo altas presiones, como las gargantas de las poleas que no tienen un soporte amplio. La resistencia a la distorsión es la capacidad que tiene el cable para evitar la formación de cocas.

C). Factores o coeficientes de seguridad

Los factores o coeficientes de seguridad que se utiliza en diversos tipos de aplicaciones de los cables se indican en el cuadro N°3.

Cuadro 3: Factor de seguridad.

Cables	Factor o Coeficiente de Seguridad
Vientos y riostras	3-4
Cables de puentes colgantes	3-4
Teleféricos monocables	5-8
Cable tractor de teléfonos tricables	3,5-5
Cables de funiculares	9-12
Cables de grúas	6-10
Cables para palas excavadores, bulldozers y otras	6-8
Cables para planos inclinados	5-7
Cables de pozos de extracción	8
Cables de profundización de pozos	10-14
Cables de ascensores y montacargas	8-16
FUENTE: MANUAL CABLES DE ACERO KÜPFER	
Los valores mínimos corresponden a instalaciones pequeñas y de trabajo poco intenso. Los valores máximos a los cables que deben trabajar con grandes cargas y maniobras frecuentes.	

Fuente: Norma estándar operacional, Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos, p. 22, dirección de administración y protección de los recursos subgerencia gestión integral de seguridad, calidad y ambiente, Codelco-chile.

2.7.1.1.2. Selección del cable

Para lograr un óptimo funcionamiento del cable principal del puente colgante de madera de las Pampas, este debe equilibrar correctamente los siguientes factores principales:

- Carga de rotura (Resistencia)
- Resistencia a las Flexiones y Vibraciones (FATIGA)
- Resistencia a la Abrasión
- Resistencia al Aplastamiento

Considerando la función y las cargas que va soportar el cable principal se empleara un cable con alma metálica de 7x7 torones (6 alambres de 1 mm formados helicoidalmente alrededor de un alma de 1 mm) y ordenadas helicoidalmente alrededor de este 6 torones (9 alambres de 2 mm y 9 alambres de 1 mm ordenados helicoidalmente alrededor de un alambre central de 2 mm) formando una sección circular de diámetro 1 1/4", para la rehabilitación del puente colgante de madera de las Pampas.

2.7.1.1.3. Agentes destructores del acero

Existen muchos factores para el deterioro de los elementos de acero, sin embargo en la inspección que se realizó al puente se detectó presencia de corrosión y oxidación en su mayor esplendor.

En la rehabilitación del puente colgante se tiene que considerar la protección adecuada de los elementos de acero para optimizar el funcionamiento de estos.

La corrosión.- La corrosión se desarrolla en el interior del cable antes que cualquier evidencia se haga visible en la superficie del cable. En la superficie del cable la corrosión se aprecia por la decoloración o si estas presentan picaduras y deben ser remplazadas inmediatamente.

Desgaste.- Se origina por la fricción, como consecuencia del deslizamiento del cable sobre superficies fijas o móviles. Las consecuencias directas son la disminución de la sección y la alteración de la superficie de los alambres, disminuyendo su resistencia a la fatiga y facilitando la oxidación y corrosión del cable, la figura N°47, muestra la rotura de alambres.

Figura 47: Forma de los extremos de cables cortados.



Fuente: Norma estándar operacional, Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos, p. 55, dirección de administración y protección de los recursos subgerencia gestión integral de seguridad, calidad y ambiente, Codelco-chile.

2.7.1.1.4. Protección del cable de acero

Para lograr un funcionamiento óptimo de estos elementos, esta se debe proteger de la oxidación, corrosión y del medio ambiente mediante una capa o barrera que aisle el metal del medio ambiente y su entorno, como el objetivo es optimizar el funcionamiento del cable principal, se opta protegerla con el método del rociado térmico, siendo este la mejor alternativa entre otros métodos.

A). El rociado térmico

Es un proceso empleado para cubrir al acero con capas de metales diferentes a esta aislándolo del medio ambiente. Para la aplicación de las capas rociadas térmicamente se usa una pistola para calentar el material, en forma de polvo o alambre, a un estado fundido y se utiliza un gas para propulsar el material de aporte hacia el sustrato, creando una superficie totalmente nueva. El material de la capa tiene características físicas y químicas únicas, que solo son alcanzables con este proceso de rociado térmico.

El rociado térmico tiende a prolongar la vida útil de los cables de acero, al obtener altos rendimientos durante más tiempo y reducir el número de fallas en los puentes colgantes.

B). Capas de aluminio y zinc rociadas térmicamente

En la protección contra corrosión de estructuras y componentes metálicos se usan capas de aluminio o zinc, el proceso se caracteriza por una baja inversión, elevada velocidad de deposición, gran eficiencia, facilidad de operación y bajo costo de mantenimiento. En este contexto el zinc y la aleación zinc-aluminio juegan un papel fundamental no solo por su inherente resistencia a los medios agresivos, sino también en virtud a la protección activa que proveen al acero (protección galvánica).

Los metales más usados para la protección contra la corrosión por rociado térmicos son el aluminio y el zinc, los cuales son anódicos respecto al acero. Las características físicas de estas capas se demuestran en el cuadro N°4, la ventaja que el proceso posee, es que las capas del zinc y de aluminio se pueden aplicar a estructuras muy grandes (puentes colgantes).

Cuadro 4: Características físicas del zinc y el aluminio rociados térmicamente.

Material rociado	Densidad (g/cm ³)	Peso de capa (Kg./m ²) 0.025mm de espesor	Dureza Brinell	Esfuerzo compresivo (Esfuerzo de colapso) (MN/m ²)
Zinc	6.35	0.159	20-28	159
Aluminio	2.35	0.059	25-35	185

Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira, "Protección contra la corrosión por medio del rociado térmico", p.237, Mayo de 2007.

C). Capas de pinturas sobre superficies rociadas térmicamente

Las capas de zinc rociadas térmicamente dan una protección excelente al acero, el acero galvanizado da una superficie lisa y por lo tanto no es una base ideal para la pintura, por lo que se tiene que utilizar una base para dar la adherencia necesaria. La base es generalmente una resina butiral y un ácido fosfórico libre, la cual deja la superficie del zinc con una fina película inhibidora. Por lo tanto, el zinc rociado térmicamente y pintado ha dado buenos resultados en condiciones de exposición y con muchos tipos de pintura.

Las capas de aluminio rociado térmicamente expuestas mostraron características protectoras notables y en muchos casos la única evidencia de la edad son el aspecto de los nódulos de microdurezas del óxido de aluminio y éstas parecen ser no destructivas. Sin embargo, el blanco de la superficie rociada térmicamente pronto se decolora por la suciedad y así queda una cubierta de pintura usada.

D). Expectativa de Vida de los Recubrimientos

La expectativa de vida de la estructura metálica y la duración de su apariencia estética depende esencialmente de la calidad de la preparación de la superficie y de las características de desempeño del recubrimiento que estará en contacto con el acero. En este contexto, el zinc y el aluminio juegan un papel fundamental no solo por su resistencia inherente a la corrosión sino también por su virtud excepcional de protección anticorrosiva que imparten al acero.

2.7.1.1.5. Mantenimiento del cable de acero

Para el funcionamiento óptimo de los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas es completamente necesario el mantenimiento del puente. El mantenimiento debe comprender inspecciones, defectos notados, registros de ajustes realizados, incidentes relativos al desempeño del cable, lubricación y limpieza.

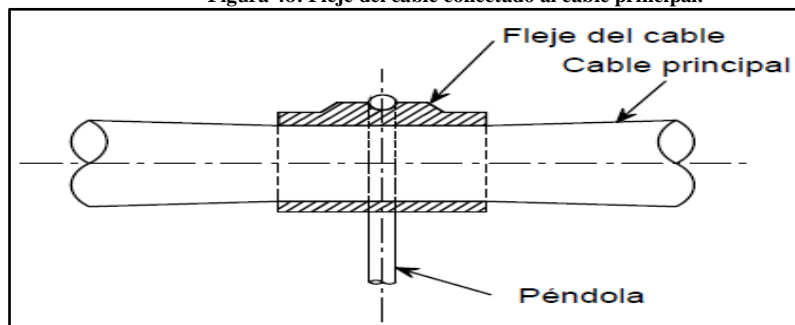
El engrase aumenta considerablemente la duración del cable de acero, en condiciones normales el cable debe ser lubricado cada seis meses.

2.7.1.2. Optimización del funcionamiento de las péndolas

2.7.1.2.1. Péndolas de acero

La péndola está conectada al cable principal a través de un fleje, que consta de dos mitades semicilíndricas, unidas mediante tornillos de acero de alta resistencia, con el fin de desarrollar la fricción necesaria, los flejes están apretados firmemente contra el cable principal y obtienen su resistencia sustentadora de carga principalmente del rozamiento y de la compresión del cable, la figura N°48 muestra el fleje (abrazadera) conectado al cable.

Figura 48: Fleje del cable conectado al cable principal.



Fuente: Instituto Técnico de la Estructura en Acero. “Sistemas estructurales: puentes”, URL http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documentacion/itea/TOMO18.pdf.

2.7.1.2.2. Selección de la péndola

Para lograr un óptimo funcionamiento de las péndolas del puente colgante de madera de las Pampas, este debe equilibrar correctamente los siguientes factores principales:

- Carga de rotura (Resistencia)
- Resistencia a las Flexiones y Vibraciones (FATIGA)
- Resistencia a la Abrasión

Considerando la función y las cargas que va soportar el cable principal, en la rehabilitación del puente colgante de madera de las Pampas, se recomienda emplear péndolas de 5/8”, dobladas y soldadas en la parte superior y roscadas en la parte inferior, el cuadro N°5 muestra algunos diámetros de la péndolas.

Cuadro 5: Diámetro, área y peso de péndolas.

P E N D O L A S		
Diámetro	As (cm ²)	Peso kg/m
1/2"	1.27	1.02
5/8"	1.98	1.58
3/4"	2.85	2.24

Fuente: Propio.

2.7.1.2.3. Agentes destructores de la péndola

La corrosión.- La corrosión destruye lentamente a la péndola, fejes (abrazaderas) y tornillos, ocasionándolo desgaste, por ende pérdida de sección, afectando considerablemente su resistencia y vida útil de la péndola.

Sobrecarga.- Los efectos de sacudidas imprevistas multiplican el peso de la carga provocando sobrecarga.

2.7.1.2.4. Protección de las péndolas

Para proteger la péndola de la oxidación, corrosión y del medio ambiente se crear una capa o barrera que aislé la péndola del medio ambiente y su entorno mediante el proceso del rociado térmico, tal como se menciona en el ítem 2.7.1.1.4.

2.7.1.2.5. Mantenimiento de la péndola

El mantenimiento comprende la inspección, lubricación y limpieza de las péndolas y de las uniones de las péndolas con el cable principal (flejes o abrazaderas) y las uniones de con las vigas transversales.

2.7.2. Optimización del funcionamiento de los elementos estructurales de concreto

2.7.2.1. Optimización de la torre del puente colgante

2.7.2.1.1. Torre

Es un elemento vertical que soporta una serie de cables de carga, su función estructural es llevar el peso del puente, las cargas de tráfico y las fuerzas de la naturaleza a la cimentación del puente.

2.7.2.1.2. Agentes destructores

Con el paso de los años las torres del puente colgante de madera de las Pampas se ven afectadas por efectos del medio ambiente y principalmente por el exceso de carga que este soporta a consecuencia de la circulación de vehículos livianos por dicho puente.

2.7.2.1.3. Protección

Para proteger a las torres de los efectos del sol y principalmente por factor estético se debe pintar las torres con pinturas resistentes al sol.

2.7.2.1.4. Mantenimiento de la torre

Para el funcionamiento óptimo de la torre del puente colgante de madera de las Pampas es completamente necesario el mantenimiento cada cierto tiempo, la cual comprende inspecciones, defectos notados y limpieza alrededor de las torres. Además se debe realizar la

descolmatación del puente después de cada periodo de lluvia, ya que se acumula material bajo el puente formando surcos de material arrastrado por el agua en épocas de lluvia.

2.7.2.2. Optimización de la cámara de anclaje

2.7.2.2.1. Cámara de anclaje

Las cámaras de anclaje son diseñadas para asegurar los cables principales y resistir por masa y fricción los efectos de volcamiento y deslizamientos de la tracción del cable.

2.7.2.2.2. Agentes destructores

Las cámaras en épocas de lluvia acumulan agua en su interior, deteriorando los cables principales, tuerca y la viga de acero ubicada en la cámara de anclaje para sujetar los cables.

2.7.2.2.3. Protección

Los elementos de acero que se encuentran en la cámara de anclaje deben ser protegidos contra la corrosión y oxidación por medio del rociado térmico, ver ítem 2.7.1.1.4.

2.7.2.2.4. Mantenimiento de la cámara de anclaje

Para el funcionamiento óptimo de la cámara de anclaje del puente colgante de las Pampas se debe realizar mantenimiento de limpieza alrededor de la cámara de anclaje.

Además se debe cerrar todo tipo de abertura que puede presentarse en la tapa de la cámara de anclaje para evitar el ingreso de las aguas de lluvia.

2.7.3. Optimización del funcionamiento de los elementos estructurales de madera

2.7.3.1. Optimización del tablero y de las vigas

2.7.3.1.1. Madera aserrada estructural

Se domina así a la madera escuadrada con características mecánicas aptas para resistir cargas. Según la Norma E.010 del RNE del Perú, la madera se agrupa de acuerdo a su densidad básica, módulo de elasticidad, esfuerzos admisibles en grupo A, grupo B y grupo C. En los cuadros N°6, N°7, N°8, se muestran las propiedades de cada grupo de la madera.

A). Las maderas del grupo A.- Comprende las maderas de mayor resistencia, cuyas densidades están por lo general en el rango de 0.90 a 0.71 g/cm³. Se recomiendan para uso en construcción pesada, trabajos portuarios y marinos donde el factor más importante es la resistencia y durabilidad y no es tan importante la trabajabilidad de la madera.

B). Las maderas del grupo B.- Comprende las maderas de mediana resistencia y sus densidades se sitúan entre el rango de 0.70 a 0.56 gr/cm³. Se recomiendan para usarlas en piezas o partes estructurales de cierta envergadura, denominadas estructuras semi-pesadas.

C). Las maderas del grupo C.- Comprende las maderas de menor resistencia, sus densidades se sitúan en el rango de 0.55 a 0.40 gr/cm³. Se pueden usar como madera utilitaria de construcción, donde se combine resistencia y facilidad de trabajo, conjuntamente con otras facilidades técnicas de manufactura (facilidad de clavado, corte, ensamblaje, montaje), el cuadro N°9 muestra las especies agrupadas según la Norma E.010 del RNE.

Cuadro 6: Densidad básica de la madera estructural.

Grupo	Densidad Básica g/cm ³
A	≥ 0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55

Fuente: Sub - Título III.2, Estructuras, Norma E.010-Madera, Capítulo 1, Agrupamiento de maderas para uso estructural, p.167, Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú: Lima 2014.

Cuadro 7: Modulo de elasticidad de la madera estructural.

Grupo	Módulo de Elasticidad (E) MPa (kg/cm ²)	
	E _{mínimo}	E _{promedio}
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

Nota: el módulo de elasticidad (E) es aplicable para elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras.

Fuente: Sub - Título III.2, Estructuras, Norma E.010-Madera, Capítulo 1, Agrupamiento de maderas para uso estructural, p.167, Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú: Lima 2014.

Cuadro 8: Esfuerzo admisible de la madera estructural

Grupo	Esfuerzos Admisibles MPa (kg/cm ²)				
	Flexión f _m	Tracción Paralela f _t	Compresión Paralela f _{c//}	Compresión Perpendicular f _{c⊥}	Corte Paralelo f _v
A	20,6 (210)	14,2 (145)	14,2 (145)	3,9 (40)	1,5 (15)
B	14,7 (150)	10,3 (105)	10,8 (110)	2,7 (28)	1,2 (12)
C	9,8 (100)	7,3 (75)	7,8 (80)	1,5 (15)	0,8 (8)

Nota: Para los esfuerzos admisibles en compresión deberán considerarse adicionalmente los efectos de pandeo

Fuente: Sub - Título III.2, Estructuras, Norma E.010-Madera, Capítulo 1, Agrupamiento de maderas para uso estructural, p.167, Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú: Lima 2014.

Cuadro 9: Especies agrupadas de madera

	NOMBRE		GRUPO
	COMÚN	CIENTÍFICO	
1	AZUCAR HUAYO	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	A
2	ESTORAQUE	<i>Miroxylon peruiferum</i>	
3	HUACAPU	<i>Minquartia guianensis</i>	
4	PUMAQUIRO	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	
5	QUINILLA COLORADA	<i>Manilkara bidentata</i>	
6	SHIHUAHUACO MARRON	<i>Dipteryx odorata</i>	
7	AGUANO MASHA	<i>Machaerium inundatum</i>	B
8	ANA CASPI	<i>Apuleia leiocarpa</i>	
9	CACHIMBO COLORADO	<i>Cariniana domestica</i>	
10	CAPIRONA	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	
11	HUAYRURO	<i>Ormosia coccinea</i>	
12	MANCHINGA	<i>Brosimum uleanum</i>	
13	BOLAINA BLANCA	<i>Guazuma crinita</i>	C
14	CATAHUA AMARILLA	<i>Hura crepitans</i>	
15	COPAIBA	<i>Copaifera officinalis</i>	
16	DIABLO FUERTE	<i>Podocarpus rospigliosii</i>	
17	LAGARTO CASPI	<i>Calophyllum brasiliense</i>	
18	MASHONASTE	<i>Clarisia racemosa</i>	
19	MOENA AMARILLA	<i>Aniba amazónica</i>	
20	MOENA ROSADA	<i>Ocotea bofo</i>	
21	PANGUANA	<i>Brosimum utile</i>	
22	PAUJILRURO BLANCO	<i>Pterygota amazonica</i>	
23	TORNILLO	<i>Credelinga cateniformis</i>	
24	UTUCURO	<i>Septotheca tessmannii</i>	
25	YACUSHAPANA	<i>Terminalia oblonga</i>	

Fuente: Sub - Título III.2, Estructuras, Norma E.010-Madera, Capítulo 1, Agrupamiento de maderas para uso estructural, p.198, Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú: Lima 2014.

2.7.3.1.2. Selección de la madera

Para la rehabilitación de los elementos de madera (tablero, viga longitudinal, viga transversal y barandas) del puente colgante se empleara la madera acerrada del tipo B.

Selección de madera para tablero, vigas transversales, vigas longitudinales y barandas

- Tablas para entablado de 8” x 2”, con una separación de 2 cm
- Listones de 3” x 3” ubicado sobre el entablado a los costados del puente
- Listones de 2”x2” para barandas en los lados de la viga transversal
- Listones de 2”x3” para barandas en forma diagonal entre las vigas transversales
- Listones para vigas transversales de 4” x 6”
- Listones para vigas longitudinales de 3” x 5”

2.7.3.1.3. Agentes destructores de la madera

2.7.3.1.3.1. Agentes bióticos destructores de la madera

A). Hongos de pudrición

Los hongos se alimentan de la pared celular de la madera, causando una severa pérdida de resistencia y la madera se desintegra con la simple presión de los dedos. En un ataque de pudrición se suelen desarrollar muchos tipos de hongos, cada uno de los cuales

actúa en un determinado intervalo de degradación, dependiendo si el hongo se alimentó de la lignina o de la celulosa. La pudrición parda es causada por hongos que se alimentan de la celulosa dejando la lignina, caracterizada por su color pardo. La madera se desgrana en cubos, por lo que también se le conoce como pudrición cúbica.

- **Mohos**

Son hongos que tienen una apariencia de algodón fino, la existencia de estos depende fundamentalmente de la temperatura y de una humedad abundante. El moho afecta a la madera en su aspecto superficial y se pueden eliminar cepillando la pieza, no causan daños a la resistencia ni a otras propiedades. Si no se eliminan oportunamente puede que la pieza de madera sea fácilmente atacada por hongos de pudrición, ya que el crecimiento de mohos estimula su desarrollo, la figura N°49 muestra la madera atacada por hongos de pudrición.

Figura 49: Pieza de madera atacada por hongo de pudrición.



Fuente: CORMA, Corporación Chilena de la madera, Centro de transferencia tecnológica, “Manual de la construcción de viviendas en madera”, p. 61, Chile.

B). Insectos

Existe una gran cantidad de insectos que usan la madera para reproducirse y vivir y se alimentan de la celulosa que ésta contiene.

El daño se produce debido a que sus larvas, orugas y adultos abren galerías en la madera para obtener alimento y protección.

➤ **Termitas**

Son insectos que atacan a la madera produciendo mayores daños a la estructura, las colonias están conformadas por distintas castas como son las reproductoras, soldados y obreras, estas últimas son las que buscan el alimento celulósico provocando forados a lo largo de la madera debilitándolo por completo, la figura N°50 muestra el deterioro producido por las termitas subterráneas en la madera.

Figura 50: Termitas subterráneas en pleno ataque a la madera.



Fuente: CORMA, Corporación Chilena de la madera, Centro de transferencia tecnológica, “Manual de la construcción de viviendas en madera”, p. 62, Chile.

2.7.3.1.3.2. Agentes abióticos de destrucción de la madera

A). Degradación por la luz

El espectro ultravioleta de la luz descompone la celulosa de la madera produciendo su degradación. La acción de la luz es lenta y a medida que transcurre el tiempo la degradación no aumenta, dado que los primeros milímetros afectados sirven de protección al resto. Así, los efectos de la luz se hacen visibles entre el primer y el séptimo año y la madera cambia de color, oscureciéndose o aclarándose, según el grado de exposición en que se encuentre, la degradación afecta los primeros milímetros de la madera.

B). Humedad atmosférica

La humedad atmosférica produce deterioro por los repetidos cambios que se producen en las capas superficiales de las piezas que se encuentran a la intemperie. La madera es una

sustancia higroscópica, influida por los cambios de las condiciones de humedad atmosférica, produciéndose absorción de agua en las superficies que quedan expuestas, hinchándose en periodos lluviosos y contrayéndose en los periodos de sequía.

2.7.3.1.4. Protección y tratamiento de la madera

En el tratamiento de la madera se define los requerimientos de durabilidad que son necesarios como la capacidad para resistir el ataque de los diferentes agentes de destrucción, una vez puesta en servicio. Para optimizar el funcionamiento adecuado de los elementos de madera se tiene proteger adecuadamente a cada elemento.

A). Por la acción protectora que realizan:

Insecticidas: protegen frente a la acción de los insectos xilófagos, destacan el tipo Piretrinas o Clorpirifos.

Protectores de la luz: Pinturas con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera, oscureciéndola en algún grado.

Fungicidas: protegen frente a la acción de hongos xilófagos. Si es pudrición se emplean productos con contenidos de cromo, cobre y arsénico (CCA); cobre, azoles orgánicos (CA); cobres, azoles orgánicos y boro (CAB); cobre y amonios cuaternarios (ACQ) y boro.

B). Por el tipo de preservarte:

Solventes orgánicos: Son los protectores que con mayor facilidad penetran en la madera, no producen manchas y son compatibles con la mayoría de los barnices de fondo y acabados, lo que hace que sean los más utilizados en la carpintería. Son aplicados a maderas secas por su característica de no otorgar humedad a la madera.

2.7.3.1.5. Mantenimiento del tablero

Toda construcción de madera requiriere mantenimiento que consisten en revisiones, ajustes y reparaciones a los largo de su vida útil.

Revisión periódica

En una revisión periódica se deberán reclavar los elementos de madera que por vibraciones se hayan desajustado y cambiarlas si presentan deformaciones excesivo o podredumbre. Además pintar las superficies deterioradas por efecto del viento y del sol.

CAPITULO III

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Interpretación de resultados

Los estudios realizados muestran que el sistema estructural del puente colgante de madera de las Pampas se encuentra en deterioro constante, por lo que debe ser rehabilitado cuanto antes para optimizar el funcionamiento de sus elementos estructurales.

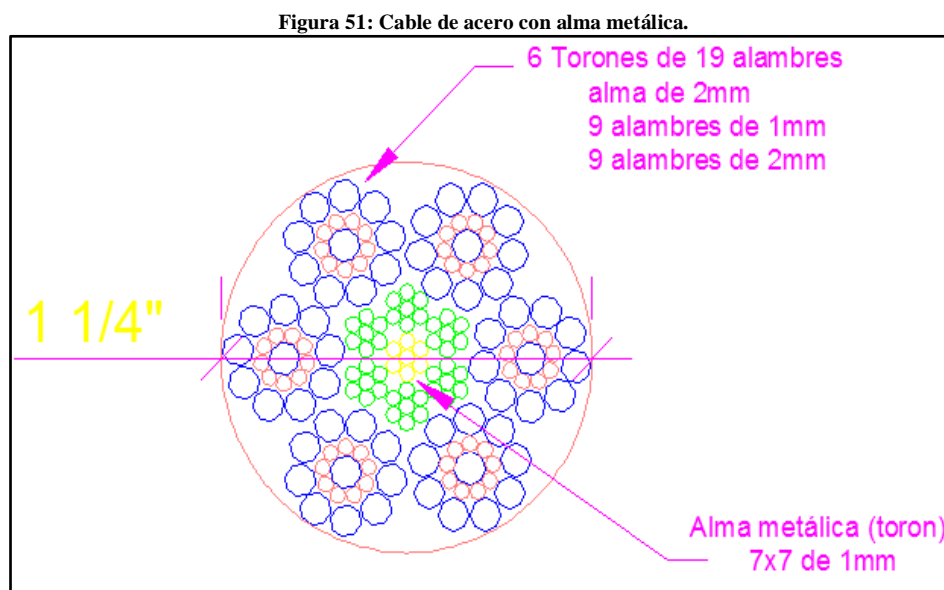
3.1.1. Rehabilitación de los elementos estructurales de acero

3.1.1.1. Rehabilitación del cable principal

El cable principal presenta un 20% de afectación por pérdida de sección a causa de la corrosión encontrándose en un estado de deterioro por lo que necesita ser remplazado por completo, además aplicarle una protección de rociado térmico para protegerla de la corrosión, oxidación y dos manos de pintura para su protección ante los agentes atmosféricos.

