UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas

Carrera de Ingeniería Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la Obtención del Título de:

Ingeniero Civil

TEMA:

"Diseño y Construcción de la estructura de un puente metálico colgante para el sitio Lodana, en la Facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Técnica de Manabí, Fase 2 - Etapa 2 "

AUTORES:

Baque Villafuerte Fabricio Nicolás.

Romero García John Andrés.

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION:

Ing. Carlos Villacreses Viteri. Mg. Sc.

PORTOVIEJO-MANABÍ-ECUADOR

2015

DEDICATORIA

A Dios por la fortaleza que me da en cada paso que doy en este duro caminar llamado vida, por la capacidad y sabiduría.

A mis padres: Nicolas Baque y Ludy Villafuerte por ser mi inspiración y quienes impulsaron el amor y dedicación a los estudios, apoyándome siempre con cada necesidad con valor, sacrificio y permanecer constantemente en sus oraciones.

A mis hermanos: Lissette y Edgar Baque, tios, primos, abuelos por la alegría y confianza que tuvieron siempre en mi hasta llegar a este peldaño como es la terminación de mi estudio universitario.

A mi segunda familia: mis amigos quienes luchan incondicionalmente junto a mí en cada proyecto que he trazado en mi destino.

Dedicación especial a mi sobrino Jostyn Salvatierra porque ser mi orgullo y por quien lucho para ser un ejemplo en su vida.

Baque Villafuerte Fabricio Nicolás.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a dios por permitirme alcanzar este logro tan importante en mi vida, por ser quien guio mis pasos y me dio fuerzas para no decaer cuando se me presentaron obstáculos en mi camino.

A mis padres Ing. Yohn Romero y Lcda. Miriam García por aconsejarme y apoyarme a lo largo de mi formación profesional, inculcándome así buenos principios y valores.

A mis hermanos, que siempre estuvieron junto a mí dándome palabras de aliento para cumplir con mi objetivo.

A mi esposa Angie Sabando mi apoyo incondicional quien con sus palabras comprensión y amor me alentaron a no desistir en los momentos más difíciles de nuestras vidas.

Y especialmente a mi hijo Emilio Mathias quien es el motor principal en mi vida, mi gran motivación y fuente de inspiración para seguir adelante en la vida.

A mi familia en general y a mis amigos más cercanos por compartir buenos y malos momentos y por brindarme siempre su apoyo.

Romero García John Andrés

AGRADECIMIENTO

A Dios, a nuestras familias y amigos quienes permanecieron en nuestros altos y bajos dentro de la formación universitaria dándonos aliento y consejos para luchar contra las adversidades, por la paciencia que tuvieron hasta vernos realizados profesionalmente, por el amor y las bendiciones que siempre brindaron, y mas sobre todo por su apoyo incondicional.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil de esta prestigiosa alma mater por los conocimientos y experiencias tan bien entregados a lo largo de nuestra formación.

A los Ingenieros: Carlos Villacreces Viteri y Juan Carlos Guerra tutor y revisor de nuestro trabajo de titulación respectivamente, por estar pendientes con sus consejos y compartir sus conocimientos para finalizar con éxito, este vuestro trabajo de titulación.

Baque Villafuerte Fabricio Nicolás.
Romero García John Andrés.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN DEL DOCENTE REVISOR

El docente revisor, Ing. Juan Carlos Guerra Mera respectivamente, para el trabajo de titulación, cuya modalidad es Enfoque Cuantitativo, titulada: "Diseño y Construcción de la estructura de un puente metálico colgante para el sitio Lodana, en la Facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Técnica de Manabí, Fase 2 - Etapa 2" cuyos autores son los egresados: Baque Villafuerte Fabricio Nicolas y Romero García John Andrés, certifica que se reunieron para el análisis y estudio de la tesis indicada, y cumpliendo con todos los requisitos estipulados en el Reglamento General de Graduación de la Universidad Técnica de Manabí, cumplo con informar que en la ejecución del mencionado Trabajo de Titulación, sus autores:

1. Han respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 9% de similitud con otros documentos existentes en el repositorio.
2. Han Aplicado correctamente el manual de Estilos de la Universidad Andina Simón Bolívar del Ecuador.
3. Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados.
4. El trabajo posee suficiente argumentación técnica-científica, evidenciada en el contenido bibliográfico consultado y
5. Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

Sin más que informar suscribo este documento no vinculante para los fines legales pertinentes.

Portoviejo, Noviembre 19 del 2015.

Ing. Mg. Sc. Juan Carlos Guerra Mera
REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Carlos Villacreses Viteri Mg. Sc., catedrático de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, para los fines legales

CERTIFICO

Que el trabajo de Titulación: "Diseño y Construcción de la estructura de un puente metálico colgante para el sitio Lodana, en la Facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Técnica de Manabí, Fase 2 - Etapa 2", fue desarrollado bajo mi tutoría y control por los **SRES:. BAQUE VILLAFUERTE FABRICIO NICOLAS Y ROMERO GARCÍA JOHN ANDRÉS** , previo a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, cumpliendo con todos los requisitos del nuevo Reglamento para el trabajo de Titulación que exige la Universidad, alcanzando mediante el esfuerzo, la constancia y la perseverancia demostrado por el autor de este trabajo.

Portoviejo, Noviembre 19 del 2015.

Ing. Carlos Villacreses Viteri Mg. Sc.
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

DECLARACIÓN SOBRE LOS DERECHOS DE AUTOR

Baque Villafuerte Fabricio Nicolás y Romero García John Andrés, egresados de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, declaramos que:

El trabajo de titulación denominado **"Diseño y Construcción de la estructura de un puente metálico colgante para el sitio Lodana, en la Facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Técnica de Manabí, Fase 2 - Etapa 2"**, ha sido desarrollada en base a una exhaustiva investigación, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuente se incorporan el bibliografía, en consecuencia este trabajo es fruto del esfuerzo, entrega y dedicación de los autores.

Sr. Fabricio Nicolás Baque Villafuerte
Autor del Trabajo de Titulación.

Sr. John Andrés Romero García
Autor del Trabajo de Titulación.