En la rehabilitación se usara cables con alma metálica de 7x7 torones (6 alambres de 1 mm formados helicoidalmente alrededor de un alma de 1 mm) y ordenadas helicoidalmente alrededor de este 6 torones (9 alambres de 2 mm y 9 alambres de 1 mm ordenados helicoidalmente alrededor de un alambre central de 2 mm) formando una sección circular de diámetro 1 1/4".

Para optimizar el funcionamiento del elemento se debe protegerla mediante el método de rociado térmico con zinc-aluminio, tal como se menciona en el ítem 2.7.1.1.4 y dos manos de pintura resistente al sol. La figura N°51 muestra la forma y el diámetro del cable estructural seleccionado que se usara en la rehabilitación del puente colgante de madera de las Pampas.



3.1.1.2. Rehabilitación de la péndola

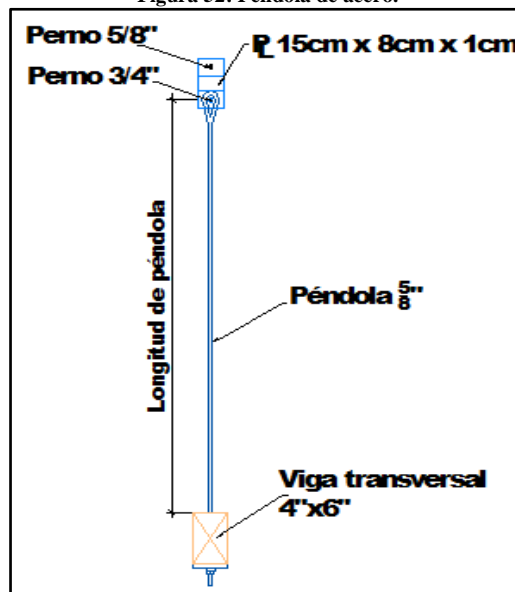
En las péndolas se observa un 30% de afectación por pérdida de sección en los nudos y flejes (mordazas) de las péndolas, estas deben ser sustituidas por unos nuevos aplicándolos una protección de rociado térmico para protegerlo de la corrosión, oxidación y aplicarle dos manos de pintura para su conservación.

En la rehabilitación del puente colgante de madera de las Pampas se empleara péndolas de 5/8", dobladas y soldadas formando un ojo en la parte superior y roscada en la parte inferior. Para optimizar el funcionamiento del elemento se debe protegerla mediante el método de rociado térmico con zinc-aluminio, tal como se muestra en el ítem 2.7.1.1.4 y dos manos de pintura resistente al sol. La figura N°52 muestra la péndola seleccionada a usarse en la rehabilitación del puente colgante de madera.

Las mordazas deben ser sustituidas por otros nuevos aplicándoles una protección de rociado térmico para protegerlo de la corrosión y dos manos de pintura para su protección.

Los tornillos que sujetan las abrazaderas y las péndola deben ser sustituidos por otros nuevos aplicándoles una protección de rociado térmico para protegerlo de la corrosión y dos manos de pintura para su conservación.

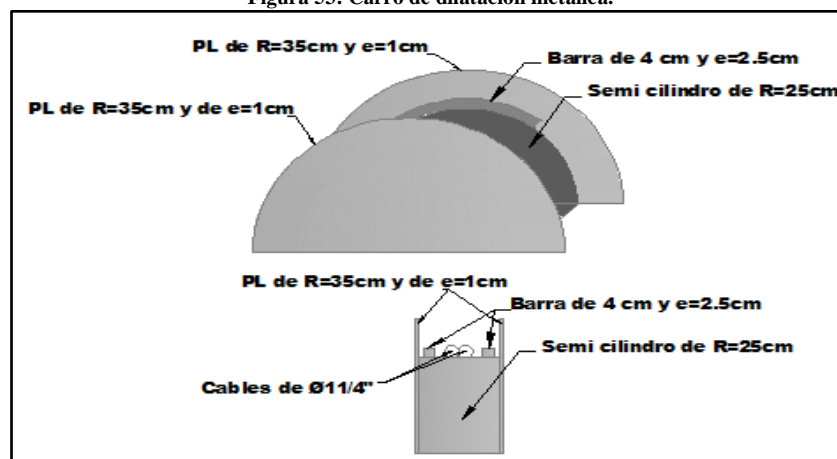
Figura 52: Péndola de acero.



3.1.1.3. Rehabilitación de los carros de dilatación

En los carros de dilatación se observa un 20% de afectación por pérdida de sección a causa del desgaste por abrasión y corrosión, por lo mismo estos carros de dilatación de las dos torres necesitan ser remplazado por otros nuevos. En la rehabilitación del puente colgante de madera de las Pampas se empleara 2 placas semicirculares de 35 cm de radio y de 1cm de espesor, un semicilindro macizo de 25 cm de radio y una barra de 4 cm de un espesor de 2.5 cm. Para optimizar el funcionamiento del elemento se debe protegerla mediante el método de rociado térmico con zinc-aluminio (ítem 2.7.1.1.4) y dos manos de pintura resistente al sol. La figura N°53 muestra el carro de dilatación a usarse en la rehabilitación.

Figura 53: Carro de dilatación metálica.



3.1.2. Rehabilitación de los elementos estructurales de concreto

3.1.2.1. Rehabilitación de la torre

La torre presenta una afectación de 0.1% por fisura del concreto, presentan fisuras de 1 mm a 1.5 mm, esto se debe a que el pórtico de las torres reciben cargas para los cuales no ha sido diseñado, provocando esfuerzos en la base de las columnas las que produjeron las fisuras. Al fisurarse las columnas, se produce una “rótula plástica”, mecanismo de falla que provoca que el concreto de recubrimiento de la base en la zona fisurada pierda capacidad resistente y deje de ser competente.

En base a ello se plantea un reforzamiento con sistema FRP, es decir, en base a láminas de fibras de carbono. En este sistema una o varias capas de láminas son colocadas alrededor o debajo de las secciones de concreto a reforzar y junto a un sistema adhesivo epóxico especial, se logra una total adherencia a la antigua superficie de concreto obteniéndose una capa externa de reforzamiento que ayuda a soportar las cargas del elemento y previene deflexiones excesivas y luego proteger las torres con pintura resistente al sol.

Este sistema de reforzamiento se caracteriza por su rápida aplicación y bajo costo, obteniendo un sistema único basado en materiales de alta resistencia, con una relación rigidez/peso elevada y muy resistentes a ataques químicos

3.1.2.2. Rehabilitación de cámara de anclaje

Las cámaras de anclaje están conformadas por la estructura de concreto, la viga de acero que sostiene el cable principal y el tubo de acero por el cual pasa el cable principal hacia las torres.

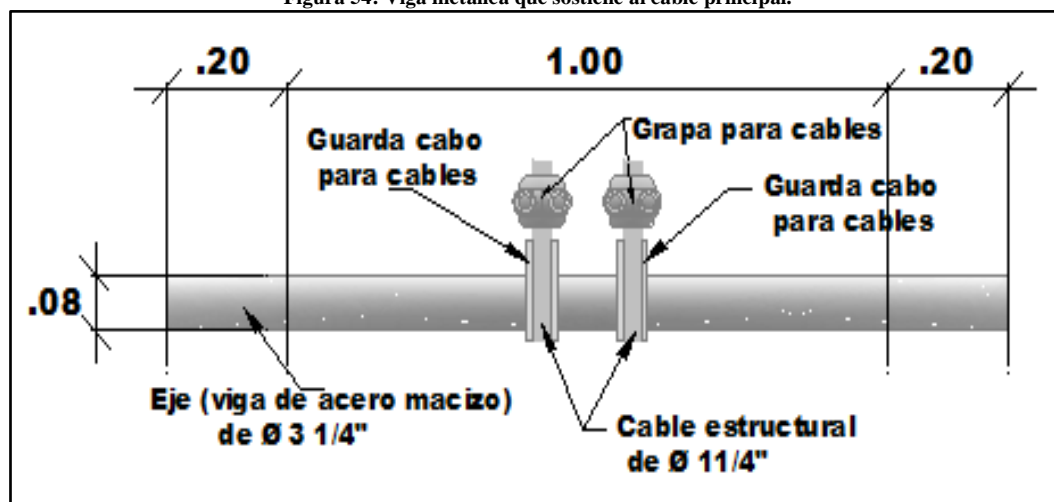
La estructura de concreto se encuentra en perfectas condiciones, por lo que solo necesita una limpieza para eliminar malezas aledañas, sin embargo la unión de la tapa con la cámara de anclaje debe ser selladas con aditivos bituminoso para evitar el ingreso de la aguas de lluvia al interior de la cámara de anclaje.

El tubo de fierro que permite el paso del cable se encuentra a 5cm sobre el concreto de la cámara de anclaje, la cual permite el paso del agua en épocas de lluvia a la cámara de anclaje, por lo que facilita la oxidación de la viga que sostiene los cables principales, entonces se tiene que cambiar por otros tubos de acero de mayor longitud.

La barra horizontal presenta un 15% de afectación por pérdida de sección por corrosión, esta viga de acero sostiene a los cables principales se encuentra en mal estado por lo que tienen que cambiarse por otro nuevo aplicándole una protección de rociado térmico para protegerlo de la corrosión y oxidación, la figura N° 54 muestra la viga sobre el cual sostiene el cable principal.

El cable principal que se encuentra en la cámara de anclaje presenta un el 30% de afectación por pérdida de sección, además los pernos de sujeción presentan un 10% de afectación por corrosión, oxidación, las cuales necesitan ser cambiados aplicándoles una protección de rociado térmico de zinc-aluminio, tal como se indica en el ítem 2.7.1.1.4.

Figura 54: Viga metálica que sostiene al cable principal.



3.1.2.3. Rehabilitación de la vereda de acceso

La vereda de acceso presenta un 75% de afectación por fisura en la pantalla de la vereda de acceso que sirven de relleno para nivelar las vías de acceso al puente, por lo que se debe rehabilitarla en su totalidad.

3.1.3. Rehabilitación de los elementos estructurales de madera

3.1.3.1. Rehabilitación del tablero

Las maderas que conforman la parte superficial del tablero presentan un 75% de afectación por fractura, las maderas que conforman las barandas presentan un 85% de afectación por fractura y los tornillos presentan un 65% de afectación por oxidación, por lo que debe ser remplazada en su totalidad, protegerla de la humedad y emplear dos manos de pintura para su protección contra el medio ambiente.

En la rehabilitación del puente colgante de madera de las Pampas se empleara madera del tipo B. Para optimizar el funcionamiento de los elementos se debe protegerla con solventes orgánicos para preservarla, fungicidas con contenido de cobre y arsénico (CCA) para hongos de pudrición y dos manos de pintura con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera para protegerla del sol, tal como se menciona en el ítem 2.7.3.1.4.

En la rehabilitación del puente colgante se empleara tablas, listones de diferentes medidas para el entablado y baranda, ver figura N°55, N°56.

- Tablas para entablado de 8” x 2”, con una separación de 2 cm.
- Listones de 3” x 3” ubicado sobre el entablado a los costados del tablero.
- Listones de 2”x2” para baranda ubicado a cada lado de viga transversal.
- Listones de 2”x3” para baranda ubicado en forma diagonal entre las vigas transversales.

Figura 55: Modelo de entablado del puente colgante de madera de las Pampas.

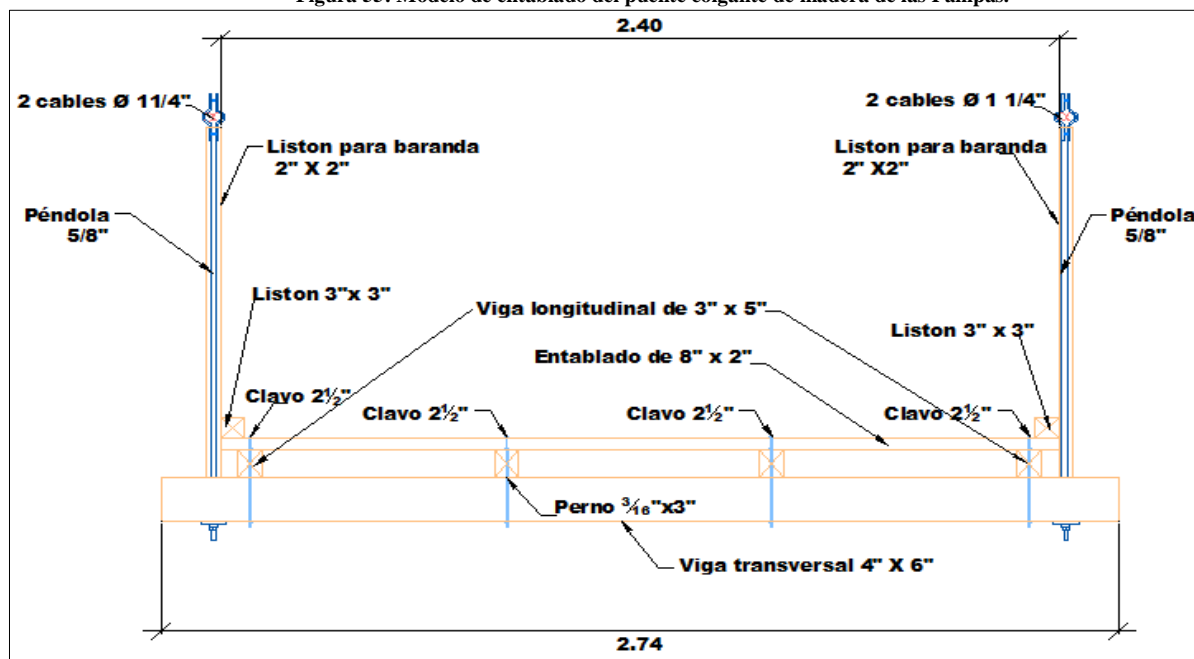
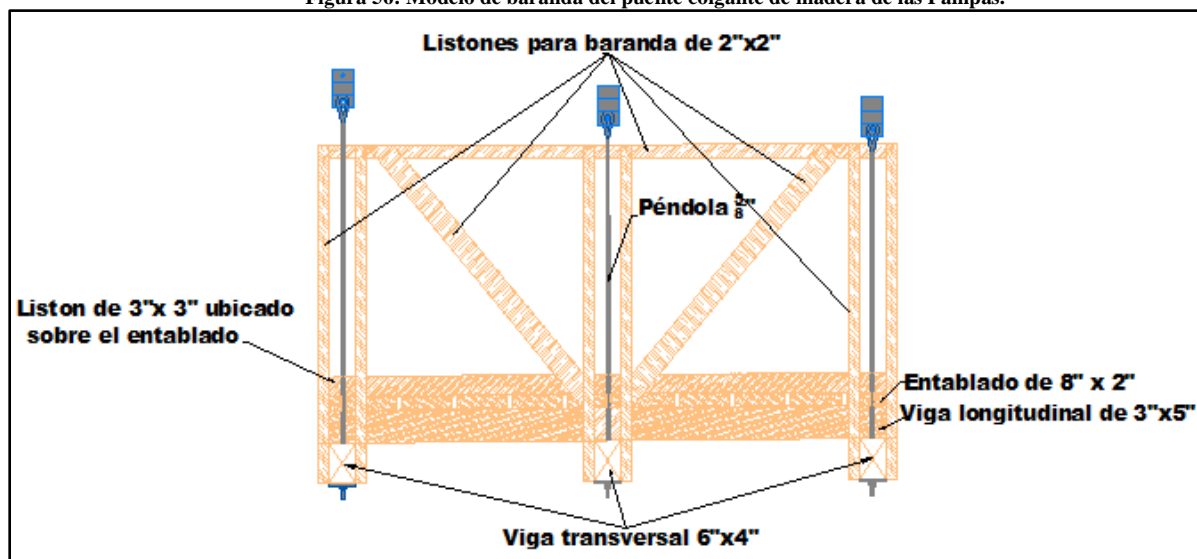


Figura 56: Modelo de baranda del puente colgante de madera de las Pampas.



3.1.3.2. Rehabilitación de la viga transversal

Las vigas transversales presentan un 60% de afectación por fractura en las uniones de las péndolas con la viga, además las vigas transversales presenta un 30% de afectación por pérdida de sección en las vigas a causa de los hongos de pudrición y moho acumulado en la viga y los efectos propios del medio ambiente, por lo que debe ser remplazada por otro nuevo.

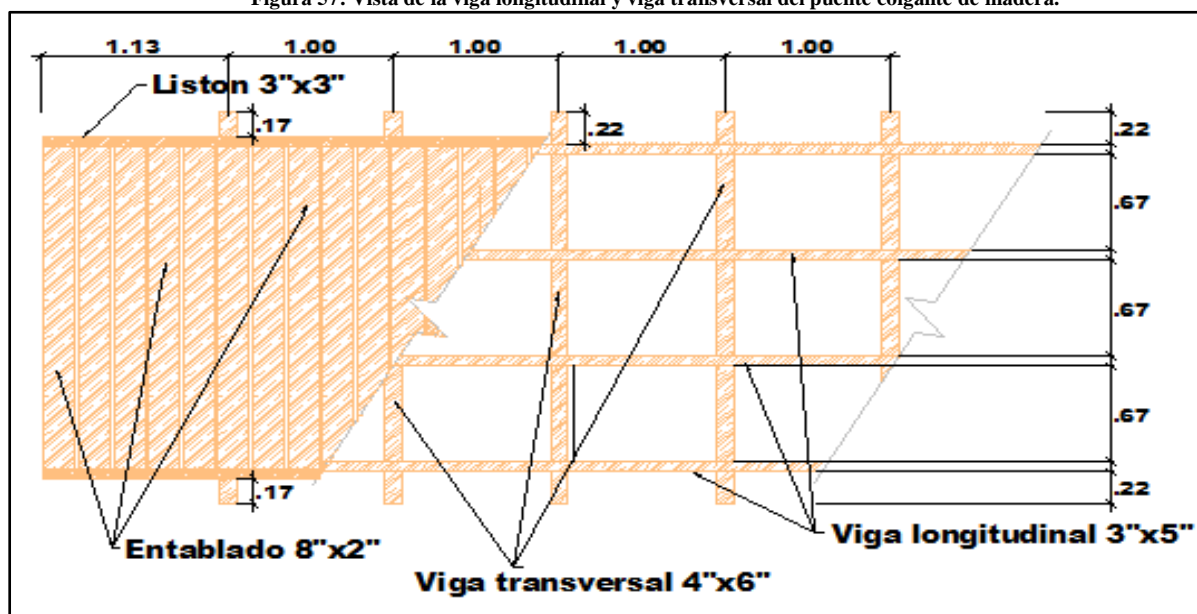
En la rehabilitación del puente colgante de madera de las Pampas se empleara listones de 4" x 6" para vigas transversales. Ver figura N°57. Para optimizar el funcionamiento de los elementos se debe protegerla con solventes orgánicos para preservarla, fungicidas con contenido de cobre y arsénico (CCA) para hongos de pudrición y dos manos de pintura con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera para protegerla del sol, tal como se menciona en el ítem 2.7.3.1.4.

3.1.3.3. Rehabilitación de la viga longitudinal

Las vigas longitudinales presentan un 40% de afectación por pérdida de sección en las vigas a causa de los hongos de pudrición, moho acumulado por los efectos propios del medio ambiente, por lo que debe ser remplazada por otro nuevo.

En la rehabilitación del puente colgante de madera de las Pampas se empleara listones de 3" x 5" para vigas longitudinales. Ver figura N°57. Para optimizar el funcionamiento de los elementos se debe protegerla con solventes orgánicos para preservarla, fungicidas con contenido de cobre y arsénico (CCA) para hongos de pudrición y dos manos de pintura con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera para protegerla del sol, tal como se menciona en el ítem 2.7.3.1.4.

Figura 57: Vista de la viga longitudinal y viga transversal del puente colgante de madera.



CONCLUSIONES

1. El puente colgante de madera de las Pampas es único de su tipo en la zona, de acuerdo a su tipología constructiva, es un puente colgante con tablero de madera y tensores curvos, que une la localidad de las Pampas con la vía nacional (PE-3N) y otros centros poblados circundantes, siendo indispensable mantenerla operativa para la circulación peatonal, la cual se consigue mediante una rehabilitación del sistema estructural para que responda adecuadamente a las nuevas exigencias de crecimiento, desarrollo y seguridad de la población.
2. En el desarrollo de la presente tesis no se contó con el expediente técnico de dicho puente, por lo que se realizó la descripción, medición, inspección visual, levantamiento de los deterioros y las causas de cada uno de los elementos estructurales, recopilando datos suficientes para luego plasmarlo a diferentes programas (CAD, SAP, MATHCAD, etc.) y base a ello se realizó los cálculos y estudios necesarios para el desarrollo de la tesis.
3. Según la asociación Automotriz del Perú, los vehículos se clasifican en menores, livianos y pesados, los vehículos livianos están integradas por automóviles, camionetas, pick up, furgonetas, station wagon, cuyos pesos son menores a 3.5 toneladas, en el estudio de tráfico (ver anexo) realizado in situ, se constató la circulación de vehículos livianos, las mismas que son empleadas para determinar los daños que producen estos en los elementos de madera. Mediante el empleo del programa SAP 200 (ver ítem 2.6) y la hoja de cálculo MATHCAD se verificó que los elementos estructurales de madera del puente colgante no soportan la circulación de vehículos livianos con 2665 kg de peso, por lo tanto el puente colgante de madera de las Pampas se mantendrá solo como puente peatonal. Por consiguiente se restringe la circulación de vehículos livianos por dicho puente para reducir los efectos que estos producen en los elementos estructurales del puente colgante.

4. El análisis del tiempo de vida de un puente colgante es un proceso complejo que requiere identificar las variables (características resistentes, interacción con el terreno, corrosión, carbonatación, sulfatos etc.) que afectan a la durabilidad. En el manual de puentes del MTC clasifica a los puentes según su tiempo de vida en temporales y definitivos, los puentes definitivos tienen un tiempo de vida estimado de 75 años, en la cual se enmarca en presente estudio. Los elementos estructurales del puente colgante de madera de las Pampas presentan un proceso de deterioro debido al paso del tiempo y al exceso de carga generados por la circulación vehículos livianos para lo cual no fueron diseñados. Mediante la rehabilitación, selección y protección adecuada contra los agentes destructores de las mismas, cada uno de estos elementos funcionan de manera óptima, contribuyendo así al incremento del tiempo de vida del puente colgante de madera de las Pampas.
5. Los estudios realizados en la presente tesis muestra que el sistema estructural del puente colgante de madera de las Pampas se encuentra en deterioro constante, por lo que se propone la rehabilitación de cada uno de sus elementos, siendo estos:
- El cable principal presenta un 20% de afectación por pérdida de sección a causa de la corrosión por lo que necesita ser remplazado por completo, tal como se indica en el ítem 3.1.1.1.
 - En las péndolas se observa un 30% de afectación por pérdida de sección en los nudos y flejes (mordazas) de las péndolas, estas deben ser sustituidas por unos nuevos, tal como se indica en el ítem 3.1.1.2.
 - En los carros de dilatación se observa un 20% de afectación por pérdida de sección a causa del desgaste por abrasión, estos deben ser remplazado por otros nuevos, tal como se menciona en el ítem 3.1.1.3.
 - Las torres presentan fisuras de 1 mm a 1.5 mm, estas producen una “rótula plástica”, mecanismo de falla que provoca que el concreto de recubrimiento de la base en la

zona fisurada pierda capacidad resistente y deje de ser competente, las cuales serán reforzadas con el sistema FRP, es decir, en base a láminas de fibras de carbono junto a un sistema adhesivo epóxico especial y luego proteger las torres con pinturas resistente al sol, tal como se muestra en el ítem 3.1.2.1.

- La cámara de anclaje se encuentra en perfectas condiciones, sin embargo la barra horizontal de acero presenta un 15% de afectación por pérdida de sección por corrosión, por lo que tienen que cambiarse por otro nuevo, tal como se indica en el ítem 3.1.2.2.
- La vereda de acceso presenta un 75% de afectación por fisura en la pantalla de la vereda de acceso, estas veredas sirven de relleno para nivelar las vías de acceso al puente, por lo que se debe rehabilitarla en su totalidad.
- Las maderas que conforman la parte superficial del tablero presentan un 75% de afectación por fractura, las maderas que conforman las barandas presentan un 85% de afectación por fractura y los tornillos presentan un 65% de afectación por oxidación, por lo que debe ser remplazada en su totalidad, tal como se muestra en el ítem 3.1.3.1
- Las vigas transversales de madera presentan un 60% de afectación por fractura en las uniones de las péndolas con la viga, además las vigas transversales presenta un 30% de afectación por pérdida de sección en las vigas a causa de los hongos de pudrición y moho acumulado en la viga y los efectos propios del medio ambiente, por lo que debe ser remplazada por otro nuevo, tal como se indica en el ítem 3.1.3.2.
- Las vigas longitudinales de madera presentan un 40% de afectación por pérdida de sección en las vigas a causa de los hongos de pudrición, moho acumulado por los efectos propios del medio ambiente, por lo que debe ser remplazada por otro nuevo, tal como se menciona en el ítem 3.1.3.3.

RECOMENDACIONES

1. Reemplazar los cables estructurales del puente colgante de madera de las Pampas, por cables con alma metálica de 7x7 torones, formando una sección circular de diámetro 1 1/4" de cable.
2. Reemplazar las péndolas del puente colgante de las Pampas, por péndolas de 5/8", dobladas y soldadas formando un ojo en la parte superior y roscada en la parte inferior.
3. Emplear láminas con fibras de carbono junto a un sistema adhesivo epóxico especial para el reforzamiento de la torre.
4. Reemplazar el entablado del puente colgante de las Pampas con tablas de 8" x 2" y listones de 2"x2", 2"x3" para la baranda de protección.
5. Emplear listones de 4" x 6" para vigas transversales y listones de 3" x 5" para vigas longitudinales, protegidas con solventes orgánicos para preservarla, fungicidas con contenido de cobre y arsénico (CCA) para hongos de pudrición y dos manos de pintura con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera para protegerla del sol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Narvaez Paez CI, Sanabria Burgos RL. “Estado del Arte de los Puentes Colgantes”. Tesis de Grado. Universidad Pontificia Bolivariana; 2008.
2. Soley Salamero G. “Puentes de Fortuna”. Tesina de Grado. Universidad politécnica de Cataluña; 2012.
3. Ampuero Alata EJ. “Consideraciones Estructurales en el Análisis y Diseño de puentes colgantes”. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería; 2012.
4. Instituto Técnico de la Estructura en Acero (ITEA). “Sistemas estructurales: puentes”. [En línea]; URL disponible en:
http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documentacion/itea/TOMO18.pdf [Fecha de acceso 22 de diciembre del 2015].
5. Del Pozo Vindel F, Arrieta Torrealba JM, Cerezo Macías JA, Gómez Irigaray M. “Rehabilitación del puente colgante de Aamposta inspección especial, proyecto y obras”. [En línea]; URL disponible en: <http://jornadasaie.org.ar/jornadas-antiores/2010/contenidos/trabajos/tema-g/091.pdf> [Fecha de acceso 21 de diciembre del 2015].
6. Del Pozo Vindel F, Arrieta Torrealba JM, Cerezo Macías A, Gómez Irigaray M, Hue Iburgüen A, Vázquez Salgueiro A. “Obras de rehabilitación del puente colgante de Amposta”. Revista. Hormigón y acero. 2009.
7. Duran Roldan RA. “Diseño estructural de un puente peatonal colgante sobre el río santa bárbara, vincula la comunidad de uzhar y san Antonio perteneciente a la parroquia san juan cantón gualaceo provincia del Azuay”. Tesis de Grado. Universidad Católica de Cuenca; 2014.
8. Gámez Rodes R, González Arestuche LR, Pérez Díaz M. “Propuesta de rehabilitación y cambio de uso del Puente colgante sobre el río San Agustín”. Revista de Arquitectura e Ingeniería, volumen 7. Matanzas Cuba; 2013.

BIBLIOGRAFÍA

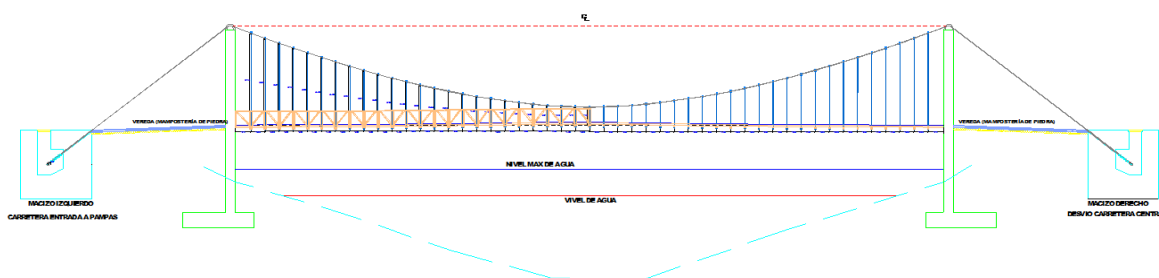
- Ampuero Alata Everth John, “**Consideraciones estructurales en el análisis y diseño de puentes colgantes**”, Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, 2012.
- CAMESA, WireCo WorldGroup, “**Cable de Acero**”, Catalogo, México.
- CORMA, Corporación Chilena de la madera, Centro de transferencia tecnológica, “**Manual de la construcción de viviendas en madera**”, Chile.
- Duran Roldan Rubén Andrés, “**Diseño estructural de un puente peatonal colgante sobre el río santa bárbara, vincula la comunidad de uzhar y san Antonio perteneciente a la parroquia san juan cantón gualaceo provincia del Azuay**”, Tesis de Grado, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca – Ecuador, 2014.
- Huamani Nolasco, Vladimir, “**Estudio comparativo de diseños en puente colgante peatonal**”, Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica, Lircay, 2015.
- I.T.A, Instituto Técnico de la Estructura de Acero, “**Sistemas Estructurales: Puentes**”, tomo N° 18, España.
- M.T.C, Ministerio de transportes y comunicaciones, dirección general de caminos y ferrocarriles, “**Manual de puentes**”, Lima-Perú, 2016.
- Oelckers Valdivia Eduardo José Winkler. “**Proposición de mantención, rehabilitación y recomendaciones de diseño para puentes de la región de los lagos**”, Tesis de Grado. Universidad Austral de Chile; 2011.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, “**Norma E.010-Madera**”, Lima-Perú, 2014.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, “**Norma E.030 Diseño Sismorresistente**”, Lima-Perú, 2014.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, “**Norma E.020 Cargas**”, Lima-Perú, 2014.

-
- Rolando Gámez Rodes, Luis R González Arestuche, Maikel Pérez Díaz, “**Propuesta de rehabilitación y cambio de uso del Puente colgante sobre el río San Agustín**”, Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 7, núm. 1, abril, 2013, pp. 1-11, Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Matanzas – Cuba.
 - Soley Salamero Gisela. “**Puentes de Fortuna**”. Tesina de Grado. Universidad politécnica de Cataluña; 2012.
 - Universidad Tecnológica de Pereira, “**Protección contra la corrosión por medio del rociado térmico**”, Scientia et Technica Año XIII, No 34, Mayo de 2007.
 - Zegarra Ciqueiros Luis, “**Análisis y diseño de puentes colgantes**”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Tesis para optar el grado de magister en ingeniería civil, Lima, 2007.
 - <http://ruta-33.blogspot.com/2015/06/keshwa-chaca-el-ultimo-puente-colgante.html>
 - https://es.wikipedia.org/wiki/Gran_Puente_de_Akashi_Kaikyo
 - <https://www.deperu.com/red-vial/huanuco.php>

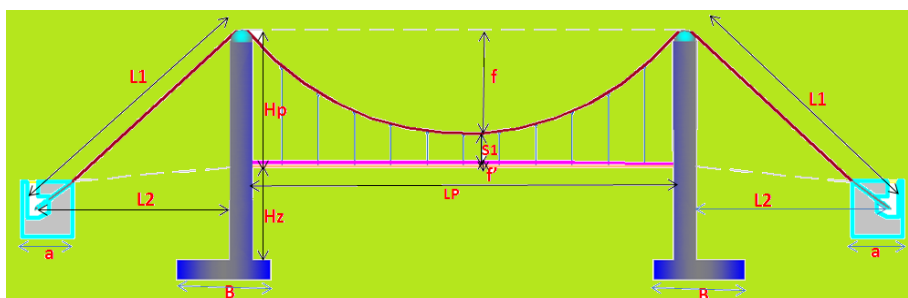
ANEXOS

**ANEXO A: DISEÑO DE PUENTE COLGANTE CON TABLERO DE
MADERA**

DISEÑO DE PUENTE COLGANTE CON TABLERO DE MADERA



1.- CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE COLGANTE



Longitud del puente: Flecha del cable:

$$L_p := 50.25\text{m}$$

$$f_c := \frac{L_p}{10} = 5.025\text{m}$$

$$f := 5.36\text{m}$$

Contraflecha del cable:

$$f_{cf} := \frac{2 \cdot L_p}{300} = 0.335\text{m}$$

$$f' := 0.21\text{m}$$

Altura de la pendola central

$$S1 := 1.12\text{m}$$

Ancho de puente:

$$A_p := 2.74\text{m}$$

Ancho de tablero:

$$A_t := 2.40\text{m}$$

Altura de torre:

$$H_T := 6.56\text{m}$$

Sobrecarga peatonal:

$$SC := 420 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Tipo de madera para diseño:

GRUPO := "B"

MADERA	ESFUERZO ADMISIBLE (kg/cm ²)		DENSIDAD (kg/m ³)
	FLEXION	CORTE	
A	210	15	750
B	150	12	650
C	100	8	450

Peso específico:

$$\gamma_m := 1020 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Esfuerzo a flexión:

$$f_m = 150$$

$$f_m := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte:

$$f_v = 12$$

$$f_v := 12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

MADERA: DENSIDAD BASICA

Grupo	Densidad Básica g/cm ³
A	≥ 0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55

Fuente: RNE, "Norma E.010: Madera", pag.02.

MADERA: ESFUERZOS ADMISIBLES

Grupo	Esfuerzos Admisibles MPa (kg/cm ²)				
	Flexion f _m	Tracción Paralela f _t	Compresión Paralela f _c	Compresión Perpendicular f _{c⊥}	Corte Paralelo f _v
A	20,6 (210)	14,2 (145)	14,2 (145)	3,9 (40)	1,5 (15)
B	14,7 (150)	10,3 (105)	10,8 (110)	2,7 (28)	1,2 (12)
C	9,8 (100)	7,3 (75)	7,8 (80)	1,5 (15)	0,8 (8)

Nota: Para los esfuerzos admisibles en compresión deberán considerarse adicionalmente los efectos de pandeo

Fuente: RNE, "Norma E.010: Madera", pag.03.

MADERA: MODULO DE ELASTICIDAD

Grupo	Módulo de Elasticidad (E) MPa (kg/cm ²)	
	E _{mínimo}	E _{promedio}
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

Nota: el módulo de elasticidad (E) es aplicable para elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras.

Fuente: RNE, "Norma E.010: Madera", pag.02.

CARGA VIVA EN PUENTES

Los puentes para uso peatonal y para el tráfico de bicicletas deberán ser diseñados para una carga viva uniformemente repartida de 85 lb/m² (420 kgf/m²).

El proyectista deberá evaluar el posible uso del puente peatonal por vehículos de emergencia o mantenimiento. Las cargas correspondientes a tales vehículos no requerirán incrementarse por efectos dinámicos. Tampoco serán combinadas con la carga viva de diseño.

Fuente: MTC, "Manual de puentes" 2016, pag.68.

PESOS ESPECIFICOS DE MATERIALES

MATERIAL	(kN/m ³)	(kgf/m ³)
Agua dulce	9,8	(1000)
Agua salada	10,0	(1020)
Acero	76,9	(7850)
Aluminio	27,4	(2800)
Arena, tierra o grava sueltas, arcilla	15,7	(1600)
Arena, tierra o grava compactas	18,9	(1900)
Asfalto, Macadam	22,0	(2200)
Concreto ligero	17,4	(1740)
Concreto normal	23,5	(2400)
Concreto Armado	25,0	(2500)
Hierro forjado	70,6	(7200)
Balasto	22,0	(2250)
Madera	10,0	(1020)
Mampostería de piedra	26,6	(2700)
Rieles y accesorios (por metro lineal de vía férrea)	3 kN/m	300kgf/m

Fuente: MTC, "Manual de puentes 2016", pag.56.

MADERA: DIMENSIONES REALES Y EQUIVALENTES COMERCIALES

Dimensión Real b x h (cm)	Equivalente Comercial b x h (pulgadas)
4 x 4	2 x 2
4 x 6,5	2 x 3
4 x 9	2 x 4
4 x 14	2 x 6
4 x 16,5	2 x 7
4 x 19	2 x 8
4 x 24	2 x 10
6,5 x 6,5	3 x 3
6,5 x 9	3 x 4
9 x 9	4 x 4
9 x 14	4 x 6
9 x 19	4 x 8
9 x 24	4 x 10
9 x 29	4 x 12
14 x 14	6 x 6
14 x 19	6 x 8
14 x 24	6 x 10
14 x 29	6 x 12

Fuente:Junta de acuerdo de cartagena, "Manual de diseño para maderas del grupo andino", pag.44.

MADERA: DIMENSIONES REALES Y EQUIVALENTES COMERCIALES										
DIMENSION REAL			EQUIVALENTE COMERCIAL			EQUIVALENTE COMER			TIPO DE ELEMENTO	
b (cm)	X	h (cm)	b (pul)	X	h (pul)	b (cm)	X	h (cm)		
9	X	14	4	X	6	10.16	X	15.24	VIGA TRANSVERSAL	
6.5	X	11	3	X	5	7.62	X	12.7	VIGA LONGITUDINAL	
18	X	4	8	X	2	20.32	X	5.08	TABLERO	

Fuente: Propio

2.- DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

2.1.- DISEÑO DE LA TABLA

Datos:

Dimensión real de la madera:

Base de tabla: Altura de tabla:

$$B_e := 18\text{cm}$$

$$H_e := 4\text{cm}$$

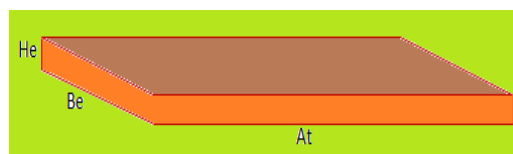
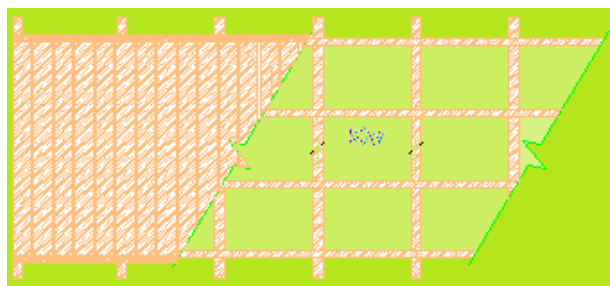
Dimensión comercial de la madera:

Base de tabla:

Altura de tabla:

$$B_{ec} := 20\text{cm}$$

$$H_{ec} := 5\text{cm}$$



Cálculos:

Módulo de sección:

$$S_e := \frac{(B_e) \cdot (H_e)^2}{6} = 48 \cdot \text{cm}^3$$

Módulo de reacción:

$$R_e := \frac{2(B_e) \cdot (H_e)}{3} = 48 \cdot \text{cm}^2$$

2.1.1.-Datos para cálculos en SAP 2000:

Peso por sobrecarga del entablado:

$$W_{SC} := SC \cdot B_{ec} = 84 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

2.1.2.-Datos calculados con SAP 2000:

2.1.2.1.-Momento por servicio del entablado:

$$M_{SER} := 5\text{m} \cdot \text{kgf}$$

2.1.2.2.-Cortante por servicio del entablado:

$$V_{SER} := 40.55 \text{kgf}$$

2.1.3.-Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_f := \frac{M_{SER}}{S_e} = 10.417 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{flexion} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_f < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_v := \frac{V_{SER}}{R_e} = 0.845 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte de la madera

$$f_v = 12 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{corte} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_v < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

3.2.- DISEÑO DE LA VIGA LONGITUDINAL

Datos:

Dimensión real de la madera:

Base de la viga longitudinal:

$$B_l := 6.5 \text{cm}$$

Altura de la viga longitudinal:

$$H_l := 11 \text{cm}$$

Dimensión comercial de la madera:

Base de la viga longitudinal:

$$B_{lc} := 7.6 \text{cm}$$

Altura de la viga longitudinal:

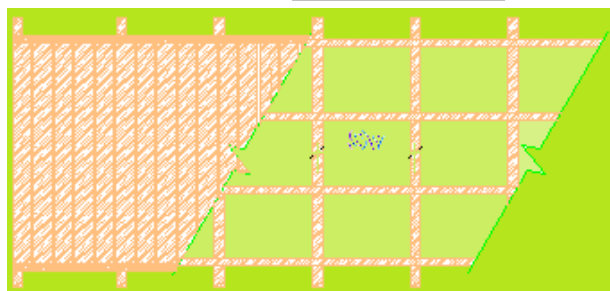
$$H_{lc} := 12.7 \text{cm}$$

Separacion de vigas longitudinal

$$S_l := 0.75 \text{m}$$

Peso de clavo en viga longitudinal:

$$W_{clavos} := 5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



Diseño:

Módulo de sección:

$$S_I := \frac{B_I \cdot (H_I)^2}{6} = 131.083 \cdot \text{cm}^3$$

Módulo de reacción:

$$R_I := \frac{2B_I \cdot (H_I)}{3} = 47.667 \cdot \text{cm}^2$$

3.2.1.-Datos para calculos en SAP 2000:

Peso del entablado:

$$W_E := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot S_I = 38.25 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Peso por sobrecarga:

$$W_{SC} := SC \cdot S_I = 315 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Peso de clavos y otros:

$$W_{\text{clavos}} = 5 \cdot \frac{\text{kgf}}{m}$$

3.2.2.-Datos calculados con SAP 2000:
3.2.2.1.-Momento por carga de servicio en la viga longitudinal:

$$M_{W_{SER}} := 36.43m \cdot \text{kgf}$$

3.2.2.2.-Cortante por carga de servicio en viga longitudinal:

$$V_{SER} := 219.20 \text{kgf}$$

3.2.3.-Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_{fl} := \frac{M_{W_{SER}}}{S_I} = 27.791 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{flexion}} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fl} < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_{fv} := \frac{V_{SER}}{R_I} = 4.599 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte de la madera:

$$f_v = 12 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{fv} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fv} < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

3.3.- DISEÑO DE LA VIGA TRANSVERSAL

Datos:

Dimensión real de la madera:

Dimensión comercial de la madera:

 Separación de vigas
 transversal:

 Base de la viga
 transversal:

 Altura de la viga
 transversal:

 Base de la viga
 transversal:

 Altura de la viga
 transversal:

$$S_V := 1\text{m}$$

$$B_t := 9\text{cm}$$

$$H_t := 14\text{cm}$$

$$B_{tc} := 10\text{cm}$$

$$H_{tc} := 15\text{cm}$$

Areas tributarias:

Longitud tributaria:

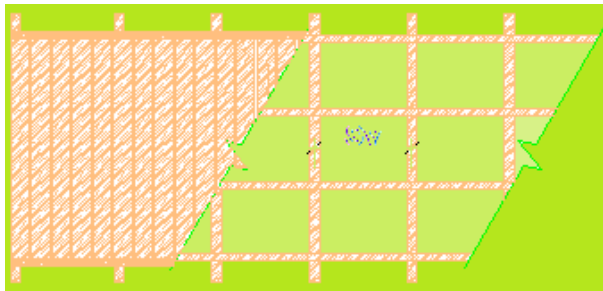
$$At_{v1} := 0.405\text{m}^2$$

$$At_{v2} := 0.7451\text{m}^2$$

$$At_{v3} := 0.7451\text{m}^2$$

$$At_{v4} := 0.405\text{m}^2$$

$$Ltv := 1\text{m}$$



Cálculos:

Módulo de sección:

$$S_t := \frac{B_t \cdot (H_t)^2}{6} = 294 \cdot \text{cm}^3$$

Módulo de reacción:

$$R_t := \frac{2 \cdot B_t \cdot (H_t)}{3} = 84 \cdot \text{cm}^2$$

3.3.1.-Datos calculados para SAP 2000:

Peso de la tabla en cada punto de contacto:

$$PT1 := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot At_{v1} = 20.655 \cdot \text{kgf}$$

$$PT2 := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot At_{v2} = 38 \cdot \text{kgf}$$

$$PT3 := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot At_{v3} = 38 \cdot \text{kgf}$$

$$PT4 := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot At_{v4} = 20.655 \cdot \text{kgf}$$

Peso de la viga longitudinal en cada punto de contacto:

$$PV := \gamma_m \cdot B_{lc} \cdot H_{lc} \cdot Ltv = 9.845 \cdot \text{kgf}$$

Sobrecarga peatonal en cada punto de contacto:

$$Pscp1 := SC \cdot At_{v1} = 170.1 \cdot \text{kgf}$$

$$Pscp2 := SC \cdot At_{v2} = 312.942 \cdot \text{kgf}$$

$$P_{scp3} := SC \cdot At_{v3} = 312.942 \cdot \text{kgf}$$

$$P_{scp4} := SC \cdot At_{v4} = 170.1 \cdot \text{kgf}$$

3.3.2.-Datos calculados con SAP 2000:

3.3.2.1.-Momento por carga de servicio en la viga transversal:

$$MW_{ser} := 338.30 \text{kgf} \cdot \text{m}$$

3.3.2.2.-Cortante por carga de servicio en la viga transversal:

$$V_{ser} := 577.07 \text{kgf}$$

3.3.3.-Esfuerzos máximos actuantes:

Esfuerzo a flexión calculado:

$$\sigma_{fl} := \frac{MW_{ser}}{S_t} = 115.068 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{flexion} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fl} < f_m \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

Esfuerzo a flexión de la madera:

$$f_m = 150 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo a corte calculado:

$$\sigma_{fv} := \frac{V_{ser}}{R_t} = 6.87 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{corte} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \sigma_{fv} < f_v \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

Esfuerzo a corte de la madera:

$$f_v = 12 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

3.4.- DISEÑO DE LAS PENDOLAS

Datos:

Distancia entre péndolas:

$$d := 1 \text{m}$$

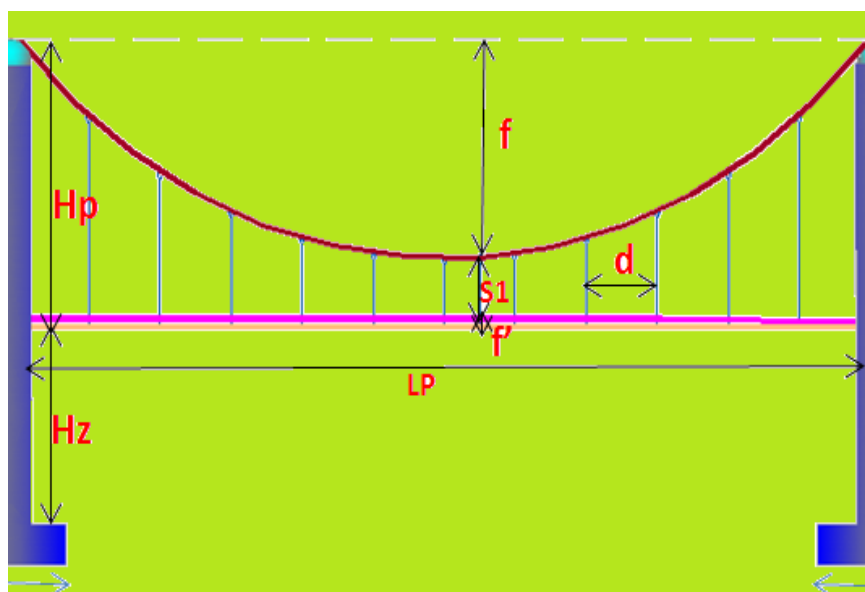
Resistencia del acero:

$$F_{y\text{pendola}} := 2530 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{u\text{pendola}} := 4850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Peso de clavo, pernos y abrazadera inferior:

$$W_p := 15 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



Peso de grapa inferior,

abrazadera inferior y pendolas: Longitud tributaria: Ltura de la torre: Altura de péndola central:

$$W_g := 20 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$L_{\text{trib}} := 1\text{m}$$

$$H_T = 6.56\text{m}$$

$$S1 = 1.12\text{m}$$

Longitud del puente:

$$L_p = 50.25\text{m}$$

Flecha del cable:

$$f = 5.36\text{m}$$

Contraflecha del cable:

$$f' = 0.21\text{m}$$

Diseño:

3.3.2.-Cálculos con SAP 2000:

3.3.3.-Cortante total en péndolas:

Peso de clavos, pernos:

$$P_{CP} := W_p \cdot L_{\text{trib}} = 15 \cdot \text{kgf}$$

Peso de grapa inf, abrazadera inf y pendola:

$$P_{GA} := W_g \cdot L_{\text{trib}} = 20 \cdot \text{kgf}$$

Peso total para péndolas:

$$V_T := 1930.66\text{kgf}$$

3.3.2.-Número de péndolas:

$$N_p := \frac{L_p}{d} - 1 = 49.25$$

$$N_p := 49$$

$$N_{pt} := 2 \cdot N_p = 98$$

3.3.4.-Area de péndola:

$$A_s := \frac{V_T}{(0.75) \cdot (0.75) \cdot F_{u_{\text{pendola}}}} = 0.708 \cdot \text{cm}^2$$

3.3.5.-Selección del diámetro de péndola:

Diámetro de la péndola:

$$\phi := \frac{5}{8}$$

$$WS = 1.552$$

$$W_s := 1.552 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$AS = 1.979$$

$$A_s := 1.979\text{cm}^2$$

DIMENSIONES DEL ACERO PARA REFUERZO			
Diámetro		Peso	Area cm2
pulg.	cm	kg/m	1
1/4	0.64	0.25	0.317
3/8	0.95	0.56	0.713
1/2	1.27	0.99	1.267
5/8	1.59	1.55	1.979
3/4	1.91	2.24	2.850
7/8	2.22	3.04	3.879

$$\phi R_n := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } 0.75 \cdot (0.75 \cdot F_{u_{\text{pendola}}} \cdot A_s) > V_T \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

$$\text{Usar pendolas: } \phi = \frac{5}{8}$$

ASTM ACEROS ESTRUCTURALES				
Nomenclatura		F _y		F _u
ASTM	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
A 36	250	2,530	400 a 550	4,080 a 5,620
A 529	345	3,515	485	4,950
	380	3,880	485	4,950
A 242	320	3,235	460	4,710
	345	3,515	485	4,920
	290	2,950	414	4,220

Fuente: Gerdau Corsa, "El acero hoy", pag.18.