INDICE

DEDICATORIA II

AGRADECIMIENTO IV

CERTIFICACION DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION V

DECLARACIÓN SOBRE LOS DERECHOS DE AUTOR VII

RESUMEN XII

SUMARY XIII

1. TEMA 14

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

3. REVISION DE LA LITERATURA Y DESARROLLO DEL MARCO TEORICO 16

3.1. ANTECEDENTES 16

3.2. JUSTIFICACION 17

3.3. MARCO TEORICO 18

3.3.1. DEFINICIÓN DE PUENTE 18

3.3.2. HISTORIA DE LOS PUENTES 19

3.3.3. PUENTES SOPORTADOS POR CABLES 21

3.3.4. PUENTES COLGANTES 23

3.3.5. USO DE LOS PUENTES PEATONALES COLGANTES 25

3.3.6. CARGAS 26

3.3.7. FUNCIONAMIENTO DE UN PUENTE COLGANTE 28

3.3.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS 30

3.3.9. ESTETICA EN PUENTES COLGANTES 30

3.3.10. ESTRUCTURA DE UN PUENTE COLGANTE 32

3.3.11. CABLES DE ACERO EN PUENTE COLGANTE 34

3.3.12. EL SISTEMA DE CABLES 39

3.3.13. MANTENIMIENTO DE CABLES EN PUENTES COLGANTES 42

3.3.14. PENDOLAS O TENSORES VERTICALES 43

3.3.15. ANALISIS Y DISEÑOS DE CABLES 45

3.3.16. ANALISIS Y DISEÑO DE PENDOLAS O TENSORES 48

4. VISUALIZACION DEL ALCANCE DEL ESTUDIO 49

4.1. APORTE SOCIAL 49

4.2. APORTE ECONOMICO 49

4.3. APORTE CIENTIFICO 49

5. ELABORACION DE HIPOTESIS Y DEFINICION DE VARIABLES 50

5.1. HIPOTESIS 50

5.2. DEFINICION DE VARIABLES 50

5.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE 50

5.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE 50

5.2.3. TERMINO DE RELACION 50

6. DESARROLLO DEL DISEÑO DE INVESTIGACION 51

6.1. CAMPOS DE ACCION 51

6.2. OBJETIVOS 51

6.2.1. OBJETIVO GENERAL 51

6.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 51

7. DEFINICION Y SELECCIÓN DE MUESTRA 52

8. RECOLECCION DE LOS DATOS 53

8.1. DISEÑO DE CABLES PRINCIPALES. 53

8.2. DISEÑO DE PENDOLAS O TENSORES. 56

9. ANALISIS DE LOS DATOS 57

9.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58

9.1.1. CONCLUSIONES. 58

PRESUPUESTO 60

CRONOGRAMA VALORADO 61

BIBLIOGRAFIA 62

ANEXOS 63

ANEXO 1. PLANOS FINALES. 64

INDICE DE FIGURAS.

FIGURA N°1. PUENTE SOBRE EL RÍO HELL GATE EN NEW YORK..... 18

FIGURA N°2. PUENTE ARCO DE PIEDRA EN GERRI DE SAL. ESPAÑA. SIGLO XIII..... 20

FIGURA N°3. PUENTE COLGANTE DE MADERA EN LA INDIA..... 21

FIGURA N°4. PUENTES SOPORTADOS POR CABLES. (A) COLGANTE. (B) ATIRANTADO..... 22

FIGURA N°5. PUENTE COLGANTE, COMPONENTES..... 24

FIGURA N°6. PUENTES COLGANTE AKASHI KAIKYO, ACTUALMENTE EL PUENTE MÁS LARGO DEL MUNDO CON UNA LONGITUD TOTAL DE 3.911 METROS..... 25

FIGURA N°7. VISTA GENERAL DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE PEATONAL COLGANTE..... 26

FIGURA N°8. ESQUEMA DE FUERZAS EN UN PUENTE COLGANTE..... 30

FIGURA N°9. VISTA ESTÉTICA DEL PUENTE GOLDEN GATE..... 32

FIGURA N° 10. COMPONENTES DE UN PUENTE COLGANTE..... 34

FIGURA N° 11. TIPOS DE CABLES PARA TIRANTES..... 35

FIGURA N° 12. CONFIGURACIÓN DE TORÓN Y CABLE ESTRUCTURAL... 36

FIGURA N° 13. TIPOS DE TORONES..... 37

FIGURA N° 14. TIPOS DE FABRICACIÓN DE CABLES DE ACERO.....38

FIGURA N° 15. PÉNDOLA FORMADA POR UN CABLE.....46

FIGURA N° 16. PÉNDOLA FORMADA POR DOS CORDONES.....47

FIGURA N° 17. EQUILIBRIO SOBRE LAS TORRES.....49

FIGURA N°18. SECCIÓN TÍPICA DEL PUENTE COLGANTE METÁLICO....55

INDICE DE TABLAS

TABLA N°1. PESOS ESPECÍFICOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN..28

TABLA NO.2: CARGA VIVA PEATONAL.....29

TABLA NO.3: CARACTERÍSTICAS DE CABLES PARA PUENTES.....41

TABLA NO.4: CARGA ULTIMA DE CABLES PARA PUENTES.....43

RESUMEN

Este trabajo de titulación recopila información necesaria aplicada en el diseño de la estructura de un puente metálico colgante, de uso peatonal, cuya función principal es realizar el diseño de la estructura para su futura construcción de manera segura.

El análisis del puente, está directamente dirigida a los elementos conformados por cables de acero, y tensores o péndolas.

El cable principal, es un elemento conformado por la unión integrada de varios cables de acero, normalizados por la ASTM, cuya función es soportar el peso del tablero y trasmitirla a otros elementos del puente.

Los tensores son aquellos elementos que generan tensiones en los cables principales, y al mismo tiempo son aquellos que se unen a los tableros mediante elementos de sujeción o amarre.

El diseño se basa en el esfuerzo de tensión, la fuerza axial que se genera en ellos es la que impone su cálculo, este esfuerzo se transmiten a elementos como las torres y los bloques de anclajes, analizando su resistencia a la tensión.

Las normas de diseño vigentes son: AISC, ASTM, AASHTO-LRFD, NEC-14. De los cuales se rescata los parámetros generales básicos e ingenieriles para el diseño de los puentes colgantes, teniendo en consideración cargas, materiales, usos, y demás parámetros, definiendo las secciones de los materiales utilizados en el diseño.

SUMARY

This work of degree collects information necessary applied in the design of structure of a metal suspensión bridge, used pedestrian, whose main function is realice the design of structure for their future construction of safely way.

The analysis of bridge, is directly addressed to the elements formed by steel cables, tensioners or hangers.