VISTA DE PENDOLA Y EL CABLE PENDOLA Y VIGA TRANSVERSAL



Fuente: Propio



Fuente: Propio

COMBINACIONES DE CARGAS PARA DISEÑO

Para LRFD	Para ASD
$P_u = 1.4D$	$P_a = D + L$
$P_u = 1.2D + 1.6L$	

Fuente: MacCormac, "Diseño de estructuras de acero", pag.106.

VARILLAS Y BARRAS

Cuando se usan varillas y barras como miembros a tensión, pueden soldarse simplemente sus extremos, o bien, mantenerse en posición por medio de roscas (cuerdas) con tuercas. El esfuerzo de diseño nominal a tensión del AISC para varillas roscadas, F_m , se da en la Tabla J3.2 del AISC y es igual a $0.75F_u$. Esto se aplica al área total A_D de la varilla calculada con el diámetro mayor de la rosca; es decir, el diámetro de la extremidad exterior de la rosca. Entonces, el área requerida para una carga específica a tensión puede calcularse como sigue:

$$R_n = F_m A_D = 0.75 F_u A_D$$

$\phi = 0.75$ LRFD	$\Omega = 2.00$ ASD
$A_D \geq \frac{P_u}{\phi 0.75 F_u}$	$A_D \geq \frac{\Omega P_a}{0.75 F_u}$

Fuente: MacCormac, "Diseño de estructuras de acero", pag.115

3.5.- DISEÑO DE CABLE PRINCIPAL

Datos:

Factor de seguridad:

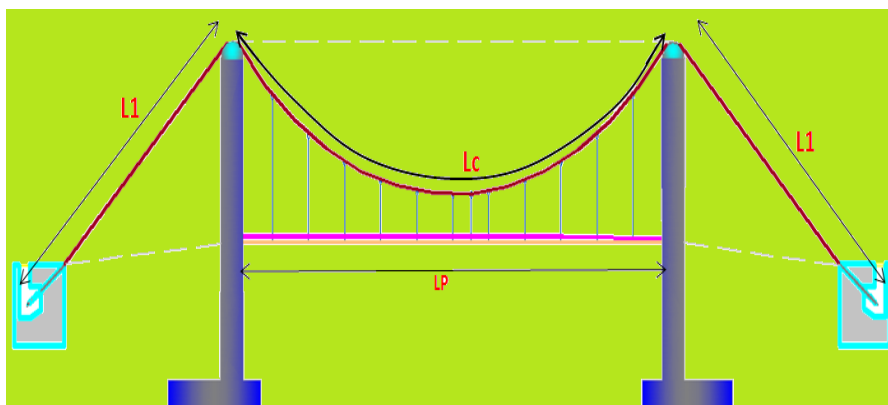
$$FS := 3.4$$

Numero de cables:

$$N_{\text{cables}} := 4$$

Numero de bandas:

$$N_{\text{Banda}} := 2$$



Numero de cables por banda:

$$N_{\text{CablesBanda}} := 2$$

Peso de abrazadera superior, grapa superior, cable principal:

$$WC := 25 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Peso de baranda y otros:

$$WB := 25 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Diseño:

3.5.1.-Diseño del cable principal:

Factor n:

$$n := \frac{f}{L_p} = 0.107$$

Longitud de la curva parabólica del cable:

$$L_c := L_p \cdot \left(1 + \frac{8n^2}{3} - \frac{32 \cdot n^4}{5} \right) = 51.733 \text{ m}$$

3.5.2.-Peso por metro lineal en el cable:

Peso de entablado:

$$WET := \gamma_m \cdot H_{ec} \cdot A_t = 122.4 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kgf}$$

Peso de la viga longitudinal:

$$WVL := \gamma_m \cdot \left(\frac{A_t}{S_1} + 1 \right) \cdot H_{lc} \cdot B_{lc} = 41.349 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{kgf}$$

Peso de la viga transversal:

$$WVT := \frac{\gamma_m \cdot H_{tc} \cdot B_{tc} \cdot (A_p)}{1m} = 41.922 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Peso por sobrecarga:

$$W_{sc} := A_t \cdot SC = 1008 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Peso de clavo, perno y abrazadera inferior:

$$W_p = 15 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Peso de grapa inferior y pendola:

$$W_g = 20 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Peso de abrazadera superior, grapa superior, cable principal:

$$WC = 25 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Peso de baranda y otros:

$$WB = 25 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Peso total en servicio:

$$WTC := WET + WVL + WVT + W_{sc} + W_p + W_g + WC + WB = 1298.671 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

3.5.3.-Cálculo de la tensión horizontal en el cable:

$$TH := \frac{WTC \cdot (L_p)^2}{8 \cdot f} = 76.474 \cdot \text{tonnef}$$

3.5.4.-Cálculo de la Tensión en el cable:

$$TC := \frac{WTC \cdot (L_p)^2}{8 \cdot f} \cdot \sqrt{1 + 16n^2} = 83.144 \cdot \text{tonnef}$$

3.5.5.-Cálculo de la Tensión Máxima en el cable:

$$TM := TC \cdot FS = 282.691 \cdot \text{tonnef}$$

3.5.6.- Cálculo de la tensión máxima en el cable:

$$T_{\max\text{RotB}} := \frac{T_M}{N_{\text{Banda}}} = 141.346 \cdot \text{tonnef}$$

3.5.7.-Cálculo de la Tension máxima en el cable:

$$T_{\max\text{RotC}} := \frac{T_{\max\text{RotB}}}{N_{\text{CablesBanda}}} = 70.673 \cdot \text{tonnef}$$

3.5.8.-Selección del diámetro del cable:

Tensión a la rotura en el cable: $T_{\max\text{RotC}} := 72.5$

PesoCable = 4.3 kg/m

$$\text{Cable}\phi = 1 \frac{1}{4}$$

TABLA DE RESISTENCIA A LA RUPTURA Y PESOS DE LOS CABLES MAS USUALES			
CABLE: BARRACUDA			
TIPO: BOA (6x19)			
ALMA DE ACERO			
Resistencia a la rotura	Diámetro		Peso
	T n.m	pulg.	cm
3.10	1/4	0.64	0.18
4.80	1/3	0.79	0.27
6.90	3/8	0.95	0.39
9.20	4/9	1.11	0.52
12.10	1/2	1.27	0.68
15.20	4/7	1.43	0.88
18.70	5/8	1.59	1.07
26.70	3/4	1.91	1.55
36.10	7/8	2.22	2.11
46.90	1	2.54	2.75
59.00	1 1/8	2.86	3.48
72.50	1 1/4	3.18	4.30
87.10	1 3/8	3.49	5.21

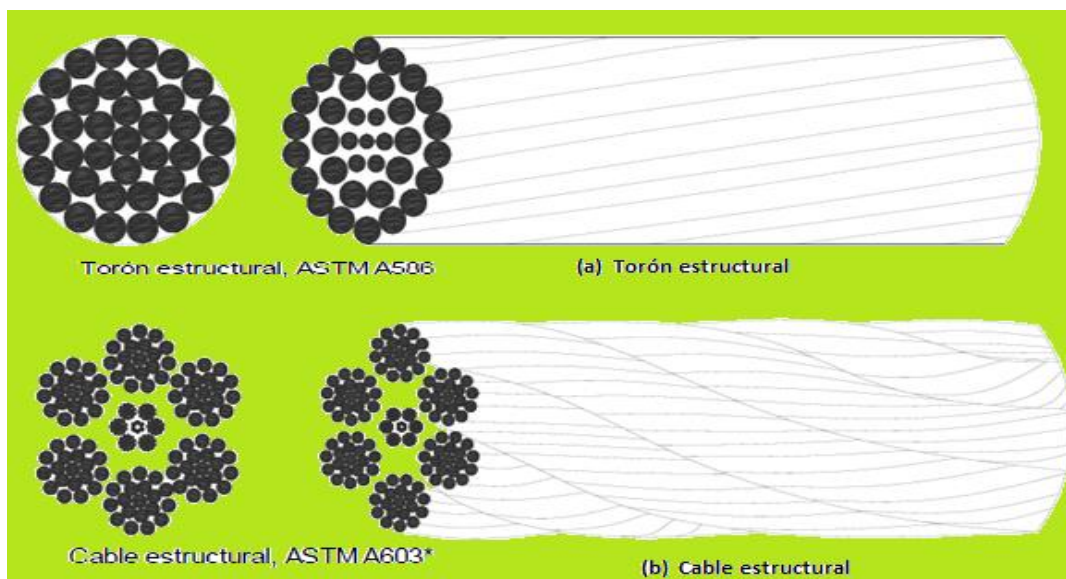
Usar : 4 Cableφ = 1 1/4

.....

Cables para puentes (6.4.8.4 AASHTO)

Los cables para puentes deberán satisfacer las Especificaciones ASTM A586 o A603.

CONFIGURACION DE TORON Y CABLE ESTRUCTURAL



Fuente:Tesis, "Consideraciones estructurales en el análisis y diseño de puentes colgantes", pag.21.

FACTOR DE SEGURIDAD PARA CABLES ESTRUCTURALES DE ACERO

Aplicación	Factor de seguridad
Tirantes de cable o torones (trabajo estático)	3 a 4
Cables principales para puentes colgantes	3 a 3.5
Cables de suspensión (péndulo para puentes colgantes)	3.5 a 4
Cables de tracción para teleféricos y andariveles	5 a 6
Cada cable de operación de una grúa almeja	4 a 5
Palas mecánicas - excavadoras	5
Cable de arrastre en minas	4 a 5
Cables de izaje en minas (vertical e inclinado)	7 a8
Grúas tecles y polipastos industriales	6 (mínimo)
Ascensores - elevadores - para personal	12 a 15
Ascensores - elevadores - para material y equipos	7 a 10
Grúas con crisoles calientes de fundición	8 (mínimo)

Fente:<http://html.rincondelvago.com/cables-de-acero.html>

3.6.- DISEÑO DE CÁMARA DE ANCLAJE

Datos:

Tension en el cable:

$$TC = 83.144 \cdot \text{tonnef}$$

Altura de la camara:

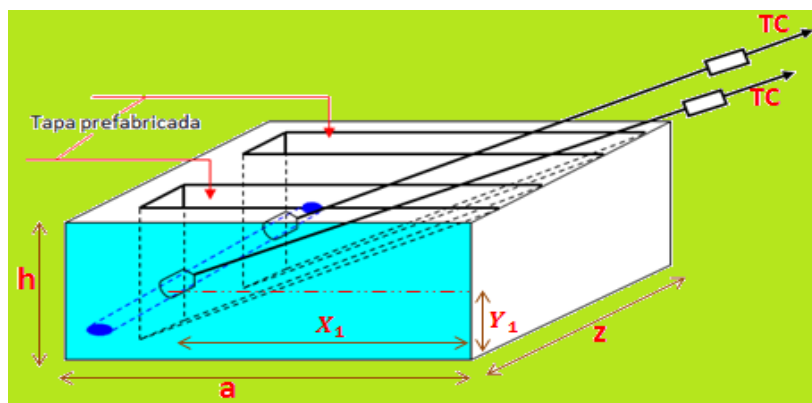
$$h := 4.5\text{m}$$

Ancho de la camara:

$$a := 5\text{m}$$

Longitud de la camara:

$$z := 4.5\text{m}$$



Factor de seguridad al deslizamiento:

$$FSc := 1.5$$

Capacidad portante del terreno: Calidad de concreto: Peso del concreto:

$$q_{adm} := 1.90 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Altura de la aplicación del anclaje:

$$Y_1 := 2.27\text{m}$$

Coefficiente de rozamiento:

$$\mu := 0.8$$

Peso unitario del terreno:

$$\gamma_t := 1500 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

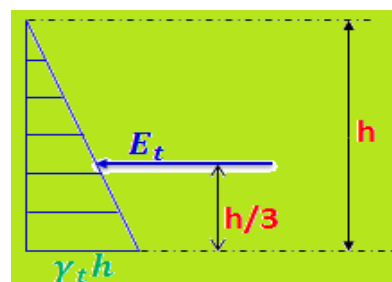
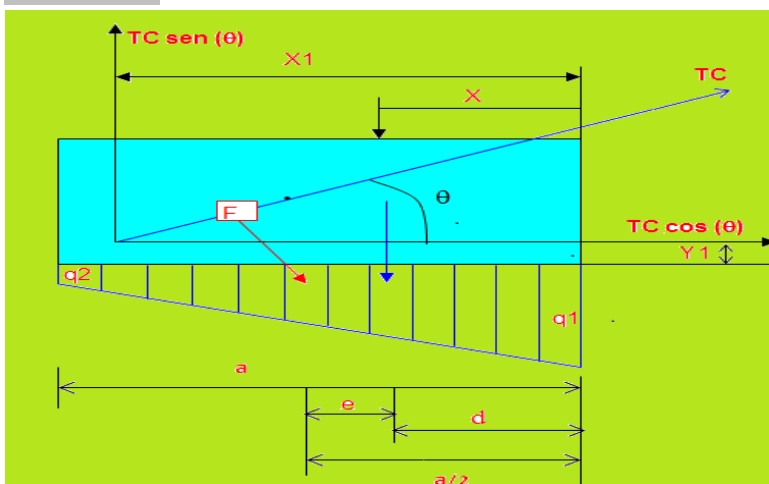
Angulo de fricción interna del terreno:

$$\alpha := 30^\circ$$

Angulo de salida del cable:

$$\theta := 35^\circ$$

$$X_1 := 3.10\text{m}$$



$$T_H := TC \cdot \cos(\theta) = 68.108 \cdot \text{tonnef}$$

$$T_V := TC \cdot \sin(\theta) = 47.69 \cdot \text{tonnef}$$

$$X_1 = 3.1\text{m}$$

$$Y_1 = 2.27\text{m}$$

Diseño:

3.6.1.-Empuje del estrato de tierra

$$E_t := \frac{\gamma_t \cdot (h)^2 \cdot z \cdot \left(\tan\left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \right)^2}{2} = 22.781 \cdot \text{tonnef}$$

3.6.2.-Peso propio de la cámara de anclaje

$$W_c := \gamma_c \cdot h \cdot a \cdot z = 243 \cdot \text{tonnef}$$

3.6.3.-Cálculo de X

$$X := \frac{W_c \cdot \left(\frac{a}{2}\right) - T_V \cdot X_1 - T_H \cdot Y_1}{W_c - T_V} = 1.562 \text{ m}$$

3.6.4.-Excentricidad de la resultante de fuerzas

$$dx := \frac{W_c \cdot \left(\frac{a}{2}\right) - T_V \cdot X_1 - T_H \cdot Y_1}{W_c - T_V} = 1.562 \text{ m}$$

$$ex := \frac{a}{2} - dx = 0.938 \text{ m}$$

$$e_x := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } ex < \frac{a}{3} \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

3.6.5.-Presión de la estructura sobre el terreno

$$q_1 := \frac{(W_c - T_V)}{a \cdot z} \cdot \left[1 + 6 \cdot \left(\frac{ex}{a}\right) \right] = 1.845 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$q_1 := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } q_1 < q_{\text{adm}} \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

$$q_2 := \frac{W_c - T_V}{a \cdot z} \cdot \left[1 - 6 \cdot \left(\frac{ex}{a}\right) \right] = -0.109 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$q_2 := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } q_2 < q_{\text{adm}} \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

3.6.6.-Análisis de los factores de seguridad

$$\text{FSD} := \frac{(W_c - T_V) \cdot \mu}{T_H} = 2.294$$

$$\text{FSD} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \text{FSD} > \text{FSc} \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

$$\text{FSV} := \frac{\left(\frac{a}{2}\right) \cdot W_c}{(T_V \cdot X_1 + T_H \cdot Y_1)} = 2.009$$

$$\text{FSV} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } \text{FSV} > \text{FSc} \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$$

3.6.7.-Dimensiones a usar para la cámara de anclaje:

$$h = 4.5 \text{ m} \quad a = 5 \text{ m} \quad z = 4.5 \text{ m}$$

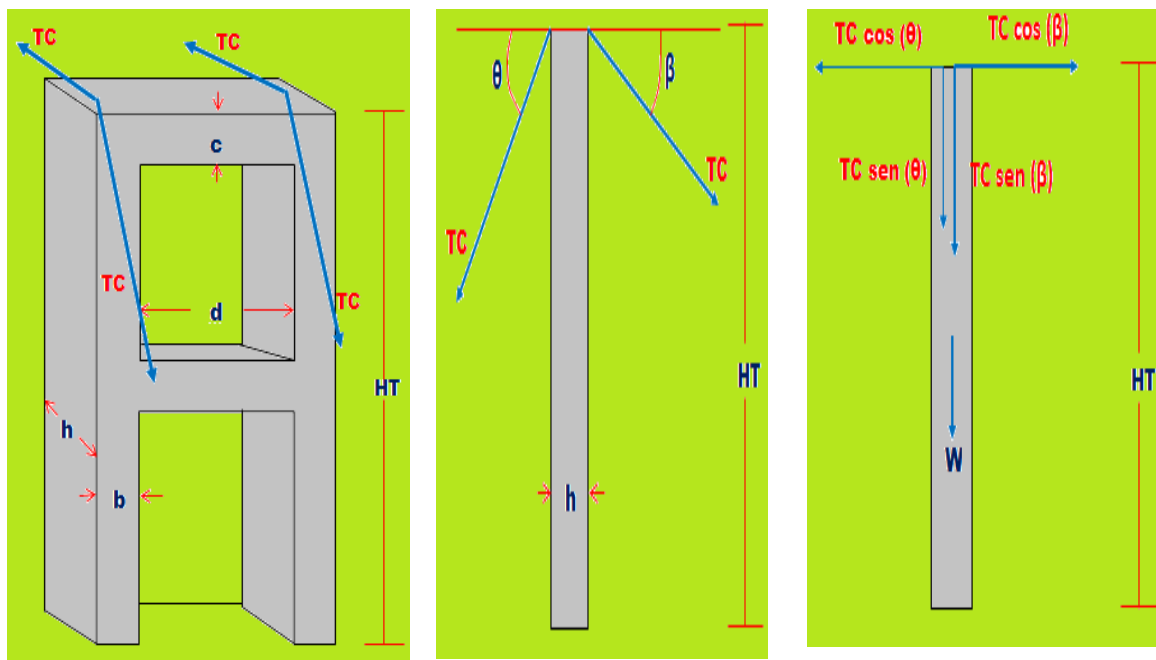
3.7.- DISEÑO DE LA TORRE DE SUSPENSION

Angulo de salida del cable
 a la cámara de anclaje:

$$\theta = 35^\circ$$

Angulo del cable de suspensión:

$$\beta := 19^\circ$$



3.7.1.- Datos calculados para introducir al programa SAP 2000:

3.7.1.1.- Carga muerta en el cable de suspensión:

$$WTCM := WET + WVl + WVT + Wp + Wg + WC + WB = 290.671 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Cálculo de la tensión horizontal en el cable:

$$THM := \frac{WTCM \cdot (L_p)^2}{8 \cdot f} = 17.117 \cdot \text{tonnef}$$

Cálculo de la Tensión en el cable:

$$TCM := \frac{WTCM \cdot (L_p)^2}{8 \cdot f} \cdot \sqrt{1 + 16n^2} = 18.61 \cdot \text{tonnef}$$

Resultante de la fuerza muerta en la torre:

$$FHM := TCM \cdot \cos(\beta) - TCM \cdot \cos(\theta) = 2351.626 \cdot \text{kgf}$$

$$FHm := \frac{FHM}{2} = 1175.813 \cdot \text{kgf}$$

$$FVM := -TCM \cdot \sin(\theta) - TCM \cdot \sin(\beta) = -16732.689 \cdot \text{kgf}$$

$$FVm := \frac{FVM}{2} = -8366.345 \cdot \text{kgf}$$

3.7.1.2.- Carga viva en el cable de suspensión:

$$WTCV := W_{sc} = 1008 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

Cálculo de la tensión horizontal en el cable:

$$THV := \frac{WTCV \cdot (L_p)^2}{8 \cdot f} = 59.358 \cdot \text{tonnef}$$

Cálculo de la Tensión en el cable:

$$TCV := \frac{WTCV \cdot (L_p)^2}{8 \cdot f} \cdot \sqrt{1 + 16n^2} = 64.535 \cdot \text{tonnef}$$

Resultante de la fuerza viva en la torre:

$$FHV := TCV \cdot \cos(\beta) - TCV \cdot \cos(\theta) = 8155.054 \cdot \text{kgf}$$

$$FHv := \frac{FHV}{2} = 4077.527 \cdot \text{kgf}$$

$$FVV := -TCV \cdot \sin(\theta) - TCV \cdot \sin(\beta) = -58026.226 \cdot \text{kgf}$$

$$FVv := \frac{FVV}{2} = -29013.113 \cdot \text{kgf}$$

3.7.2.- Determinación de las cargas de viento:

Datos:

Velocidad friccional: Longitud de fricción: Velocidad de viento: Velocidad base: Altura de estructura:

$$V_0 := 13.2 \text{ kph}$$

$$Z_0 := 70 \text{ mm}$$

$$V_{30} := 75 \text{ kph}$$

$$V_B := 160 \text{ kph}$$

$$Z := 9200 \text{ mm}$$

Presión básica de
viento (barlovento):

$$P_{BB} := 0.0024 \text{ MPa}$$

Presión básica de
viento (sotavento):

$$P_{BS} := 0.0012 \text{ MPa}$$

Velocidad de viento de diseño:

$$V_{DZ} := 2.5 \cdot V_0 \cdot \left(\frac{V_{30}}{V_B} \right) \cdot \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) = 75.464 \cdot \text{kph}$$

Análisis de viento en dirección X:

Ancho de sección

$$hx := 0.70 \text{ m}$$

BARLOVENTO:

$$P_{DBx} = P_{BB} \cdot \frac{V_{DZ}^2}{25600} \text{ MPa}$$

$$P_{DBx} := 5.339 \cdot 10^{-4} \text{ MPa}$$

$$P_{DBx} = 54.443 \frac{1}{m^2} \cdot \text{kgf}$$

$$V_{XB} := P_{DBx} \cdot hx = 38.11 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

SOTAVENTO:

$$P_{DSx} = P_{BS} \cdot \frac{V_{DZ}^2}{25600} \text{ MPa}$$

$$P_{DSx} := 2.669 \cdot 10^{-4} \text{ MPa}$$

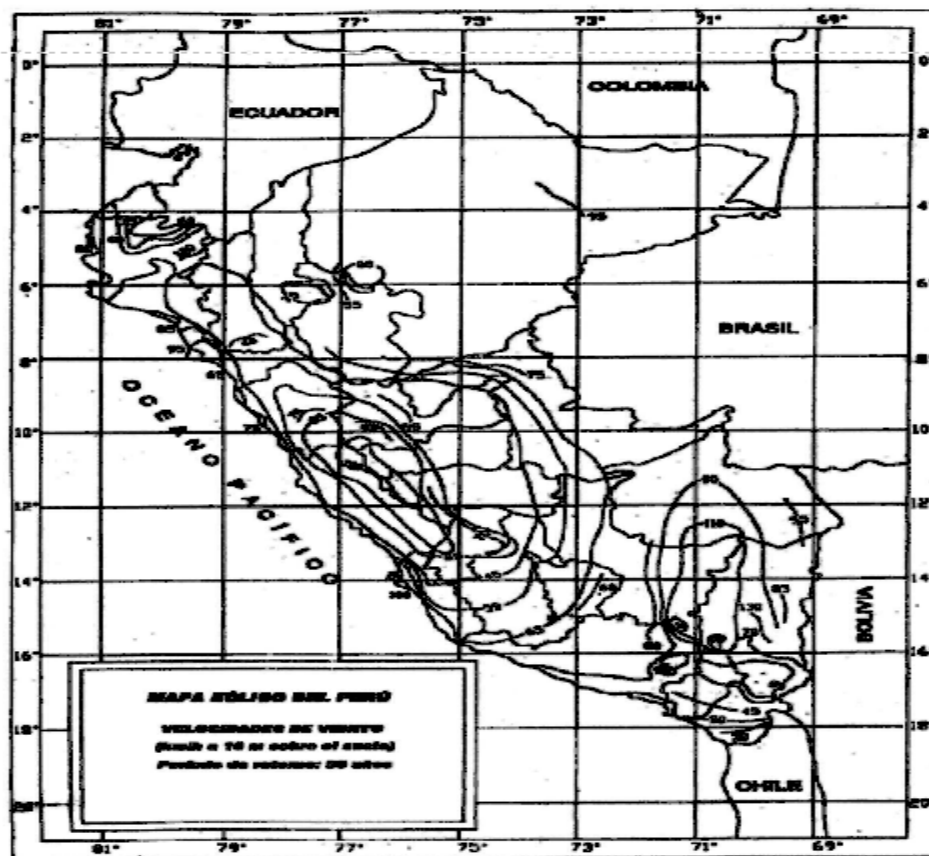
$$P_{DSx} = 27.216 \frac{1}{m^2} \cdot \text{kgf}$$

$$V_{XS} := P_{DSx} \cdot hx = 19.051 \frac{1}{m} \cdot \text{kgf}$$

PRESIÓN HORIZONTAL DE VIENTO

Las velocidades del viento que se utilizarán serán las del Mapa Eólico de la Norma Técnica de Edificación del Reglamento Nacional de Construcciones vigente.

MAPA EOLICO DEL PERU



Fuente: RNE, "Norma E 020: Cargas", pag 8

La velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la edificación (Ver Anexo 2) pero no menos de 75 Km/h.

VALORES DE LAS CONSTANTES V0 y Z0

Condición	Terreno abierto		Área Suburbana		Área urbana	
	Área Suburbana					
V ₀	8.20 mph	13.2 km/h	10.9 mph	17.6 km/h	12.00 mph	19.3 Km/h
Z ₀	0.23 ft	70 mm	3.28 ft	1000 mm	8.20 ft	2500 mm

Fuente: MTC, "Manual de puentes 2016", pag.73.

PRESION BASICA (PB) PARA UNA VELOCIDAD VB = 160 Km/h

Componente Estructural	Presión por Barlovento		Presión por Sotavento	
Reticulados, Columnas y Arcos	0.050 ksf	0,0024 MPa	0.025 ksf	0.0012 MPa
Vigas	0.050 ksf	0,0024 MPa	NA	NA
Superficies de pisos largos	0.040 ksf	0,0019 MPa	NA	NA

Fuente: MTC, "Manual de puentes 2016", pag.74.

3.7.3.- Determinación de las cargas de sismos:

Datos:

Ancho de columna: Lado de columna: Altura de torre: Ancho de vig: Longitud de viga Número de viga:

$$at := 0.70\text{m} \quad bt := 0.40\text{m} \quad ht := 6.30\text{m} \quad ct := 0.40\text{m} \quad dt := 2\text{m} \quad Nviga := 2$$

Factor de suelo: Factor de zona: Factor de uso: Factor de amplificación: Factor de reducción:

$$S := 1.20 \quad Z := 0.25 \quad U := 1.5 \quad C := 2.5 \quad R := 8$$

Altura a (ht):

$$h3 := ht = 6.3\text{m}$$

Altura a (2ht/3):

$$h2 := \frac{2ht}{3} = 4.2\text{m}$$

Altura a (ht/3):

$$h1 := \frac{ht}{3} = 2.1\text{m}$$

Diseño:

Peso de la estructura:

$$PE := \gamma_c \cdot (2 \cdot ht \cdot at \cdot bt + ct \cdot dt \cdot at \cdot Nviga) = 11155.2 \cdot \text{kgf}$$

Fuerza sísmica:

$$F_S := \left(\frac{S \cdot U \cdot C \cdot Z}{R} \right) \cdot PE = 1568.7 \cdot \text{kgf}$$

Calculo de (PEixhi) a cada tercio de la altura:

$$h3 = 6.3\text{m}$$

$$PEh_3 := \gamma_c \cdot \left(\frac{2 \cdot ht \cdot at \cdot bt}{3} + \frac{ct \cdot dt \cdot at \cdot Nviga}{3} \right) \cdot h3 = 23425.92 \text{m} \cdot \text{kgf}$$

$$h2 = 4.2\text{m}$$

$$PEh_2 := \gamma_c \cdot \left(\frac{2 \cdot ht \cdot at \cdot bt}{3} + \frac{ct \cdot dt \cdot at \cdot Nviga}{3} \right) \cdot h2 = 15617.28 \text{m} \cdot \text{kgf}$$

$$h1 = 2.1\text{m}$$

$$PEh_1 := \gamma_c \cdot \left(\frac{2 \cdot ht \cdot at \cdot bt}{3} + \frac{ct \cdot dt \cdot at \cdot Nviga}{3} \right) \cdot h1 = 7808.64 \text{m} \cdot \text{kgf}$$

$$SUMPEh := PEh_3 + PEh_2 + PEh_1 = 46851.84 \text{m} \cdot \text{kgf}$$

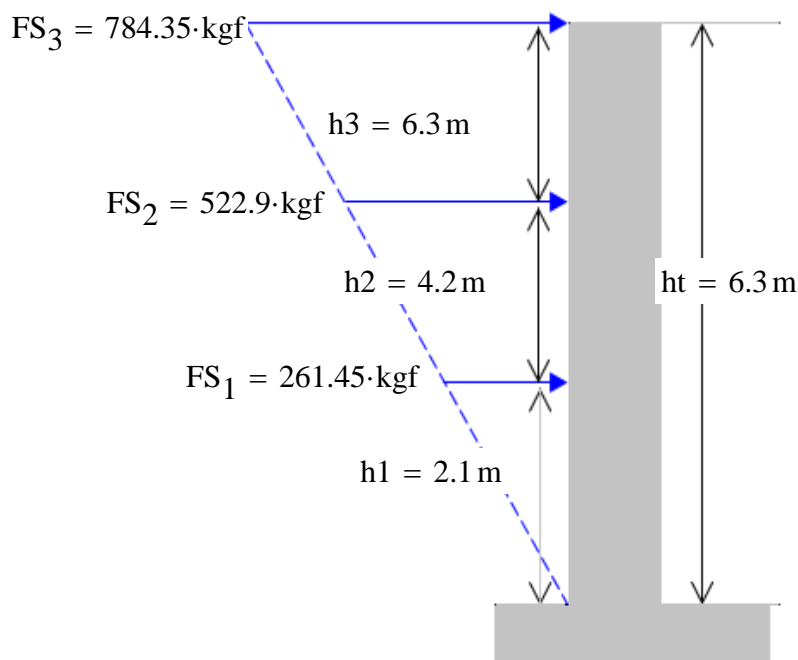
Calculo de la fuerza sísmica a cada tercio de la altura:

$$FS_3 := \left(\frac{PEh_3}{\text{SUMPEh}} \right) \cdot FS = 784.35 \cdot \text{kgf}$$

$$FS_2 := \left(\frac{PEh_2}{\text{SUMPEh}} \right) \cdot FS = 522.9 \cdot \text{kgf}$$

$$FS_1 := \left(\frac{PEh_1}{\text{SUMPEh}} \right) \cdot FS = 261.45 \cdot \text{kgf}$$

Distribución de la fuerza sísmica a cada ht/3:



Sísmo en la dirección X en cada columna:

$$FS_{3x} := \frac{FS_3}{2} = 392.175 \cdot \text{kgf}$$

$$FS_{2x} := \frac{FS_2}{2} = 261.45 \cdot \text{kgf}$$

$$FS_{1x} := \frac{FS_1}{2} = 130.725 \cdot \text{kgf}$$

Sísmo en la dirección Y en cada columna:

$$FS_{3y} := \frac{FS_3}{2} = 392.175 \cdot \text{kgf}$$

$$FS_{2y} := \frac{FS_2}{2} = 261.45 \cdot \text{kgf}$$

$$FS_{1y} := \frac{FS_1}{2} = 130.725 \cdot \text{kgf}$$

ZONAS SISMICAS DEL PERU

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: RNE, "Norma E 030: Diseño sísmoresistente", pag 5.

COEFICIENTE DE REDUCCION

Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción R_o (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos Dual	8
De muros estructurales	7
Muros de ductilidad limitada	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albanilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: RNE, "Norma E 030: Diseño sísmoresistente", pag 9.

PARAMETROS DE SITIO

ZONA	SUELO	FACTOR DE SUELO "S"			
		S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4		0,80	1,00	1,05	1,10
Z_3		0,80	1,00	1,15	1,20
Z_2		0,80	1,00	1,20	1,40
Z_1		0,80	1,00	1,60	2,00

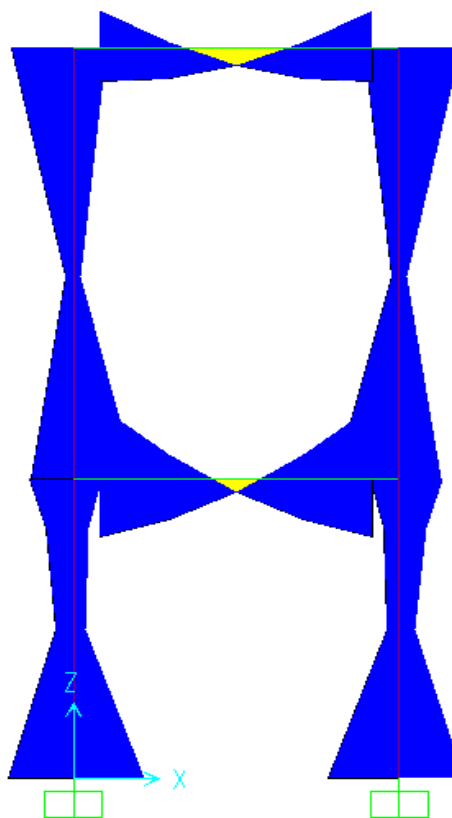
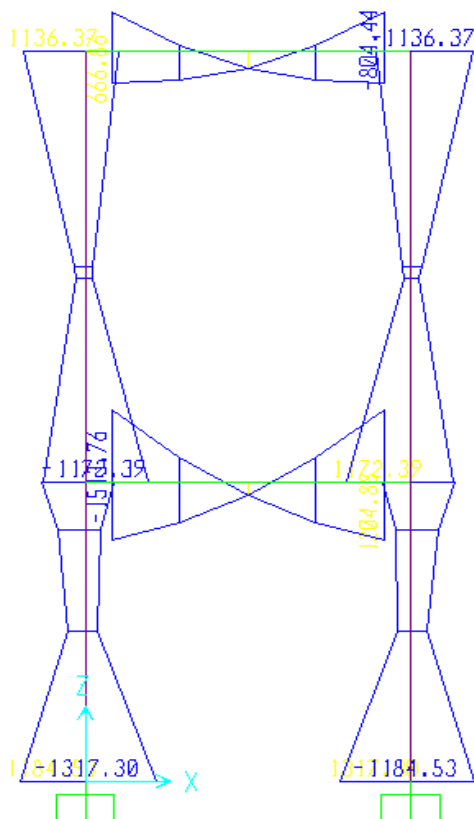
	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: RNE, "Norma E 030: Diseño sísmoresistente", pag 7.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud .	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como:	1,5

Fuente: RNE, "Norma E 030: Diseño sísmoresistente", pag 7.

Momento máximo en la torre:



3.7.1.-DISEÑO DE COLUMNAS - DIAGRAMA DE INTERACCION

Datos:

Base de columna:

$$b := 40\text{cm}$$

Factor de minoración:

$$\phi := 0.65$$

Altura de columna:
(perpendicular al eje de flexión)

$$h := 70\text{cm}$$

Resistencia del concreto:

$$f_c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Deformación unitaria del concreto:

$$\epsilon_u := 0.003$$

Recubrimiento de columna:

$$\text{rec} := 4\text{cm}$$

Resistencia del acero:

$$F_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Deformación unitaria del acero:

$$\epsilon_{ty} := 0.002$$

Area de columna:

$$A_g := b \cdot h$$

$$A_g = 2800 \cdot \text{cm}^2$$

Módulo de elasticidad del acero:

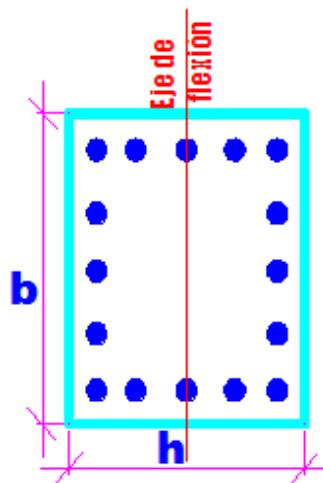
$$E_s := 2100000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Matriz de distribución de las barra barras:

$$\text{barras} := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ in}$$

$$\text{barras} = \begin{pmatrix} 2.54 & 2.54 & 2.54 & 2.54 & 2.54 \\ 2.54 & 0 & 0 & 0 & 2.54 \\ 2.54 & 0 & 0 & 0 & 2.54 \\ 2.54 & 0 & 0 & 0 & 2.54 \\ 2.54 & 2.54 & 2.54 & 2.54 & 2.54 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}$$

Distribución de las barras en la columna:



Diseño:

3.7.1.1.-Número de columnas de refuerzo:

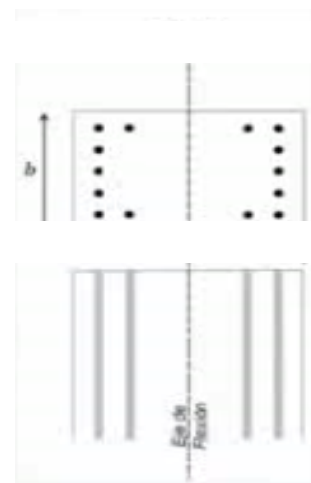
$$n := \text{cols}(\text{barras}) = 5$$

$$k := \text{rows}(\text{barras}) = 5$$

3.7.1.2.-Area de cada barra de acero en forma de matriz:

$$A_{s0} := \left(\pi \cdot \frac{\text{barras}^2}{4} \right)$$

$$\begin{pmatrix} 5.067 & 5.067 & 5.067 & 5.067 & 5.067 \\ 5.067 & 0 & 0 & 0 & 5.067 \\ 5.067 & 0 & 0 & 0 & 5.067 \\ 5.067 & 0 & 0 & 0 & 5.067 \\ 5.067 & 5.067 & 5.067 & 5.067 & 5.067 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}^2$$

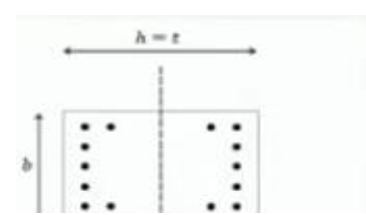


3.7.1.3.-Area de cada fila de barras que momenta:

$$i := 1..n$$

$$A_{sf} := \sum_{i=1}^n A_{s0}^{(i)}$$

$$\begin{pmatrix} 25.335 \\ 10.134 \\ 10.134 \\ 10.134 \\ 25.335 \end{pmatrix} \cdot \text{cm}^2$$



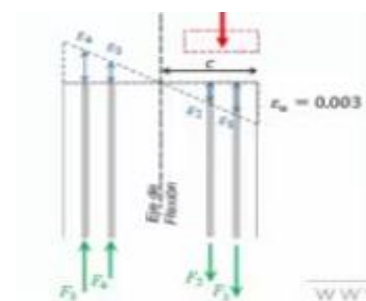
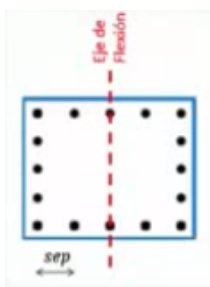
3.7.1.4.-Area total del acero de refuerzo y cuantía:

$$A_{st} := \sum_{i=1}^n A_{sf_i}$$

$$A_{st} = 81.073 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rho := \frac{A_{st}}{A_g} \cdot 100$$

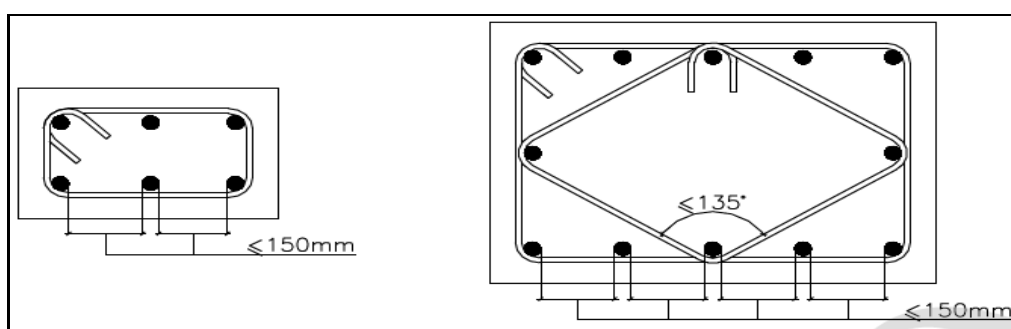
$$\rho = 2.895$$



DIAMETRO Y AREAS DE VARRAS DE CONSTRUCCION

Varilla	Diámetro		Perímetro		Peso		AREA EN cm ² SEGÚN NÚMERO DE VARRILLAS								
	#	pulg.	cm	cm	kg/m	kg/var.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	1/4	0.64	1.99	0.25	2.25	0.32	0.63	0.95	1.27	1.58	1.90	2.22	2.53	2.85	3.17
3	3/8	0.95	2.99	0.56	5.03	0.71	1.43	2.14	2.85	3.56	4.28	4.99	5.70	6.41	7.12
4	1/2	1.27	3.99	0.99	8.94	1.27	2.53	3.80	5.07	6.33	7.60	8.87	10.13	11.40	12.67
5	5/8	1.59	4.99	1.55	13.97	1.98	3.96	5.94	7.92	9.90	11.88	13.86	15.83	17.81	19.78
6	3/4	1.91	5.98	2.24	20.12	2.85	5.70	8.55	11.40	14.25	17.10	19.95	22.80	25.65	28.50
7	7/8	2.22	6.98	3.04	27.38	3.88	7.76	11.64	15.52	19.40	23.28	27.16	31.04	34.92	38.80
8	1	2.54	7.98	3.97	35.76	5.07	10.13	15.20	20.27	25.34	30.40	35.47	40.54	45.61	50.68
9	1 1/8	2.86	8.98	5.03	45.25	6.41	12.83	19.24	25.65	32.07	38.48	44.89	51.30	57.71	64.12
10	1 1/4	3.18	9.97	6.21	55.86	7.92	15.83	23.75	31.67	39.59	47.50	55.42	63.34	71.26	79.17
11	1 3/8	3.49	10.97	7.51	67.60	9.58	19.16	28.74	38.32	47.90	57.48	67.06	76.64	86.22	95.80
12	1 1/2	3.81	11.97	8.94	80.44	11.40	22.80	34.20	45.60	57.00	68.40	79.80	91.20	102.60	114.00

SEPARACION MAXIMA DE BARRAS



Fuente: SENSICO, RNE, "Norma E 060: Concreto armado", pag 58.

3.7.1.6.-Creación del vector "d" con la ubicación de las filas de acero:

$$i := 2..n$$

$$d_i := d_{i-1} + sep$$

$$\left(5.27 \right)$$

$$20.135$$

$$d = 35 \cdot cm$$

$$49.865$$

$$\left(64.73 \right)$$

3.7.1.7.- Fuerza máxima que resiste la columna:

3.7.1.7.1.-Caso de compresión pura:

$$P_0 := 0.85 \cdot f_c \cdot (A_g - A_{st}) + F_y \cdot A_{st}$$

$$P_0 = 825.836 \cdot tonnef$$

$$\phi P_{max} := \phi \cdot 0.80 \cdot P_0 = 429.435 \cdot tonnef$$

Para $e = 0 \rightarrow$ Compresión Pura

$$P_0 = 0.85 \cdot f_c' \cdot A_c + \left(\sum A_{st} \right) \cdot F_y$$

Donde,
 A_c : Área de concreto

$$A_c = (b \cdot h) - \sum A_{st}$$

Capacidad de la columna a compresión:
 $P_{n,max} = Coef \cdot P_0$

Coef = 0.80 para columnas sin zunchar
 Coef = 0.85 para columnas zunchadas

3.7.1.7.2.-Caso de compresión y flexión:

$$\beta_1 := \max \left(\min \left(0.85, 1.05 - \frac{f_c}{1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right), 0.65 \right)$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$c(a) := \frac{a}{\beta_1}$$

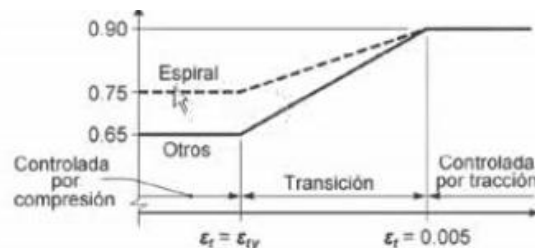


Fig. R21.2.2(b) — Variación de ϕ con la deformación unitaria neta de tracción en el acero extremo a tracción ϵ_t .

* **Esfuerzo en cada fila de acero:**

Negativo - Tracción

Positivo - Compresión

$$f_s(i, a) := \begin{cases} \epsilon_s \leftarrow \epsilon_u \cdot \frac{c(a) - d_i}{c(a)} \\ \text{sign}(\epsilon_s) \min(E_s \cdot \epsilon_s, F_y) \end{cases}$$

$$\frac{\epsilon_{si}}{c - d_t} = \frac{0.003}{c}$$

$$f_s(1, 33.012\text{cm}) = 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Evaluar valores de "i" y "a"

A.- Fuerza nominal que resiste la columna:

A.1).-Caso de compresión pura:

$$P_{\max} := \frac{\phi \cdot 0.80P_0}{\phi} = 660.669 \cdot \text{tonnef}$$

Punto de falla balanceada

$$C = 0.6d$$

$$d := h - d_1 = 64.73 \cdot \text{cm}$$

$$d = h - d_1$$

$$C := 0.6 \cdot d = 38.838 \cdot \text{cm}$$

$$a = C\beta_1$$

$$a := C \cdot \beta_1 = 33.012 \cdot \text{cm}$$

fs(i,a) : Esfuerzo en cada fila de barra

i: Numero de fila de acero

a: Altura de bloque normal de compresión

c: Punto de falla balanceada

*** Factor de minoración:**

$$d_t := \max(d)$$

$$d_t = 64.73 \cdot \text{cm}$$

$$\phi(a) := \begin{cases} \varepsilon_t \leftarrow \varepsilon_u \cdot \frac{c(a) - d_t}{c(a)} \\ \phi \leftarrow \max \left(\min \left(0.90, 0.65 + 0.25 \cdot \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{ty}}{0.005 - \varepsilon_{ty}} \right), 0.65 \right) \end{cases}$$

$$\phi(33.012\text{cm}) = 0.65$$

Evaluar valores de "a"

*** Capacidad axial minorada de la columna:**

$$\phi P_n(a) := \frac{\min \left[\phi(a) \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b + \sum_{i=1}^n \left(A_{sf_i} \cdot f_s(i, a) \right), \phi P_{\max} \right]}{\text{tonnef}}$$

$$\phi P_n(33.012\text{cm}) = 165.512 \text{ tonnef}$$

Evaluar valores de "a"

*** Momento resistente minorado:**

Positivo - Momento horario
Negativo - Momento antihorario

$$\phi M_n(a) := \frac{\phi(a) \cdot \left[0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n \left[A_{sf_i} \cdot f_s(i, a) \cdot \left(\frac{h}{2} - d_i \right) \right] \right]}{\text{tonnef} \cdot \text{m}}$$

$$\phi M_n(33.012\text{cm}) = 74.183 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Evaluar valores de "a"

B.- Caso de compresión y flexión:

B.1).- Capacidad axial nominal de la columna:

$$P_n(a) := \frac{\min \left[\frac{\phi(a) \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b + \sum_{i=1}^n \left(A_{sf_i} \cdot f_s(i, a) \right)}{\phi(a)}, P_{\max} \right]}{\text{tonnef}}$$

P_n(33.012cm) = 254.632 tonnef

B.2).- Momento resistente nominal:

$$M_n(a) := \frac{\phi(a) \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n \left[A_{sf_i} \cdot f_s(i, a) \cdot \left(\frac{h}{2} - d_i \right) \right]}{\phi(a) \text{ tonnef} \cdot \text{m}}$$

M_n(33.012cm) = 114.127 tonnef·m

*** El rango de valores de "a":**

$$a := 0, \frac{h}{100} \dots h$$

a =

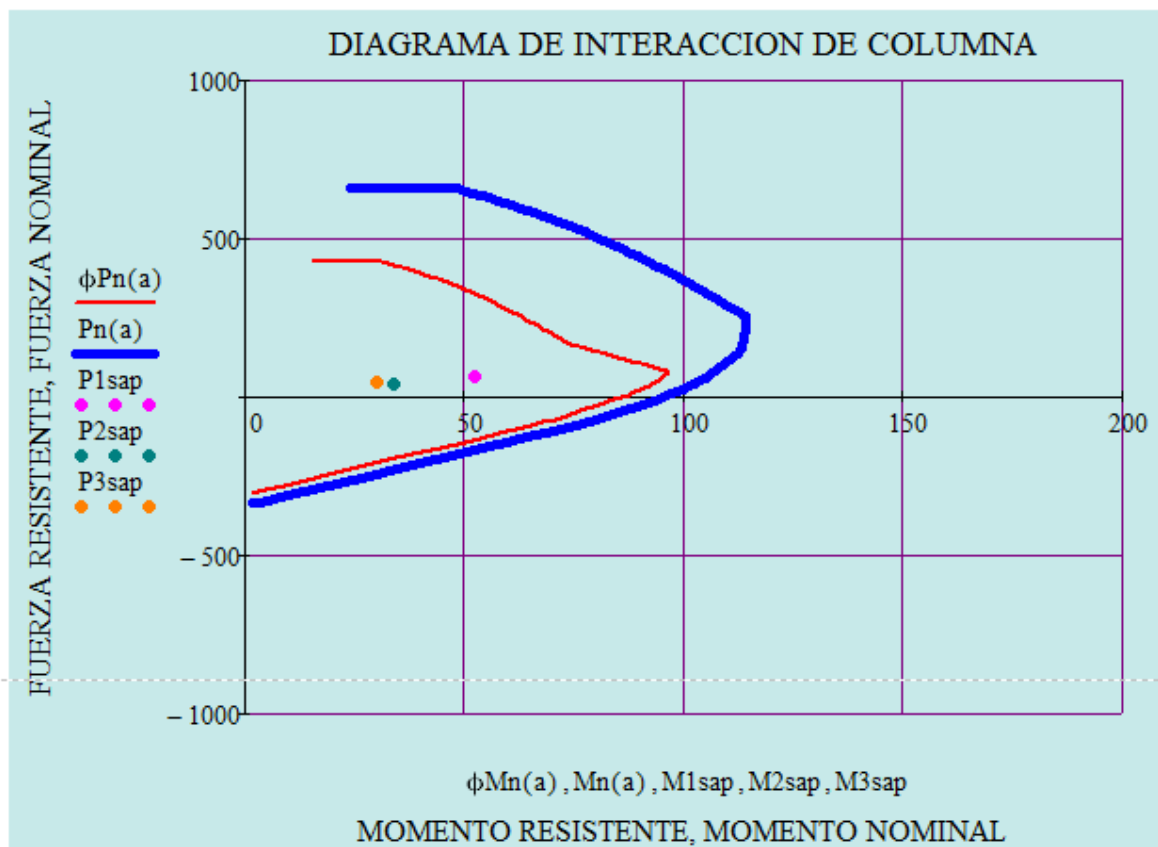
0
0.7
1.4
2.1
2.8
3.5
4.2
4.9
5.6
...