The principal cable, is a element shaped for the unión of several cables of Steel, normalized for the ASTM, whose function is supported the weight of board and transmitting to others elements of bridge.

The tensioners are those elements to generate tensions in the main cables, and the same time are those that come together to the board through elements of fixing or mooroge.

The design is base don the tensile stress, the axial force that generates in them it is imposed your calculation, this effort is transmitted to elements like the blocks of anchors, analizing your tensile strength.

The current design standards are: AISC, ASTM, AASHTO-LRFD, NEC14, of which rescued the parameters generals basic and engineering for the design of the hanging bridges, considering materials charges, uses and others parameters, defining the sections of the used materials in the design.

1. TEMA

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN PUENTE METÁLICO COLGANTE PARA EL SITIO LODANA, EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ, FASE 2 - ETAPA 2 ",

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Obteniendo información necesaria sobre el gran inconveniente que existe en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí, cuyo Campus está ubicado en el Sitio de Lodana del Cantón Santa Ana, dicho campus está atravesado por el cauce del Río Lodana, generando así el inconveniente del cual se pretende solucionar.

El cauce del Río Lodana separa las aulas, de los campos donde se genera la práctica de las Ciencias Agrícolas, por tal motivo los estudiantes se ven obligados a generar pasos, sobre el cauce mediante un puente improvisado de cañas guadua, y madera. Provocando con esto un peligro vigente y un problema a la movilidad de aquellos individuos que atraviesan el Río por necesidad.

Para evitar el peligro de pasar el puente improvisado, muchos de los estudiantes prefieren optar una ruta que van desde las aulas hasta los viveros mediante la carretera Portoviejo-Santa Ana, sin embargo esto provoca peligro a la integridad personal y que se genere más tiempo para el traslado, y llegan tarde a sus prácticas.

Este inconveniente se puede solucionar generando un paso sobre el cauce del Río, mediante una estructura segura, y confiable para el traslado de los estudiantes, personal docente y demás personas, generando ahorro de tiempo y seguridad al momento de movilizarse.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y DESARROLLO DEL MARCO TEORICO

3.1. ANTECEDENTES

El traslado de personas y la movilización de ellas, es parte fundamental del crecimiento de los pueblos, es así que cuando se requería sobrepasar un obstáculo, grietas o ríos, el hombre se ideo la manera de realizarlo. Es así que se generaron puentes u otra forma de sobrellevar este imprevisto.

En la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí, el campus ubicado en el Sitio Lodana, se encuentra el paso del Río Lodana, el cual hace que exista un obstáculo entre las aulas de la Facultad y los campos donde se encuentran los viveros.

Este Río, hace que no se pueda realizar el paso de las personas, estudiantes y docentes, que una u otra forma necesitan movilizarse desde las aulas hasta los viveros y viceversa.

Las personas se han ideado la forma de trasladarse sobrepasando el cauce del Río mediante un puente improvisado, creado por ellos mismos, que más de ser una ayuda, se ha convertido en una fuente de peligro para cada persona que lo ocupa, ya que el puente construido no presta las condiciones, ni cuenta con las condiciones y materiales adecuados para el funcionamiento óptimo del puente.

3.2. JUSTIFICACION

En busca de la excelencia académica, la Universidad Técnica de Manabí, se ha esmerado por la adecuación de su Campus, incluyendo las extensiones. Es así que la Facultad de Ingeniería Agrícolas, cuyo Campus está ubicado en el Sitio Lodana, se ha mejorado en la infraestructura y equipamientos de dicha Facultad.

En la Facultad se necesita contar con una obra de gran impacto para el desarrollo de dicha Facultad, el paso del Río Lodana provoca que sea necesaria la construcción de un puente metálico, cuyo uso específico sea peatonal.

La movilización que se generaría sobre el puente metálico, tiene un gran auge, ya que dicho puente conecta a los viveros donde se genera la práctica académica de los estudiantes de Ingeniería Agrícola con las aulas donde se imparte la preparación teórica de dichas Ciencias.

Es necesario generar dicho paso sobre el Río, ya que esto hace que la movilidad y tráfico de las personas sea de manera segura, cómoda.

Con la construcción del puente metálico, el tiempo de empleo a la hora de trasladarse será menor, ya no existirá el peligro del traslado sobre el río y al mismo tiempo esto genera la mejor utilización de los recursos ya sean estos económicos como los materiales. Alcanzado así que los estudiantes logren el máximo rendimiento dentro de sus actividades académicas y aportando a la acreditación universitaria.

3.3. MARCO TEÓRICO

3.3.1. DEFINICIÓN DE PUENTE

Los puentes son estructuras que salvan obstáculos físicos en una trayectoria, tan diversos como cuerpos de agua, desniveles de terreno o vías férreas. Los materiales a utilizar, las condiciones climáticas del sitio de construcción y el tipo de terreno, entre otros, son aspectos vitales a considerar a la hora de diseñar la estructura.[1]

La AASHTO define como puente a cualquier estructura que tiene una abertura de no menos de 6100 mm y que forma de una vía o está ubicado sobre o debajo de una carretera.[2]

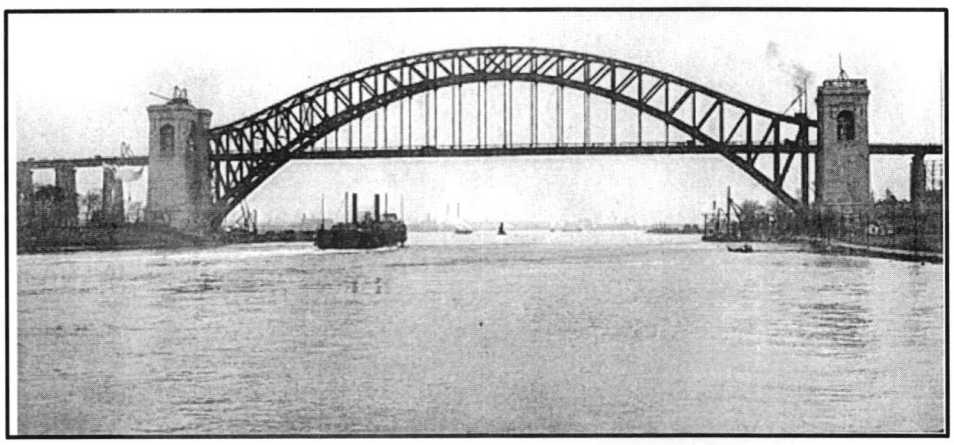


Figura n°1. Puente sobre el Río Hell Gate en New York.
Fuente: Los Autores
Elaboración: Los Autores.