·cm

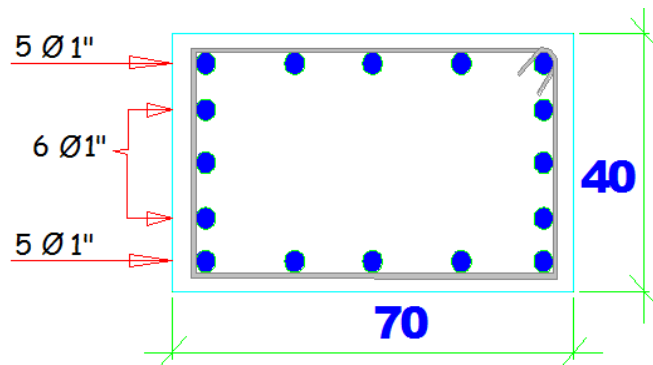
3.7.1.9.-Solicitaciones de flexión y carga axial mayoradas, provenientes del programa de análisis estructural - SAP 2000 :

P1sap := 68.37	tonnef	M1sap := 52.49	tonnef·m
P2sap := 44.52	tonnef	M2sap := 33.84	tonnef·m
P3sap := 46.61	tonnef	M3sap := 30.07	tonnef·m

3.7.1.10.-Diagrama de interacción de columna:



Seccion de columna



3.7.2 .- DISEÑO DE VIGAS

Datos:

Base de viga: $b_v := 0.70\text{m}$ Resistencia del concreto: $f_c = 210 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ Resistencia de acero: $F_y = 4200 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ Factor de reducción: $\phi_v := 0.90$

Altura de viga: $h_v := 0.40\text{m}$ Distancia efectiva aproximada: $d_v := h_v - 5\text{cm} = 35\text{-cm}$ Coeficiente: $\beta_{1.} := 0.85$

Diseño:

Cuantía balanceada:

$$\rho_{\text{balan}} := \beta_{1.} \cdot 0.85 \cdot \frac{f_c \cdot \left(\frac{6000}{6000 + 4200} \right)}{F_y} = 0.021$$

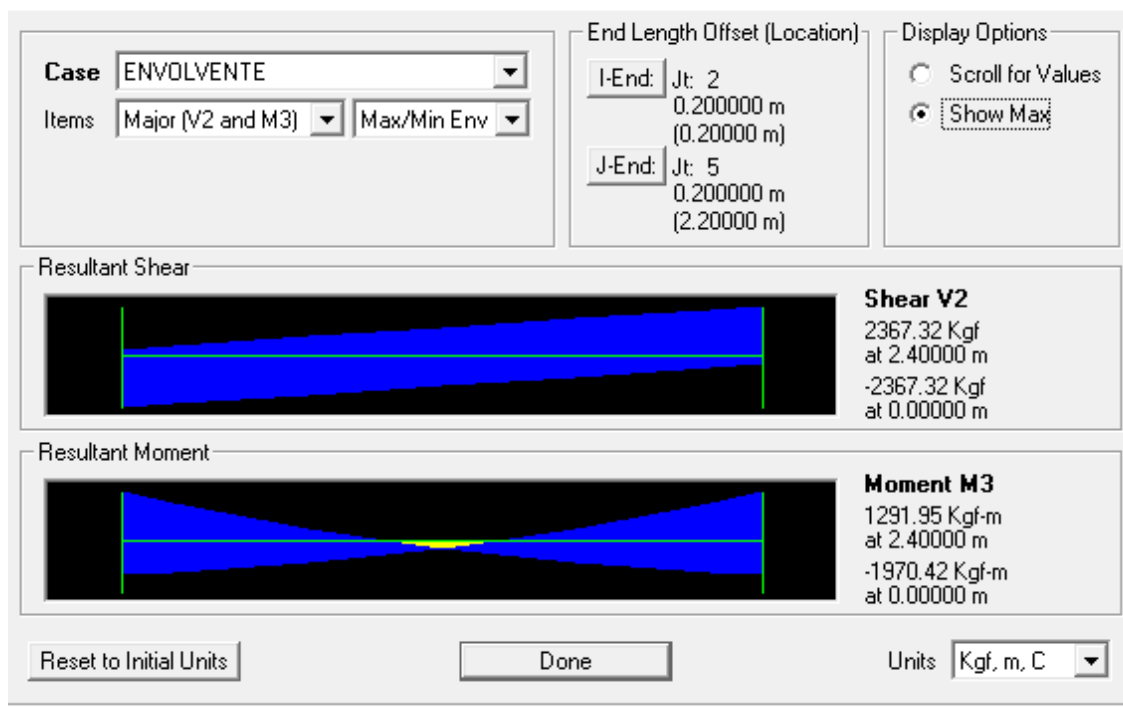
Acero mínimo:

$$A_{s_{\text{min1}}} := \frac{0.70 \cdot \sqrt{210} \cdot b_v \cdot d_v}{4200} = 5.917 \cdot \text{cm}^2 \qquad A_{s_{\text{min2}}} := \frac{14}{4200} \cdot b_v \cdot d_v = 8.167 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{\text{mínimo}} := \max(A_{s_{\text{min1}}}, A_{s_{\text{min2}}}) = 8.167 \cdot \text{cm}^2$$

Acero máximo:

$$A_{s_{\text{max}}} := 0.75 \cdot \rho_{\text{balan}} \cdot b_v \cdot d_v = 39.047 \cdot \text{cm}^2$$



3.7.2.1.-Cálculo de acero en compresión (asero negativo):

Mometo calculado con SAP 2000:

$\mu := 1970.42 \text{kgf}\cdot\text{m}$

$$A_{s_{neg}} := \frac{1.7 \cdot \phi_v \cdot f_c \cdot b_v \cdot d_v \cdot F_y - \sqrt{(1.7 \cdot \phi_v \cdot F_y \cdot d_v \cdot f_c \cdot b_v)^2 - 6.8 \cdot \phi_v \cdot F_y^2 \cdot f_c \cdot b_v \cdot \mu}}{2 \cdot \phi_v \cdot F_y^2} = 1.5 \cdot \text{cm}^2$$

As de acero asumido:

$\phi_{Asero.} := \frac{3}{4}$

$A_{s_{asumido}} = 2.85$

$A_{s_{asumido}} := 2.85 \text{cm}^2$

Número de acero:

$N^\circ := 4$

$USAR := N^\circ = 4$

Acero de diseño:

$A_{s_{neg}} := A_{s_{asumido}} \cdot N^\circ = 11.4 \cdot \text{cm}^2$

$A_{S_{usar}} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } A_{s_{neg}} > \max(A_{s_{neg}}, A_{\text{minimo}}) \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$

REFUERZO		
Diámetro		Area(cm2)
pulg.	cm	1
1/4	0.64	0.32
3/8	0.95	0.71
1/2	1.27	1.27
5/8	1.59	1.98
3/4	1.91	2.85
7/8	2.22	3.88
1	2.54	5.07
1 1/8	2.86	6.41

$USAR = 4 \quad \phi_{Asero.} = \frac{3}{4}$



3.7.2.2.-Cálculo de acero en flexión (asero positivo):

Momento calculado con SAP 2000:

$M_u := 1291.95 \text{kgf} \cdot \text{m}$

$$A_{s_{\text{pos}}} := \frac{1.7 \cdot \phi_v \cdot f_c \cdot b_v \cdot d_v \cdot F_y - \sqrt{(1.7 \cdot \phi_v \cdot F_y \cdot d_v \cdot f_c \cdot b_v)^2 - 6.8 \cdot \phi_v \cdot F_y^2 \cdot f_c \cdot b_v \cdot M_u}}{2 \cdot \phi_v \cdot F_y^2} = 0.981 \cdot \text{cm}^2$$

As de acero asumido:

$\phi_{\text{Asero}} := \frac{3}{4}$

$A_{s_{\text{post}}} = 2.85$

$A_{s_{\text{positivo}}} := 2.85 \text{cm}^2$

Número de acero:

$N^\circ := 4$

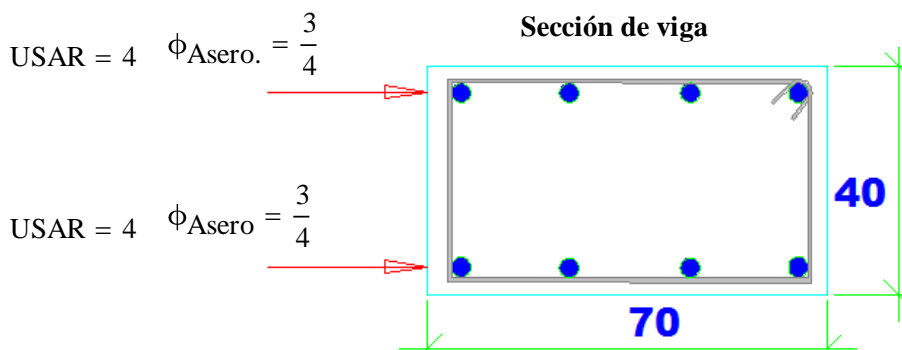
$\text{USAR} := N^\circ = 4$

REFUERZO		
Diámetro		Area (cm2)
pulg.	cm	1
1/4	0.64	0.32
3/8	0.95	0.71
1/2	1.27	1.27
5/8	1.59	1.98
3/4	1.91	2.85
7/8	2.22	3.88
1	2.54	5.07
1 1/8	2.86	6.41

$A_{s_{\text{post}}} := A_{s_{\text{positivo}}} \cdot N^\circ = 11.4 \cdot \text{cm}^2$

$A_{S_{\text{usar}}} := \begin{cases} \text{"CUMPLE"} & \text{if } A_{s_{\text{post}}} > \max(A_{s_{\text{pos}}}, A_{\text{minimo}}) \\ \text{"NO CUMPLE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"CUMPLE"}$

$\text{USAR} = 4 \quad \phi_{\text{Asero}} = \frac{3}{4}$



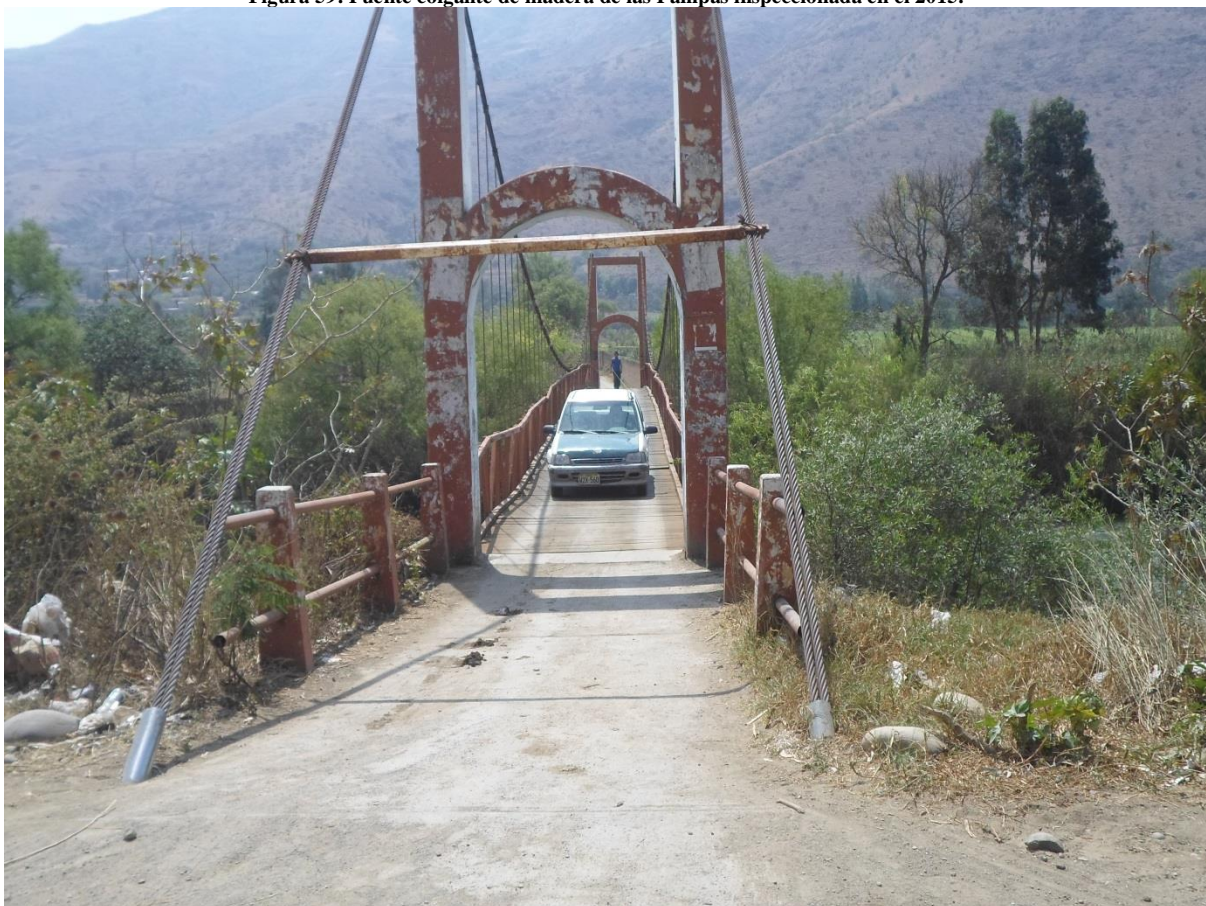
ANEXO B: VISTA DEL PUENTE COLGANTE DE LAS PAMPAS

Figura 58: Vista panorámica del puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio

Figura 59: Puente colgante de madera de las Pampas inspeccionada en el 2015.



Fuente: Propio

Figura 60: Puente colgante de madera de las Pampas inspeccionada en el 2017.



Fuente: Propio

Figura 61: Circulación de vehículos por el puente colgante de madera de las Pampas.



Fuente: Propio

Figura 62: Circulación de motos lineales por el puente colgante de madera de las Pampas.

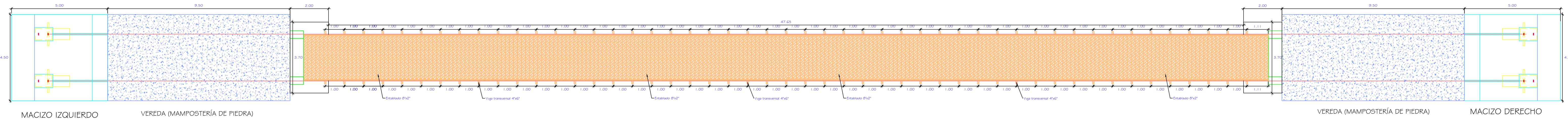


Fuente: Propio

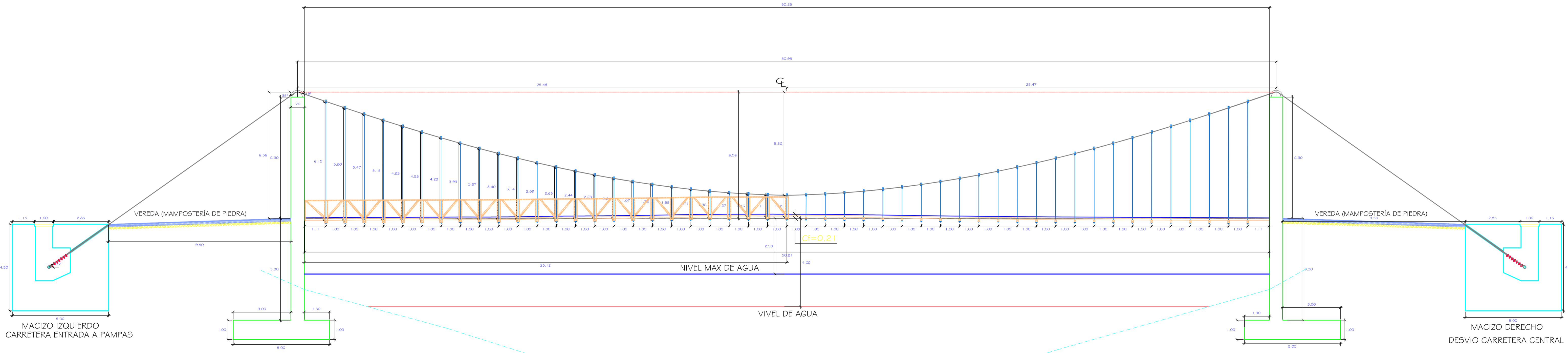
Figura 63: Puente colgante de madera de las Pampas inspeccionada en el 2018.



ANEXO C: PLANO DEL PUENTE COLGANTE

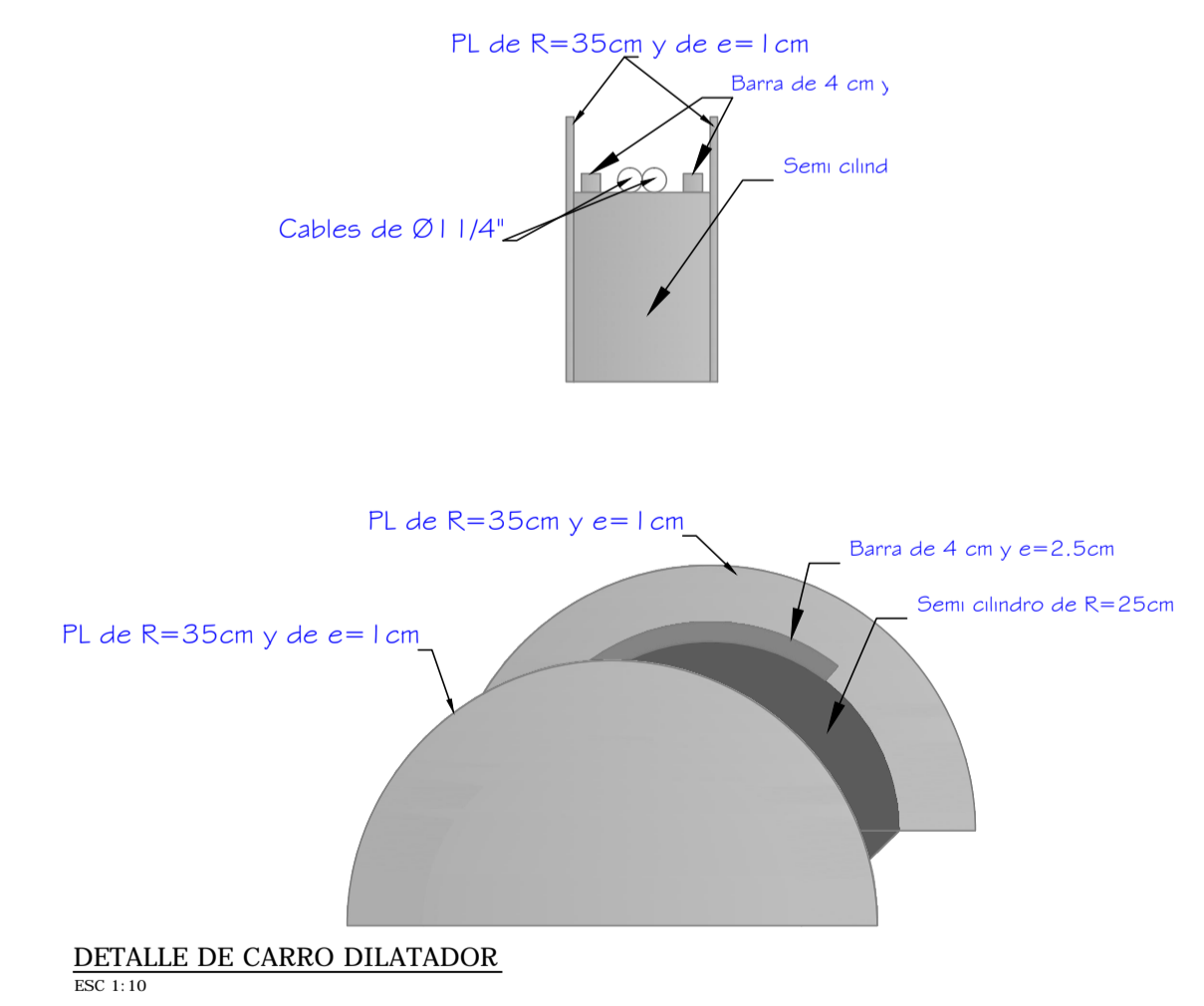
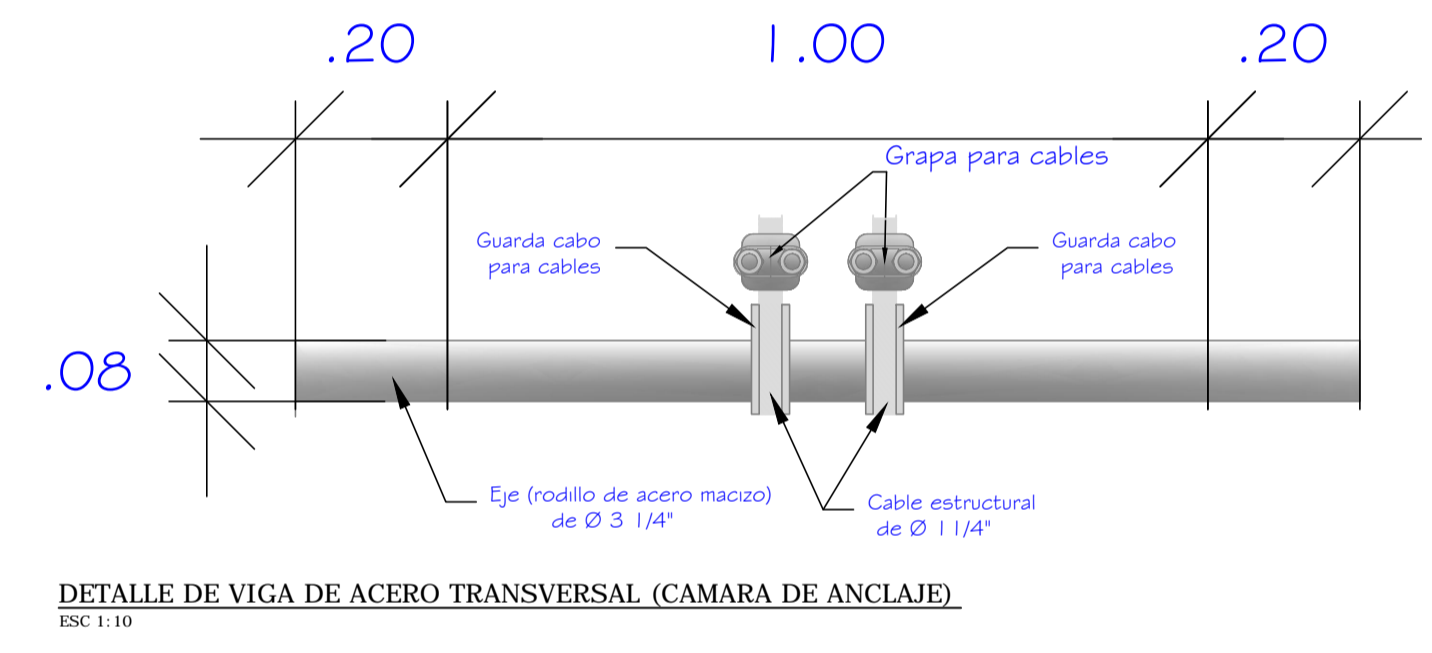
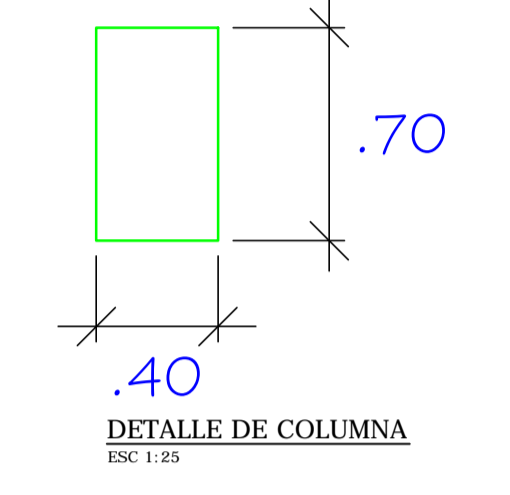
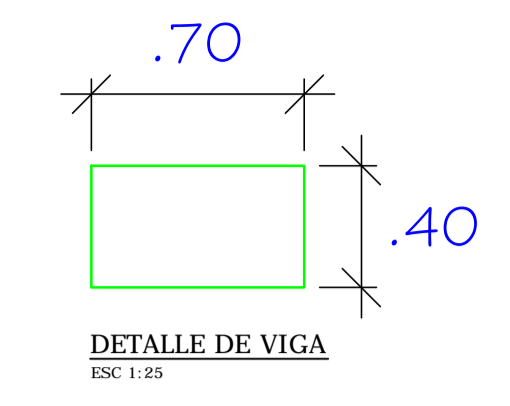
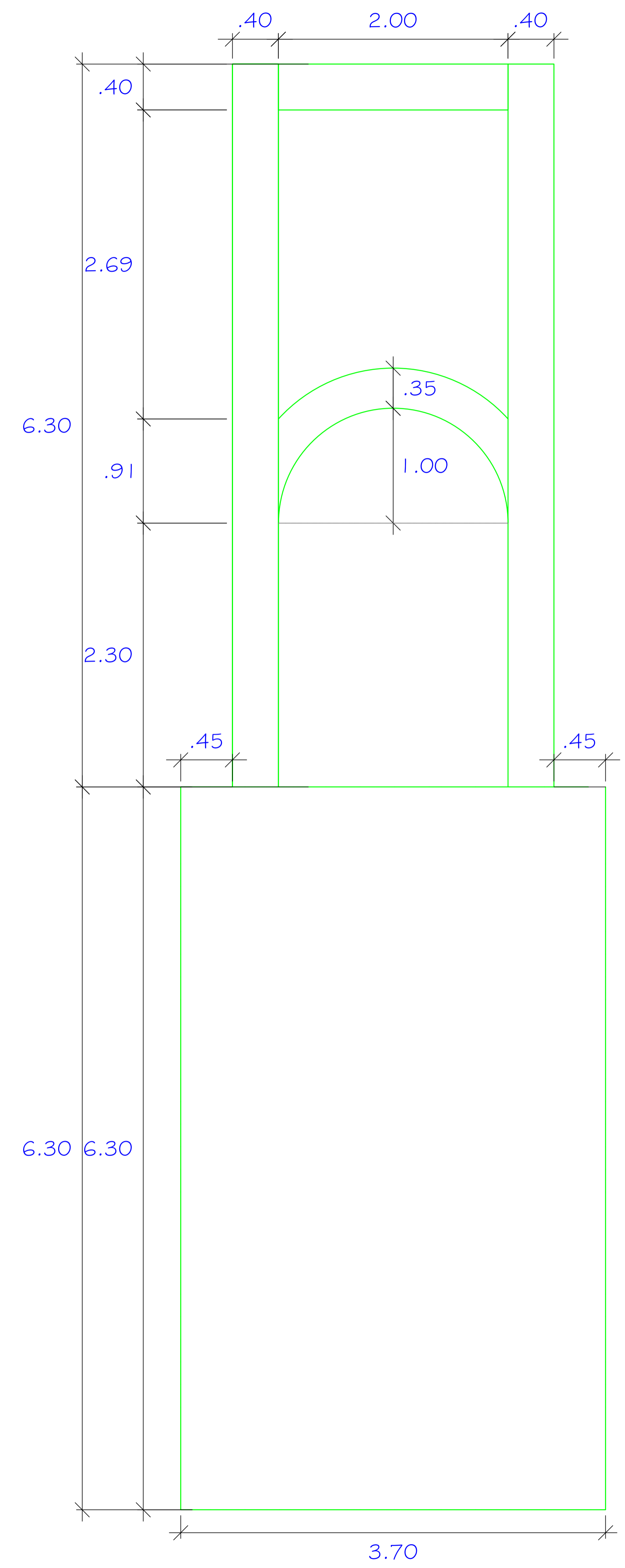
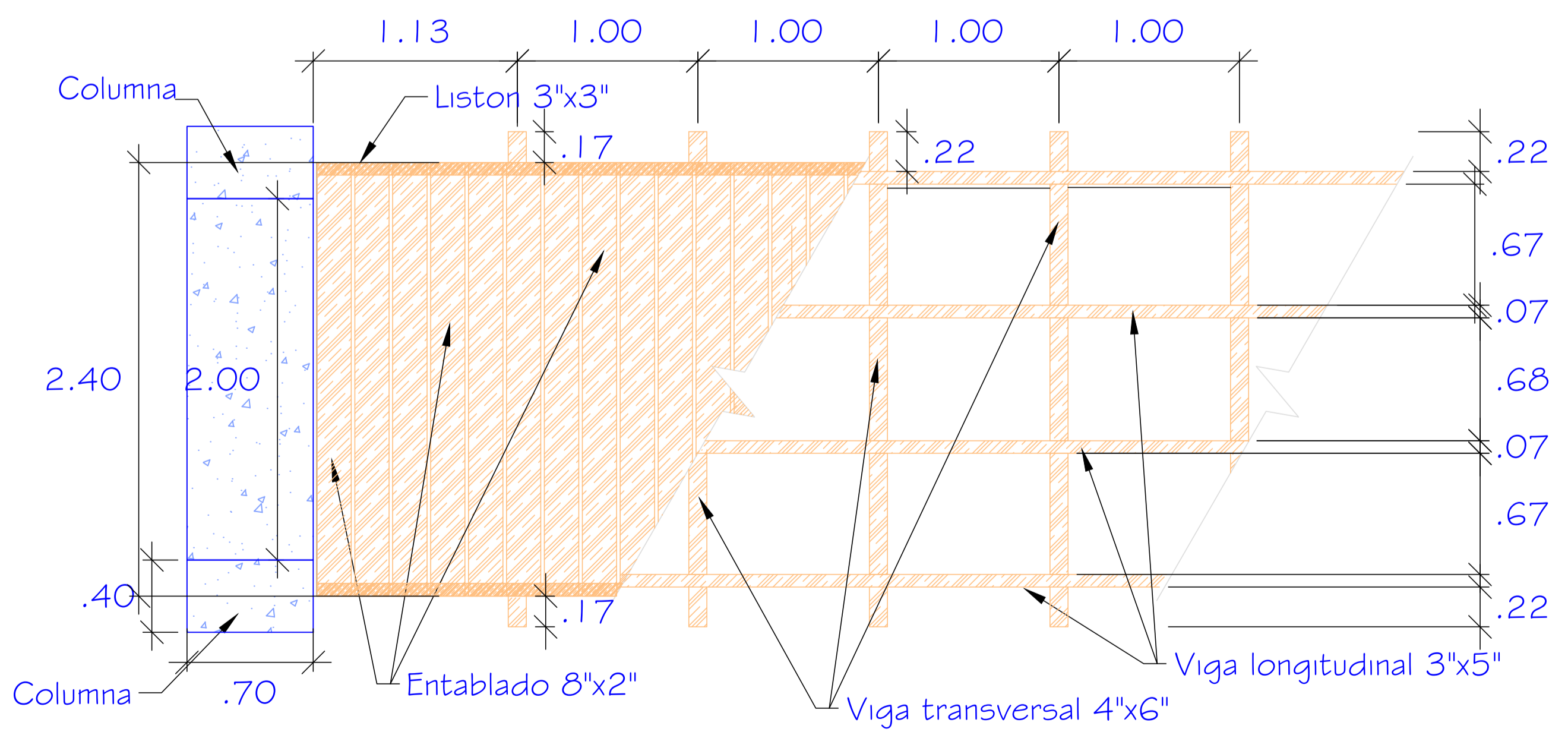
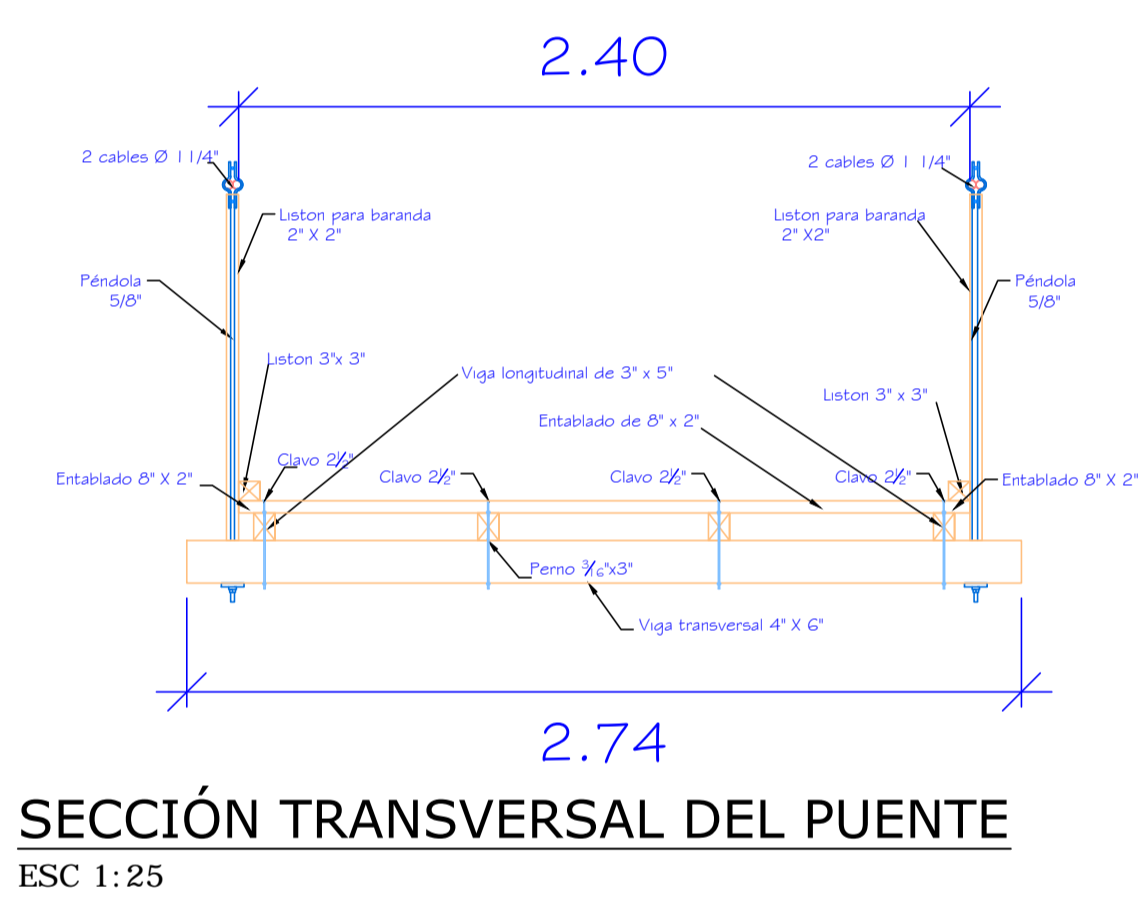
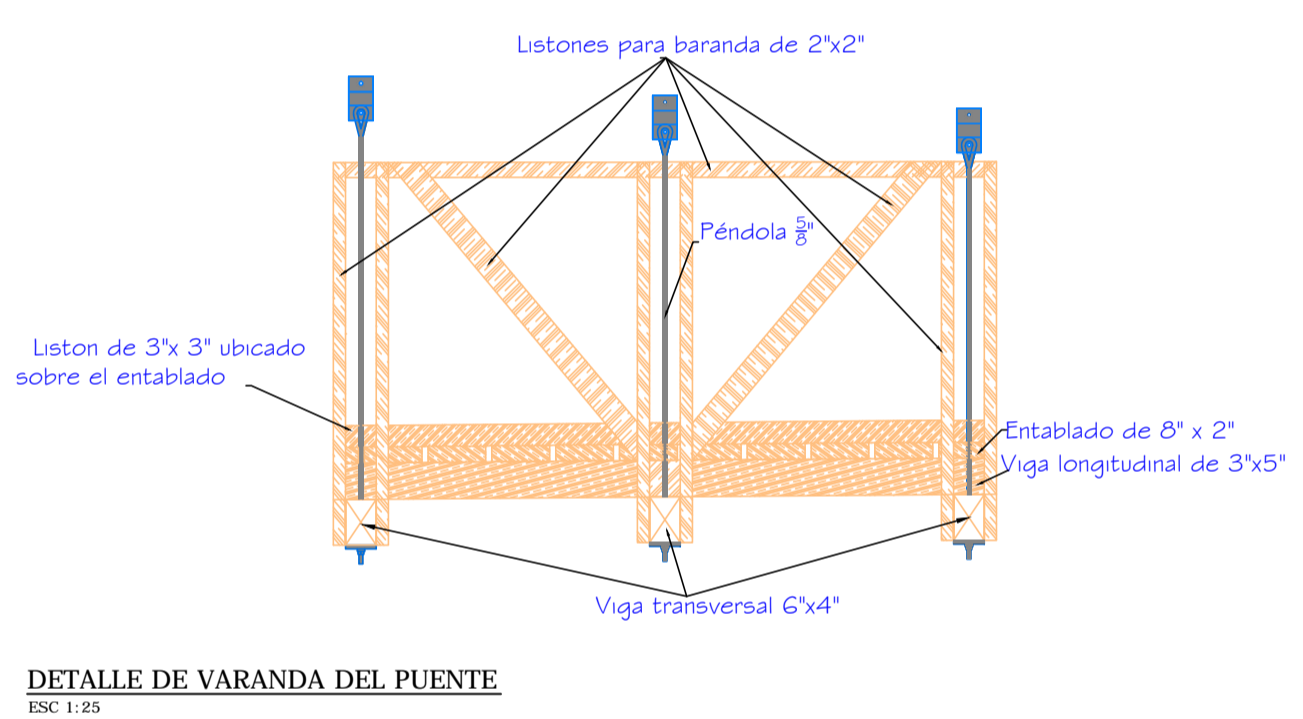
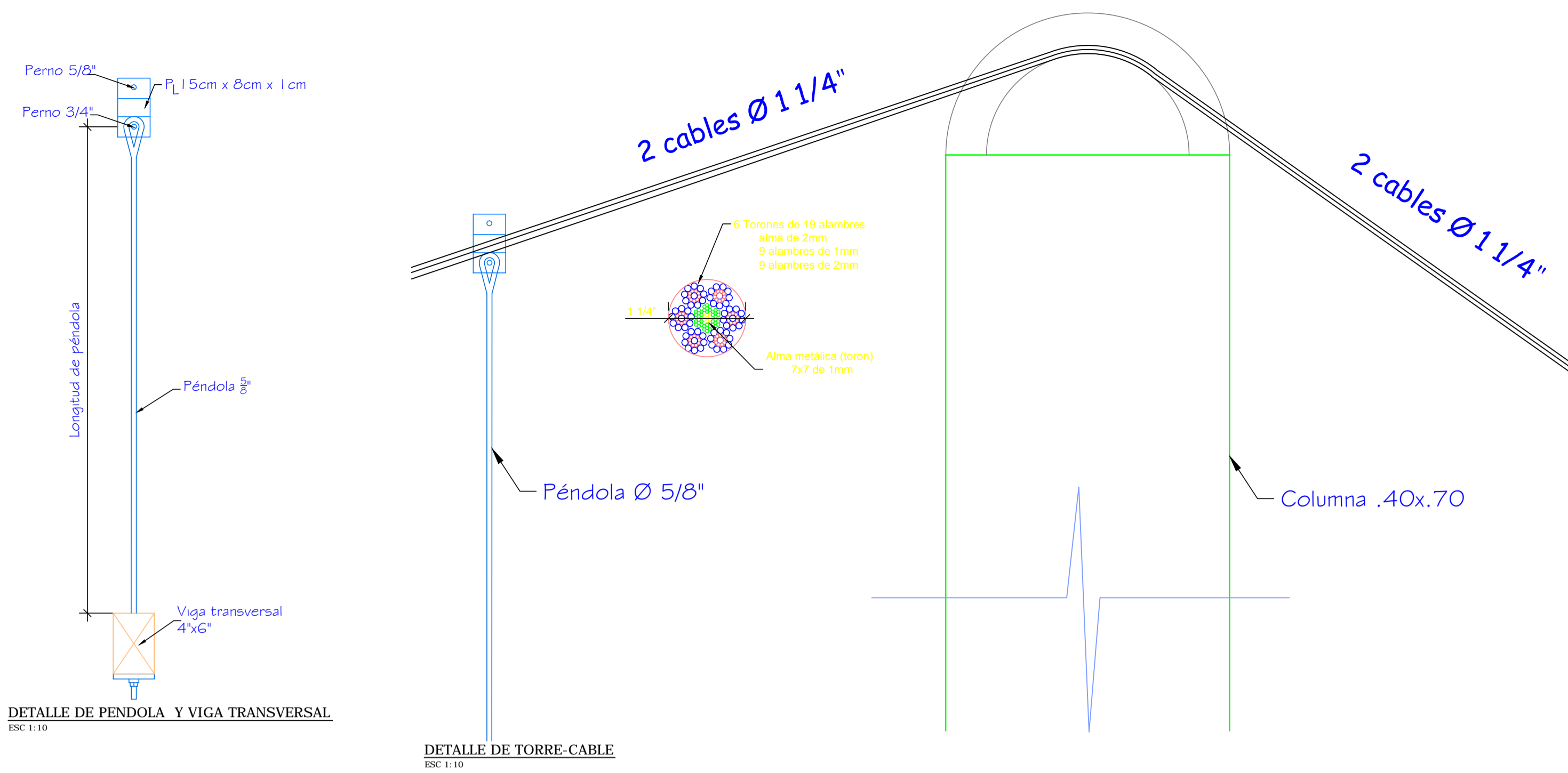


PLANTA GENERAL DEL PUENTE
ESC 1:400



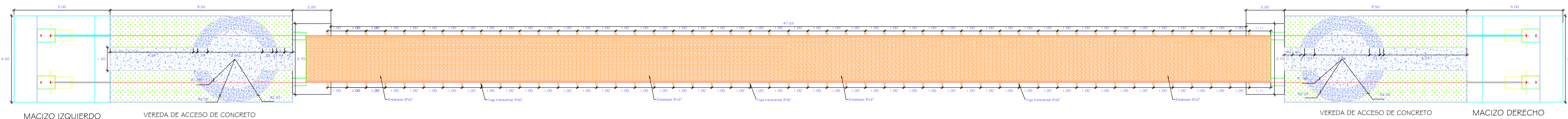
PERFIL LONGITUDINAL DEL PUENTE
ESC 1:400

PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS			
TESIS: "REHABILITACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS"			
PLANO: PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL DEL PUENTE COLGANTE PEATONAL			
TESISTA: TACUCHE LEANDRO MIRIAM	LOCALIDAD: LAS PAMPAS	DISTRITO: TOMAY KICHWA	LAMINA: A-01
ASESOR: ING. TORRES RAMIREZ, MOISES	PROVINCIA: AMBO	DEPARTAMENTO: HUANUCO	
DIBUJO: MTL	ESCALA: INDICADA		

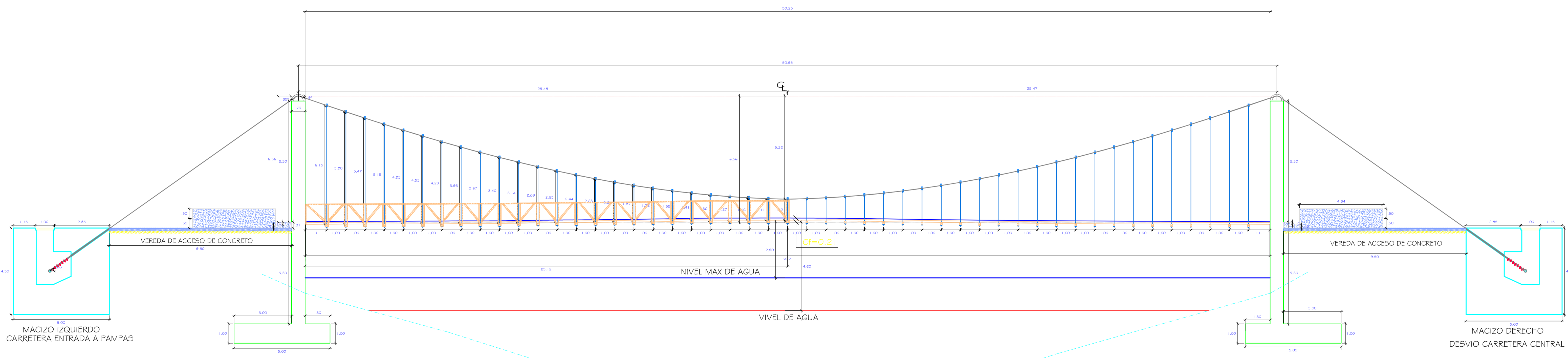


PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS			
TESIS: "REHABILITACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS"			
PLANO: DETALLES DEL PUENTE COLGANTE PEATONAL			
TESISTA:	TACLUCHE LEANDRO, MIRIAM	LOCALIDAD:	LAS PAMPAS
ASESOR:	ING. TORRES RAMIREZ, MOISES	DISTRITO:	TOMAY KICHWA
DIBUJO:	MTL	DEPARTAMENTO:	HUANUCO
ESCALA:			INDICADA
LAMINA:			A-02