[1] Fernanda Alarcón Sánchez. (2013). Diseño y Análisis de Resonancia de un Modelo Estructural Virtual de Puente Colgante. (Trabajo de Grado). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira-Colombia. Pág. 17

[2] Especificaciones Técnicas AASHTO para el diseño de puentes por el método LRDF, Cap. 01-Introduccion. Pág. 5.

3.3.2. HISTORIA DE LOS PUENTES

El arte de construir puentes tiene origen en la prehistoria. Los primeros puentes consistían en troncos de árboles que enlazaban las dos riberas de un rio sobre la que se deseaba establecer un paso.

También se hacía uso de losas de piedras para sobrepasar corrientes o cauces pequeños o que tenían muy poca luz. Estos puentes se construían de manera muy pobre, por lo que no se podían pasar sobre ellos muchas cargas.

Esta insuficiencia hizo que el hombre construyera puentes más desarrollados. Así que evoluciono la manera de construir, mediante el desarrollo de los materiales, la resistencia y los procedimientos de construcción.

Se puede distinguir dos etapas en la historia de los puentes. Una de ellas que se alarga hasta finales del siglo XVIII, donde se utilizaban para la construcción materiales como la madera y la piedra, ya que no se necesitaba procedimiento industrial alguno para su construcción, los puentes más resistente eran los construidos en forma de arco cuyo material principal es la piedra.

La otra etapa empieza a principios del siglo XIX hasta la actualidad, se caracteriza por una rápida evolución y desarrollo de los materiales, así como las tecnologías de construcción y las tipologías estructurales. Se trabaja con materiales que han recibidos procesos industriales.

Así pues se puede decir que los puentes de piedras y de madera son los que han coexistido como los principales puentes de la historia, aunque los puentes de madera fueron los primeros, de ellos no se encuentran rastro alguno.

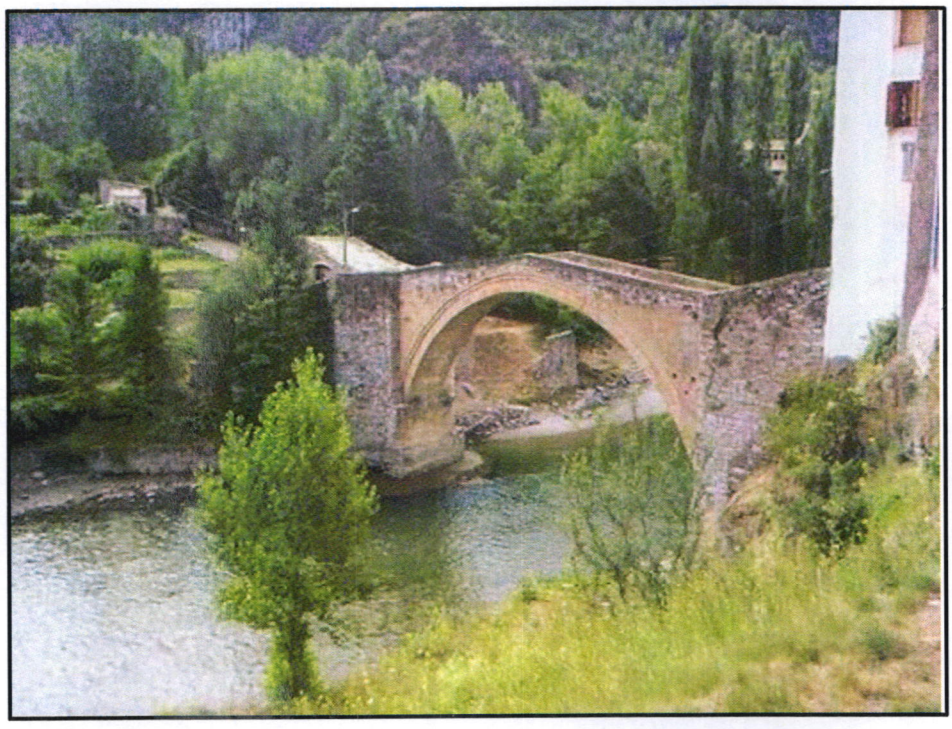


Figura n°2. Puente Arco de piedra en Gerri de Sal. España. Siglo XIII.
Fuente: Tesis, Puente de fortuna. Cataluña.
Elaboración: Los Autores.

A lo largo de la historia en que se construyen puentes de madera y piedra se caracteriza por la invariabilidad de las técnicas utilizadas para construir dichos puentes; el arco de dovelas de piedra adquirió tal perfección con los romanos, que los desarrollos posteriores fueron muy limitados.

Así pues, se deduce que estos puentes se caracterizan por un tipo de estructura, un material y una tecnología casi invariable para construir puentes duraderos. Mientras que la madera se podía considerar que normalmente se utilizaba para construir puentes de segunda clase y quizás más de carácter provisional.

Con la revolución Industrial se puede decir que empezaron a surgir nuevos materiales y diversidad de tipos de estructuras que permiten una rápida evolución en la construcción de puentes.[3]

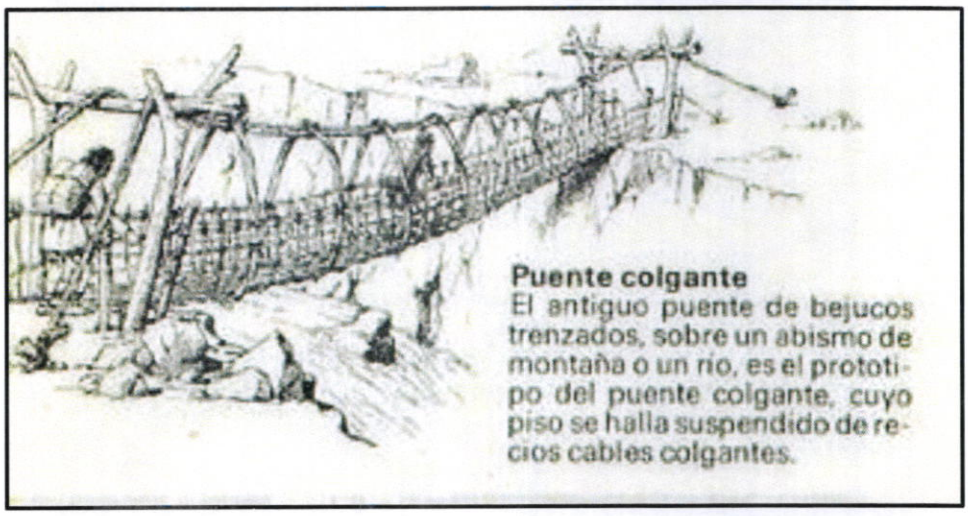


Figura n°3. Puente Colgante de madera en la India.
Fuente: Tesis, Puente de fortuna. Cataluña.
Elaboración: Los Autores.