ANEXO D: PLANO DEL PUENTE COLGANTE REHABILITADO

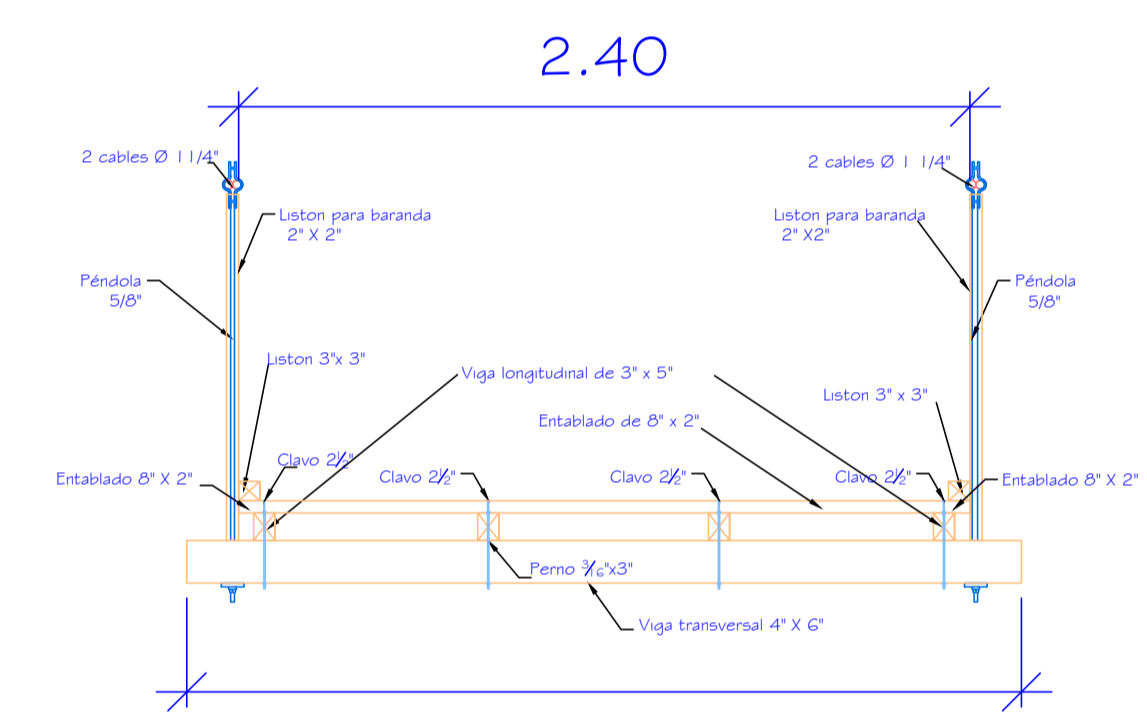
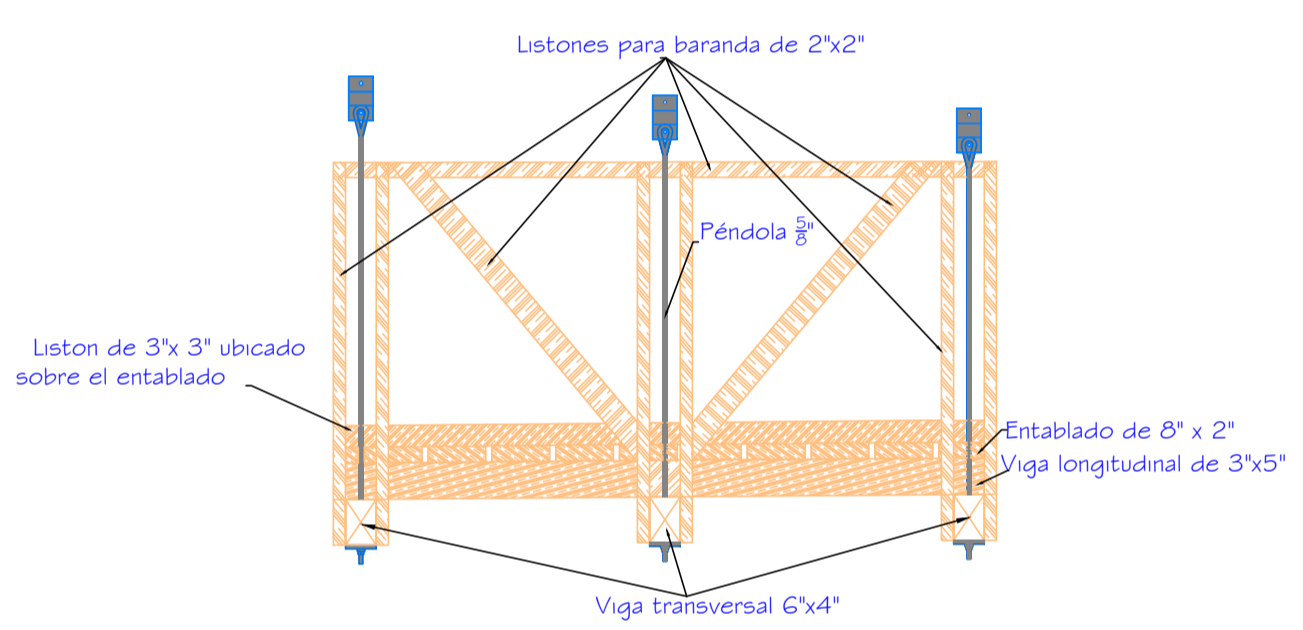
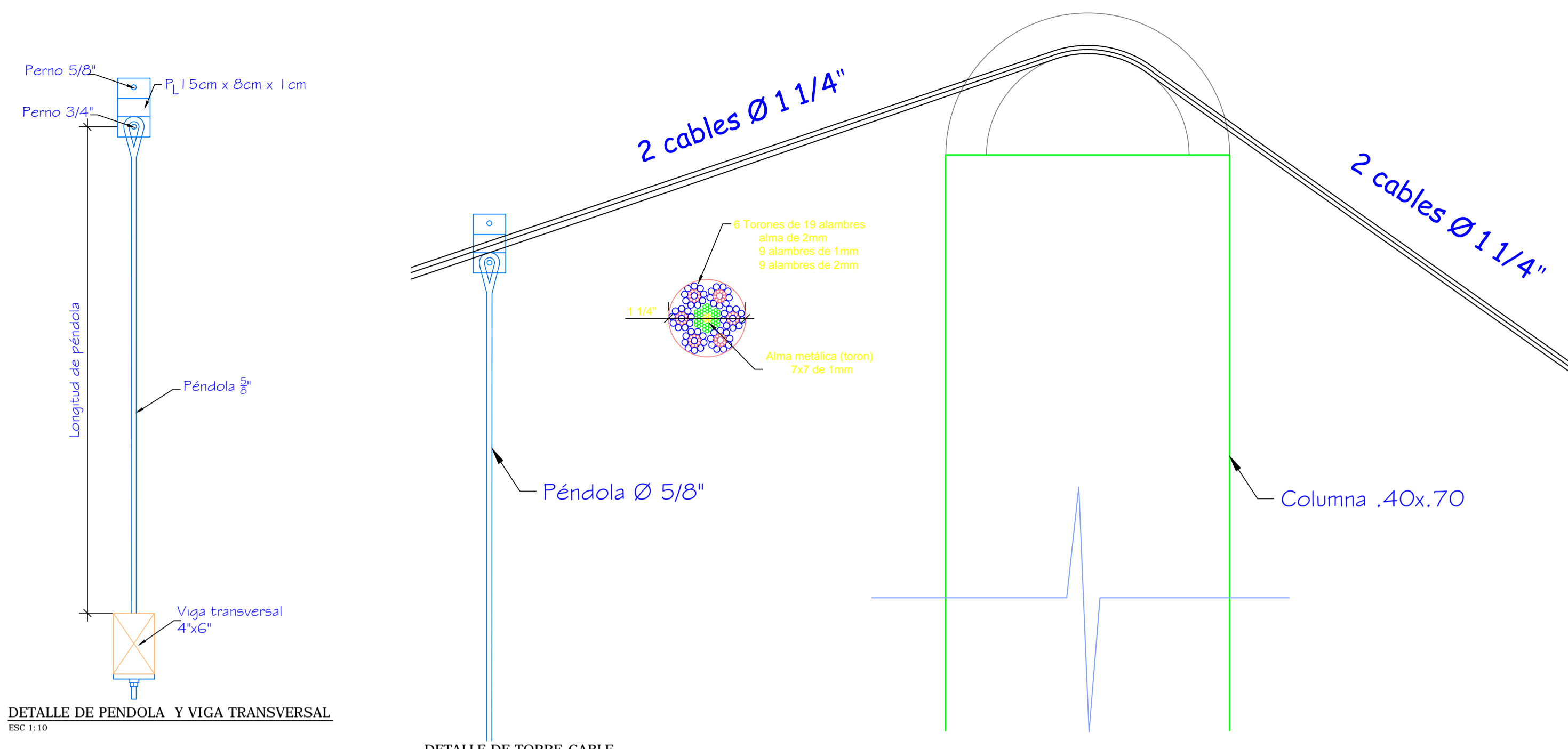


PLANTA GENERAL DEL PUENTE
ESC: 1:400

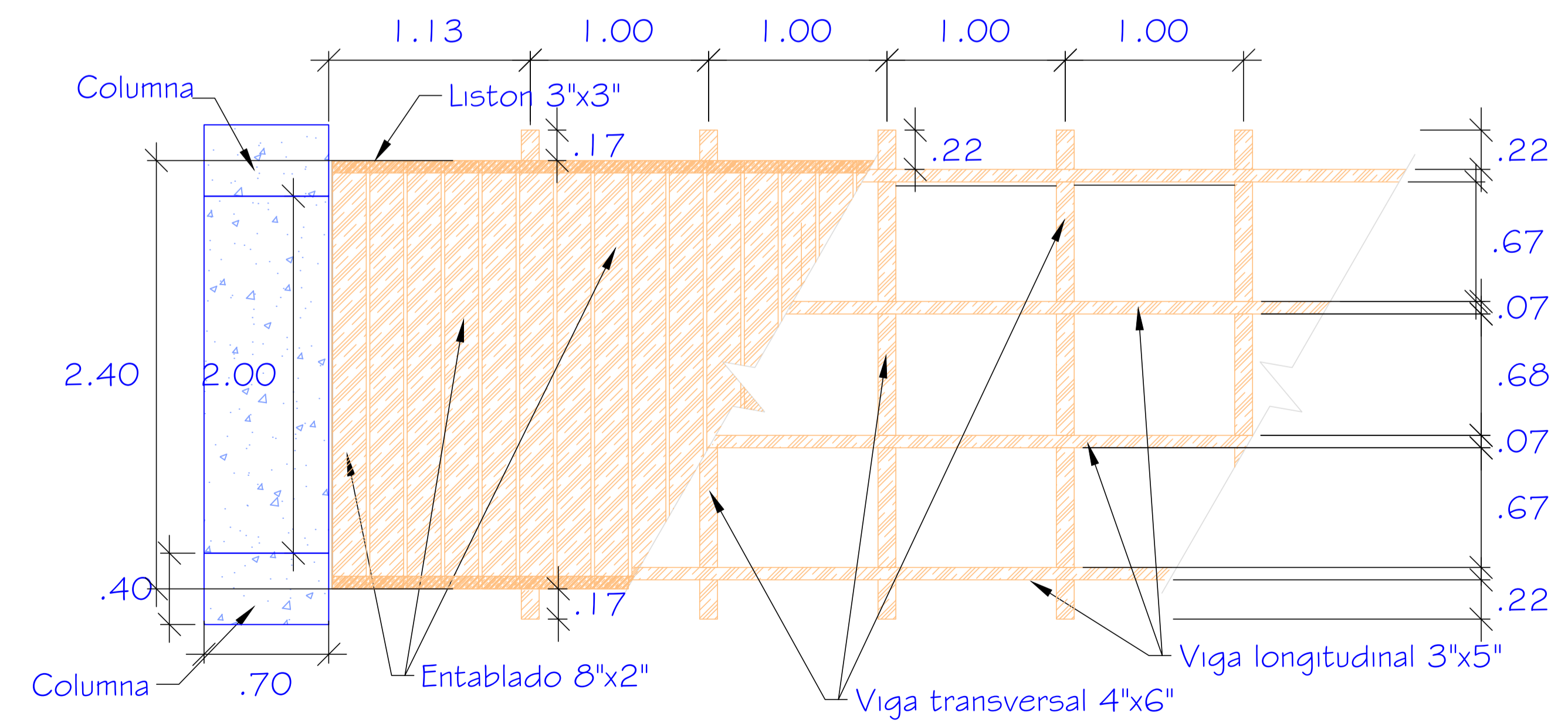


PERFIL LONGITUDINAL DEL PUENTE
ESC: 1:400

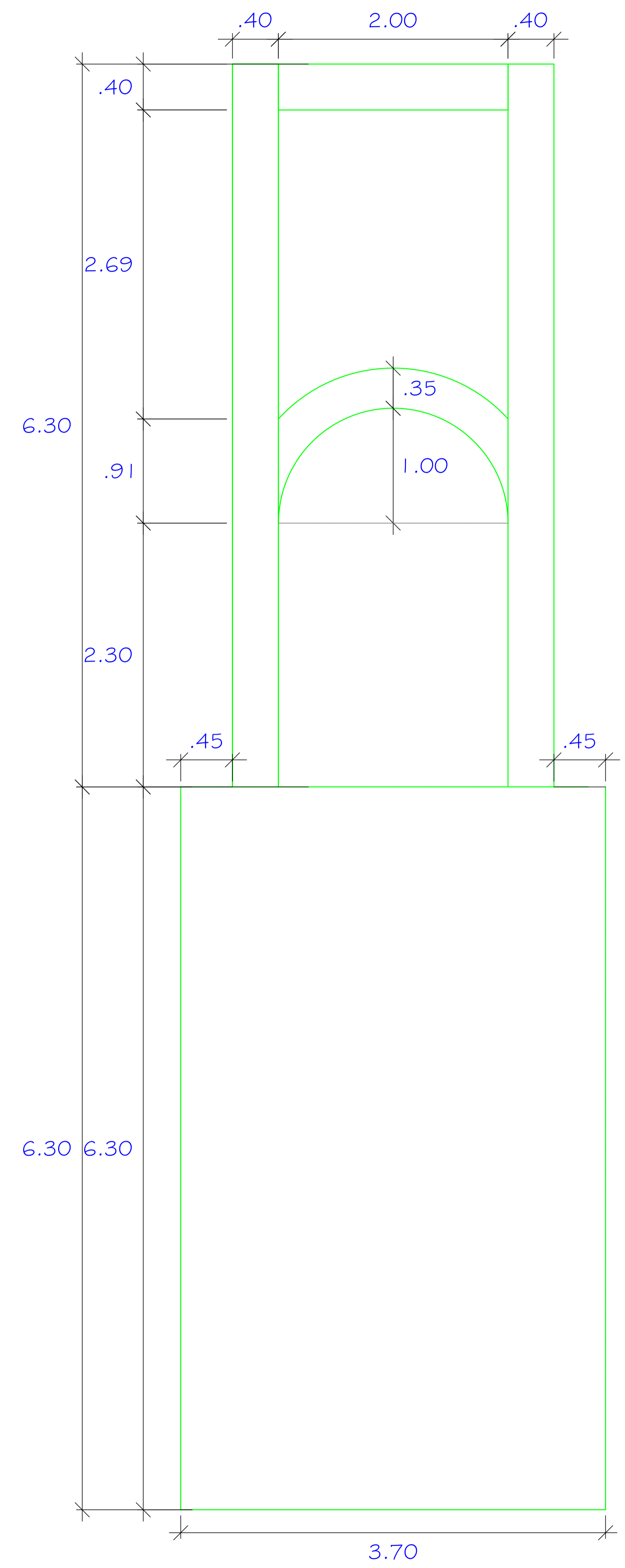
PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS			
TESIS: "REHABILITACION DEL SISTEMA ESTRUCTURAL PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS"			
PLANO: PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL DEL PUENTE COLGANTE PEATONAL REHABILITADO			
TESISTA: TACUCHE LEANDRO, MIRIAM	LOCALIDAD: LAS PAMPAS	LAMINA: 1	A-03
ASESOR: ING. TORRES RAMIREZ, MOISES	DISTRITO: TOMAY KICHWA	PROVINCIA: AMBO	
DIBUJO: MTL	DEPARTAMENTO: HUANUCO	ESCALA: INDICADA	



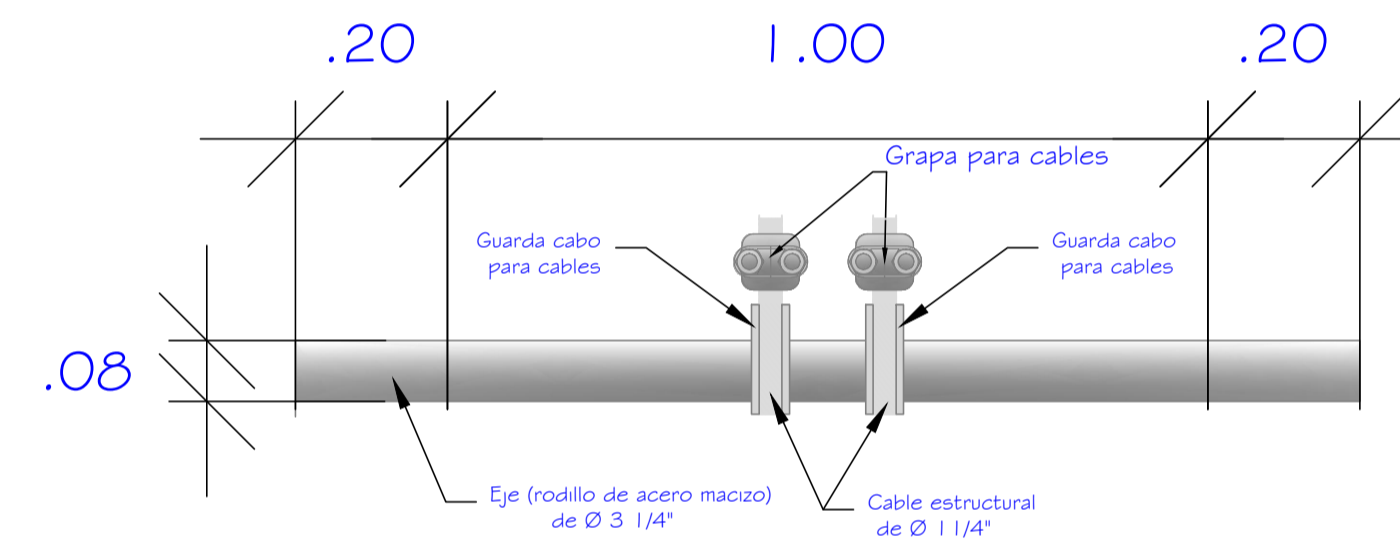
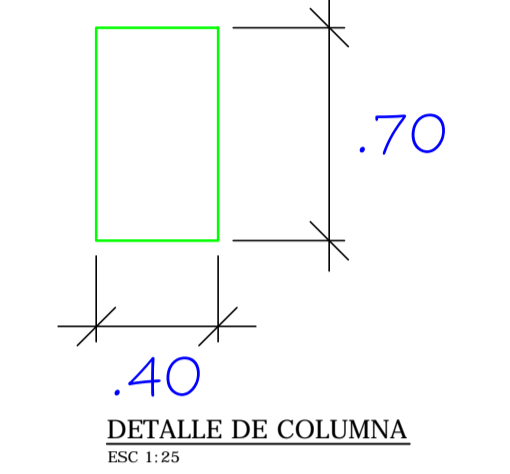
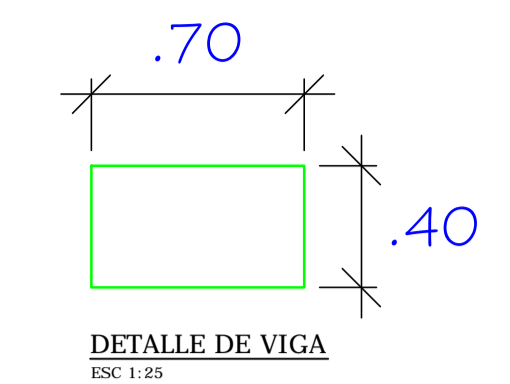
SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE
ESC 1:25



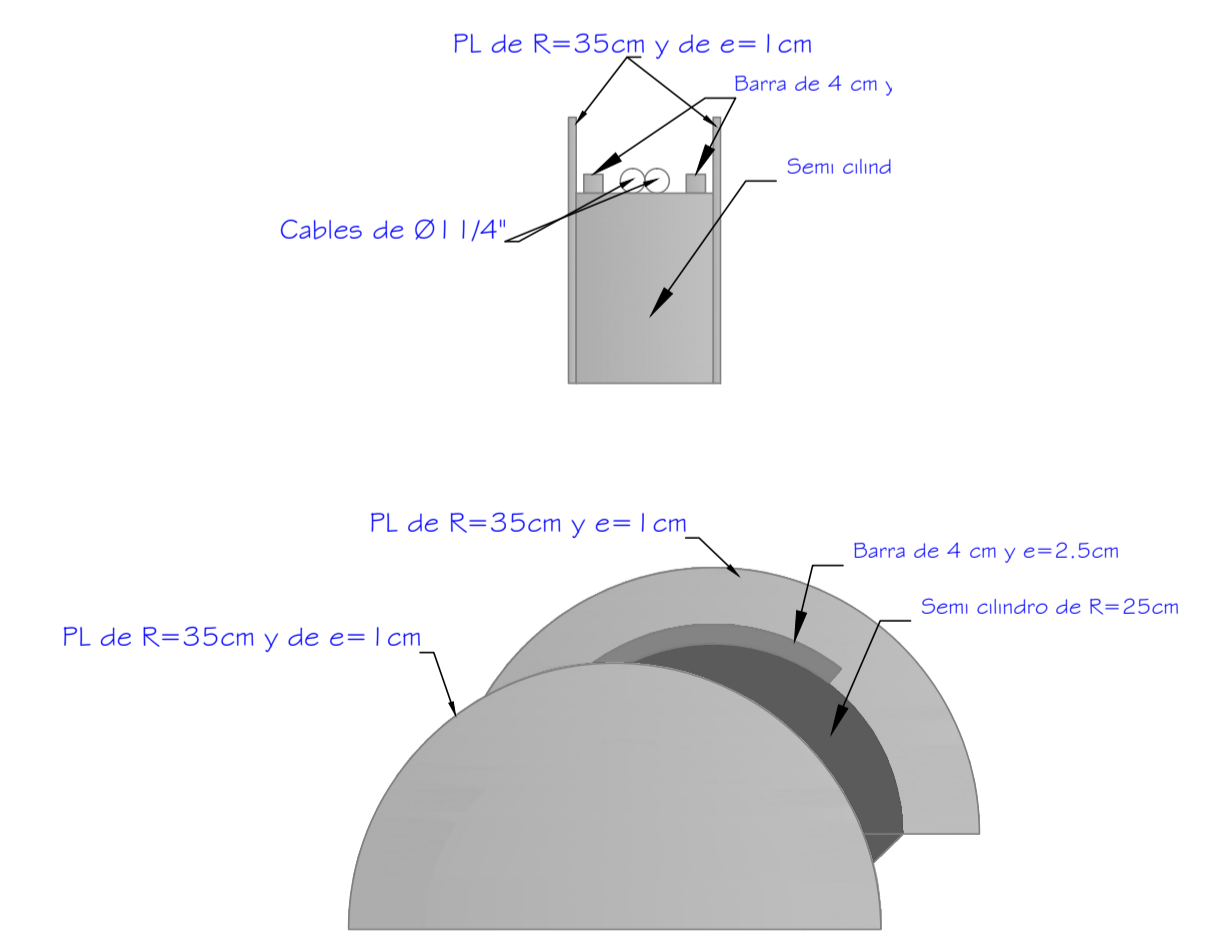
DETALLE DE ENTABLADO DEL PUENTE
ESC 1:25



DETALLE DE TORRE Y CIMENTACION DEL PUENTE
ESC 1:25



DETALLE DE VIGA DE ACERO TRANSVERSAL (CAMARA DE ANCLAJE)
ESC 1:10






















DETALLE DE CARRO DILATADOR
ESC 1:10

PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS			
TESIS: "REHABILITACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS"			
PLANO: DETALLES DEL PUENTE COLGANTE PEATONAL REHABILITADO			
TESISTA: TACUCHE LEANDRO, MIRIAM	LOCALIDAD: LAS PAMPAS	LAMINA: A-04	
ASESOR: ING. TORRES RAMIREZ, MOISES	DISTRITO: TOMAY KICHWA	PROVINCIA: AMBO	
DIBUJO: MTL	DEPARTAMENTO: HUANUCO	ESCALA: INDICADA	




















ANEXO E: CUADRO DE CONTEO DE TRÁFICO

Cuadro 10: Resumen de conteo de tráfico realizada en el año 2015.

RESUMEN FORMATO Nº 1																							
FORMATO DE CLASIFICACIÓN VEHICULAR																							
“PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS”																							
TRAMO DE LA CARRETERA		DESVIO CARRETERA CENTRAL - PAMPAS																					
SENTIDO		E ←						S →						ESTACIÓN		PUENTE COLGANTE -PAMPAS							
UBICACIÓN		PAMPAS																					
CÓDIGO DE LA ESTACIÓN		0+000																					
DÍA Y FECHA		Del 13/12/2015 al 19/12/2015																					
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER						
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
DIAGRA. VEH.																							
13/12/2015		8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
14/12/2015		6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
15/12/2015		5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
16/12/2015		6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
17/12/2015		5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
18/12/2015		6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
19/12/2015		6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
TOTAL DE MOTOS =		65																					

Fuente: Propio

Cuadro 11: Resumen de conteo de tráfico realizado en el año 2017.

RESUMEN FORMATO Nº 1																											
FORMATO DE CLASIFICACIÓN VEHICULAR																											
“PUENTE COLGANTE DE MADERA DE LAS PAMPAS”																											
TRAMO DE LA CARRETERA		DESVIO CARRETERA CENTRAL - PAMPAS																									
SENTIDO		E ←						S →						ESTACIÓN				PUENTE COLGANTE -PAMPAS									
UBICACIÓN		PAMPAS																		CÓDIGO DE LA ESTACIÓN				0+000			
																				DÍA Y FECHA				Del 18/06/2017 al 24/06/2017			
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER										
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3							
DIAGRA. VEH.																											
18/06/2017		11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
19/06/2017		10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
20/06/2017		10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
21/06/2017		10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
22/06/2017		9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
23/06/2017		8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
24/06/2017		8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
		TOTAL DE MOTOS = 86																									

Fuente: Propio