3.3.3. PUENTES SOPORTADOS POR CABLES

Las condiciones geográficas y geológicas del lugar son tomadas en cuentas para la proyección de un puente. Tanto el requisitos de alturas libres, los procedimientos de montaje y el método de construcción de la cimentación, afectaran el tipo y la luz del puente.

Los puentes sostenidos por cables se caracterizan por lo general por su economía, ligereza y claridad de la acción estructural. Estos tipos de estructuras

[3] Gisela Soley Salamero. (2012). Puentes de Fortuna. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Cataluña. España. Pág. 6.

ilustran el concepto de la forma consecuente con la función y presenta apariencias elegantes y estéticamente agradables.

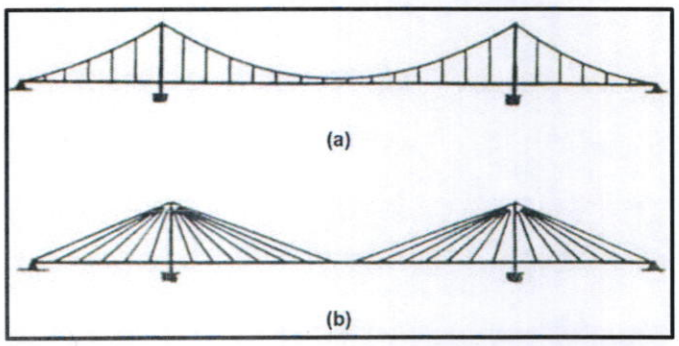


Figura n°4. Puentes soportados por cables. (a) Colgante. (b) Atirantado.
Fuente: Tesis, Mantenimiento de Puentes Colgante. Quito.
Elaboración: Los Autores.

Los diseños de puentes sostenidos por cables que son dependiente de acero de alta resistencia como elementos estructurales principales.

El cable es posiblemente al elemento resistente más eficaz inventado por el hombre. Es por ello que los puentes de grandes luces que se construyen actualmente son los colgantes y atirantados.[4]

En los puentes de tipo colgantes, el tablero es soportado a intervalos relativamente corto por péndolas verticales. Los cables principales son un poco flexible y por lo tanto toman un perfil cuya forma es una función de la magnitud y posición de la carga.[5]

---

[4] Gisela Soley Salamero. (2012). Puentes de Fortuna. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Cataluña. España. Pág. 28.

[5] David Garcés y Jorge Zaldumbide. (2006). Mantenimiento de Puentes Colgantes con Estructura de Acero. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. Pag.11.

3.3.4. PUENTES COLGANTES

Es una estructura que posee una calzada constituida por la viga de rigidez y el tablero, los cuales se extienden a lo largo de un obstáculo que se desea cruzar y están unidos a sus dos torres, las cuales a su vez van cimentadas sobre el suelo. La característica principal o fundamental de los puentes colgantes es que la calzada se halla suspendida mediante cables de acero. Los cables de acero transfieren el peso de la viga de rigidez, del tablero y de la sobrecarga generado por el uso del puente.[6]

Los puentes colgantes, su estructura es la inversa al arco. Las cargas que actúan sobre él se trasmiten al terreno a través de los cables principales, mediante un mecanismo exclusivamente de tracción, con ausencias de flexiones. Igual que el arco necesita un área para que las tensiones de tracción que aparezcan en el sean admisibles, pero no necesita ninguna rigidez adicional.

En los puentes colgantes de la estructura resistente básica esta formada por los cables principales, que se fijan en los extremos del vano a salvar, y tiene la flecha necesaria para soportar mediante un mecanismo de tracción pura, las cargas que actúan sobre él.

El esfuerzo de tracción es la fuerza por unidad de área que tienda a producir una elongación del objeto. (Sternheim & Kane, 2007)[7]

---

[6] David Garcés y Jorge Zaldumbide. (2006). Mantenimiento de Puentes Colgantes con Estructura de Acero. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. Pag.14.
[7] Sternheim, M.M., & Kane, J.W. (2007). Física. Barcelona: Reverté.

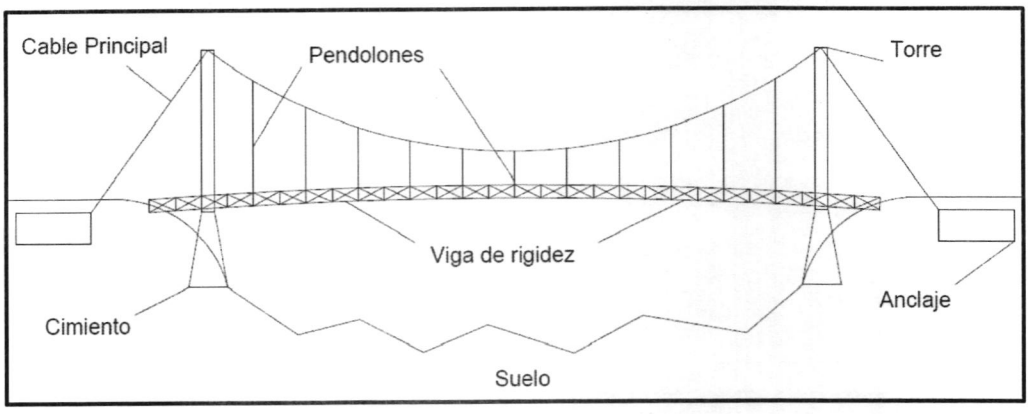


Figura n°5. Puentes colgante, componentes.
Fuente: Tesis, Mantenimiento de Puentes Colgante. Quito.
Elaboración: Los Autores.

El puente colgante más elemental es el "puente catenaria", donde los propios cables principales sirven de plataforma de paso. Sus extremos se anclan directamente a tierra, y por lo tanto los únicos elementos adicionales al cable son los anclajes.

Pero los cables principales necesitan de una contra flecha que les da una forma no adecuada para la plataforma de un camino de ruedas, y ello obliga a separar ambos elementos; generalmente el cable principal se coloca por encima un tablero que se cuelga de él mediante las péndolas o tensores.

Para conseguir la flecha que requieren los cables principales, es necesario elevarlos en los extremos del vano a salvar, lo que da lugar a las torres sobre las que se apoyan. En un puente elemental colgante, los cables principales se apoyan en la cabeza de las torres, pero la flexión que el tiro del cable produce en las torres obliga a prolongarlos al otro lado de las torres para bajarlos a tierra y anclarlos en contrapeso.

En la actualidad, los puentes colgantes se utilizan para grandes luces; por ello, salvo raras excepciones, todos tienen tableros metálicos. La solución de tablero de

hormigón puede ser válida en determinados casos y luces reducidas, pero no en los grandes puentes, donde este sistema tiene su principal campo de aplicación.[8]

Figura n°6. Puentes colgante Akashi Kaikyo, actualmente el puente más largo del mundo con una longitud total de 3.911 metros.
Fuente: Tesis, Puentes de Fortuna. Cataluña.
Elaboración: Los Autores.

3.3.5. USO DE LOS PUENTES PEATONALES COLGANTES

El principal desafío en el diseño y construcción de este tipo de puentes es el de proporcionar a los peatones la idea de que este es un medio seguro y cómodo para trasladarse de un lugar a otro, es por ello que la selección del tipo de materiales que se

[8] Gisela Soley Salamero. (2012). Puentes de Fortuna. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Cataluña. España. Pág. 28.

utilizaran en su construcción deben ser de primera calidad; pero hablar de calidad es de hablar de incremento de costos.

Aunque puede parecer poco frecuente el diseño, construcción y el uso de los puentes peatonales colgantes existe una gran variedad de este tipo de vías de comunicación en distintas poblaciones del mundo.[9]

Figura n°7. Vista general de la estructura del puente peatonal colgante
Fuente: Tesis, Guía para el diseño de puentes peatonales colgantes. México D.F.
Elaboración: Los Autores.

3.3.6. CARGAS

Según la norma AASHTO las cargas se pueden clasificar en Permanentes y Variables.

Cargas Permanentes: Son aquellas que actúan durante toda la vida útil de la estructura sin variar, o que varían en un solo sentido hasta que alcance su valor máximo.

---

[9] Ismael Ceas y Mónica Moreno. (2005). Guía para el diseño de Puentes Peatonales Colgantes analizado para construcción en casos de emergencia. (Tesis de Grado). Instituto Politécnico Nacional. México. Pág. 25

Dentro de estas cargas están el peso propio de los elementos estructurales y las cargas que se denominan muerta y que se adicionan a la estructura. También se consideran como permanentes a los empujes provocados por la tierra, contracción de agua, entre otras.

El peso propio se considera tomando en conjunto el peso de todos los elementos esenciales del puente. Las cargas muertas incluyen los elementos no estructurales tales como barandas, tuberías, entre otras.

El peso propio y las cargas se determinan en función a las secciones geométricas de los materiales, correspondiente al peso de cada uno de los materiales.

MATERAL	PESO (Kg/m3)
Acero.	7850
Arena, tierra o grava compactada.	1900
Concreto.	2200
Concreto reforzado.	2400
Hierro forjado	7200
Madera.	1020
Mampostería de piedra.	2700

Tabla n°1. Pesos específicos de materiales de construcción.
Fuente: Manual de Diseño de Puentes.
Elaboración: Los Autores.

Cargas Variables: Son aquellas que se encuentran actuando variablemente sobre la estructura del puente, entre ellas están el peso de los usuarios, vehículos, y tráfico en general. Adicionalmente se encuentran los efectos dinámicos o efectos de impacto sobre la estructura.

A medida que se encuentra la construcción del puente se aplican otras fuerzas que se encuentran en el grupo de efecto dinámico como es el empuje de fluido, supresiones, efectos sísmicos, acciones de los vientos y variaciones de temperatura.[10]

Carga Peatonal: La carga móvil peatonal sobre los pasillos y sus apoyos adyacentes, consiste en una carga viva de 415 Kg/m². [11]

Para el diseño de las vigas que soportan los pasillos y el tablero, la carga peatonal de un puente de propiedades diferentes, se debe tomar los valores como se muestra a continuación:

Luz (m)	Carga viva peatonal (Kg/m²)
0 a 7,6	415
7,6 a 30,5	293

TABLA No.2: Carga viva peatonal [12]
Fuente: (Especificaciones AASHTO LRFD, 2010)
Elaboración: Los Autores.

3.3.7. FUNCIONAMIENTO DE UN PUENTE COLGANTE

Los cables que constituyen el arco invertido de los puentes colgantes, deben estar anclado en cada extremo del puente ya que son los encargados de transmitir una

[10] Andrés Duran. (2014). Diseño Estructural de un Puente Peatonal Colgante, Provincia de Azuay. (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Cuenca. Cuenca-Ecuador. Pág. 63

[11] (Especificaciones AASHTO LRFD, 2010), CAPITULO 3.

[12] (Especificaciones AASHTO LRFD, 2010), CAPITULO 3.

parte importante de las cargas que tienen que soportar la estructura. El tablero debe estar suspendido mediante tirantes verticales que conectan con dichos cables.

Las fuerzas principales en un puente colgante son de tracción en los cables principales y de compresión en los pilares. Todas las fuerzas en los pilares deben ser casi verticales y hacia abajo, y son estabilizadas por los cables principales.

Los cables principales de un puente colgante formaran una parábola muy similar a una catenaria, la forma de los cables principales sin cargar antes de que sea instalada la estructura.

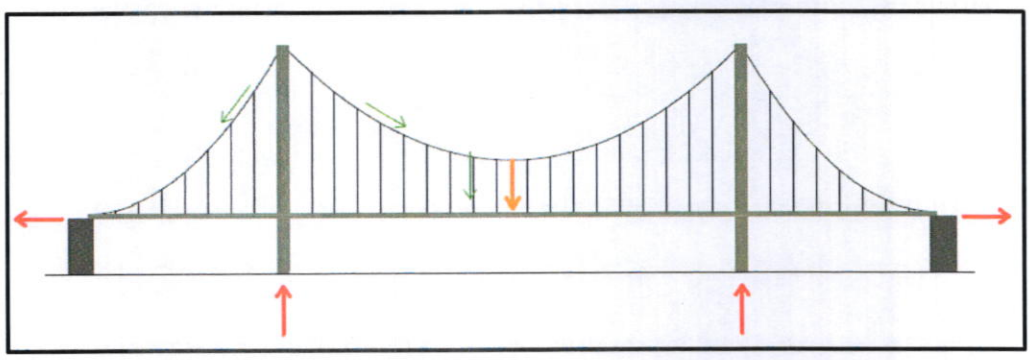


Figura n°8. Esquema de fuerzas en un puente colgante.
Fuente: Tesis, Puente fortuna. Cataluña.
Elaboración: Los Autores.

La suspensión con cables ligeros puede servir como una solución menos costosa y más elegante para puentes peatonales. [13]

[13] Andrés Duran. (2014). Diseño Estructural de un Puente Peatonal Colgante, Provincia de Azuay. (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Cuenca. Cuenca-Ecuador. Pág. 17

3.3.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- La luz central puede temer una distancia muy larga en relación al material empleado, permitiendo conectar cañones y cauces de aguas enormes.
- No existe la necesidad de usar pilas o pilotes centrales durante su construcción y operatividad del puente.
- Son relativamente flexibles, se puede flexionar sobre esfuerzos de vientos fuertes o turbulencia, en donde un puente rígido tendría que tener más material para obtener resistencia necesaria.

Desventajas:

- Al tener poca rigidez el puente no es recomendable para el tránsito en ocasiones donde se generen fuertes vientos.
- Cuando se genera esfuerzos de vientos severos, en los pies de las torres se provoca un momento relativamente grande, por lo que podría provocar daños severos en la cimentación.

3.3.9. ESTETICA EN PUENTES COLGANTES

La estética de un puente colgante, no solo abarca el hecho de que este obedece a las necesidades del puente, ya sean de uso vehicular o peatonal, sino que también

debe tener aspectos donde debe encajar perfectamente en su entorno, haciendo contraste con el ambiente y generando al observador un impacto positivo.

No solo basta con asegurar que la estructura cumpla con condiciones de resistencia requeridas y la funcionalidad necesaria, también debe tener cuenta que al finalizar la construcción el puente colgante sea una obra respetuosa con el entorno en la que se realiza.

El crear un puente colgante estético, es combinar equilibradamente la eficiencia estructural, utilización de los recursos y respeto por los valores ambientales y culturales del entorno, garantizando el equilibrio entre el entorno y la construcción.

Los puentes colgantes son sin lugar a dudas los más modernos, bonitos y eficientes del mundo, estos puentes constituyen una de las estructuras más perfectas e insustituibles, ofreciendo ventajas en la economía, facilidad de montaje y disponibilidad de materiales.

Un puente para que sea estético debe combinar la funcionalidad, economía y estética, integrando de manera perfecta los materiales y lo natural.[14]

---

[14] Cristina Narváez y Lorena Sanabria. (2008). Estado del Arte de los Puentes colgantes. (Tesis de Grado). Universidad Pontifica Bolivariana. Bucaramanga-Venezuela. Pág. 237

Figura n°9. Vista estética del puente Golden Gate.

Fuente: Tesis, Estado del arte de los puentes colgantes. Bucaramanga.

Elaboración: Los Autores.

3.3.10. ESTRUCTURA DE UN PUENTE COLGANTE

En el caso de los puentes colgante, la variación en el diseño depende del requerimiento o no de pilas o apoyos intermedios, ya que estos elementos son distinto a las torres de sustentación. En cambio se aprovecha la capacidad de resistencia a la tracción del acero usando cables.

Así pues el componente estructural de un puente es:

Tablero: recibe directamente las cargas dinámicas y cargas vivas, puede estar conformado por una sola placa o varias placas en toda la longitud de desarrollo.

Cables principales: Son aquellos que soportan casi la totalidad de las cargas ejercidas en el puente, transmitiendo sus tensiones a las torres. Disponen apoyos sobre

las torres y en la dirección longitudinal de la estructura, generalmente uno a cada lado de la via, de forma simétrica.

Cables secundarios: Son aquellos que se aseguran a los cables principales, disponiéndolos uno seguido a otros de forma equidistante en la dirección longitudinal del puente. Transmitiendo las tensiones del tablero y las vigas hacia los cables principales.

Torres de Sustentación: Estructuras sobre las cuales se apoya el cableado principal del puente. Pueden construirse de diversas geometrías y materiales, pero su característica típica es presentar una rigidez importante en la dirección transversal del puente.

Cimentación: Generalmente se construye de hormigón armado, reciben las tensiones transmitidas desde las torres de sustentación y de manera similar como los puentes tradicionales, las cargas son transferidas al suelo de fundación.

Elementos transversales estructurales (vigas): Cruzan la vía a lo ancho y se encuentran sostenidos por los cables secundarios o también llamado tensores.

Elementos Longitudinales estructurales: Vigas que cruzan toda la longitud del puente uniendo con los elementos transversales y también son sostenidos por los tensores.[15]

---

[15] Fernanda Alarcón. (2013). Diseño y análisis de resonancia de un modelo estructural virtual de puente colgante. (Tesis de Grado). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Pág. 22

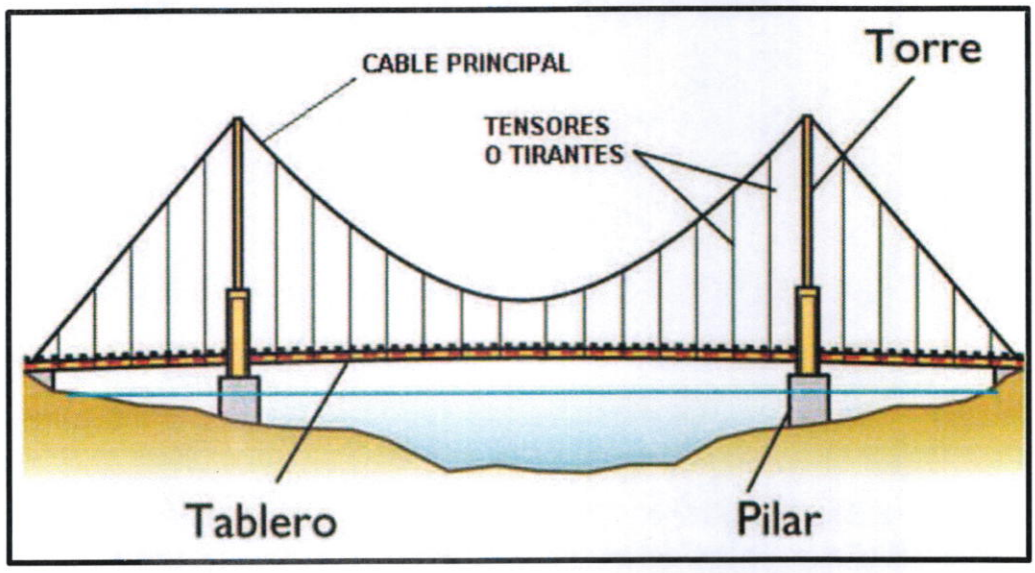


Figura n° 10. Componentes de un puente colgante.

Fuente: Tesis, Diseño estructural de puentes colgantes. Cuenca.

Elaboración: Los Autores.

3.3.11. CABLES DE ACERO EN PUENTE COLGANTE

La palabra cable en lo general es usa en sentido genérico para indicar un miembro flexible a tensión.

Debido a su resistencia, el cable es probablemente el elemento más atractivo y fascinante en la ingeniería estructural, aunque sea el más difícil de usar. Así mismo el principal elemento de un puente colgante es su cable, suspendido de torres y anclado en sus extremos a los anclajes.

Tales cables, compuesto generalmente por miles de alambres paralelo de acero galvanizado de 5mm de diámetro agrupados para formar una sección circular llevan

un arrollamiento en espiral de alambre que mantiene su forma cilíndrica al tiempo que los impermeabiliza.[16]

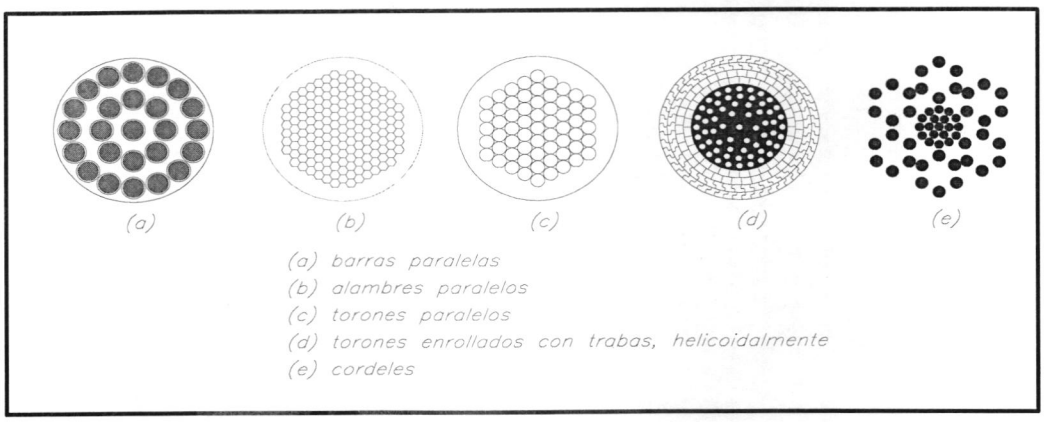


Figura n° 11. Tipos de cables para tirantes.

Fuente: Tesis, Mantenimiento de puentes colgantes. Quito.

Elaboración: Los Autores.

El cable de acero está conformado por torones hechos de alambres de acero, colocados de varias formas y ordenadamente con la finalidad de desempeñar un trabajo determinado.

Alambre: Una sola longitud metálica producida de una varilla mediante trefilado en frio.

Torón Estructural o Helicoidal: Alambres enrollados helicoidalmente alrededor de un alambre central para producir una sección simétrica.

Cable Estructural: Varios torones enrollados helicoidalmente alrededor de un núcleo formado por un torón u otro cable.

---

[16] Cristina Narváez y Lorena Sanabria. (2008). Estado del Arte de los Puentes colgantes. (Tesis de Grado). Universidad Pontifica Bolivariana. Bucaramanga-Venezuela. Pág. 57

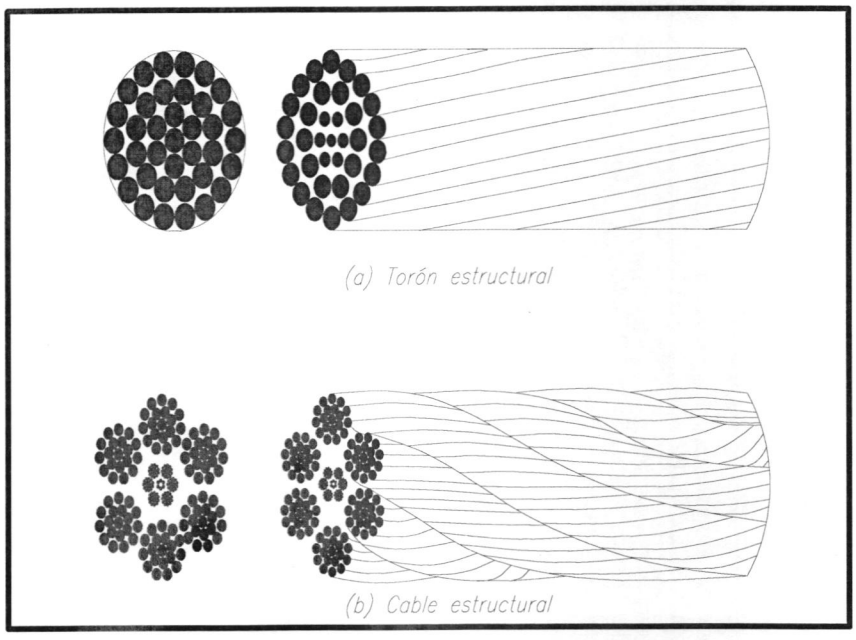


Figura n° 12. Configuración de torón y cable estructural..

Fuente: Tesis, Mantenimiento de puentes colgantes. Quito.

Elaboración: Los Autores.

Torones de Alambres paralelos: Alambres individuales configurados en un arreglo paralelo sin el torcimiento helicoidal.

Torones Enrollados con trabas: Un arreglo de alambres semejantes al torón estructural excepto que los alambres en algunas capas están configurados para que queden trabados cuando se colocan alrededor del núcleo.

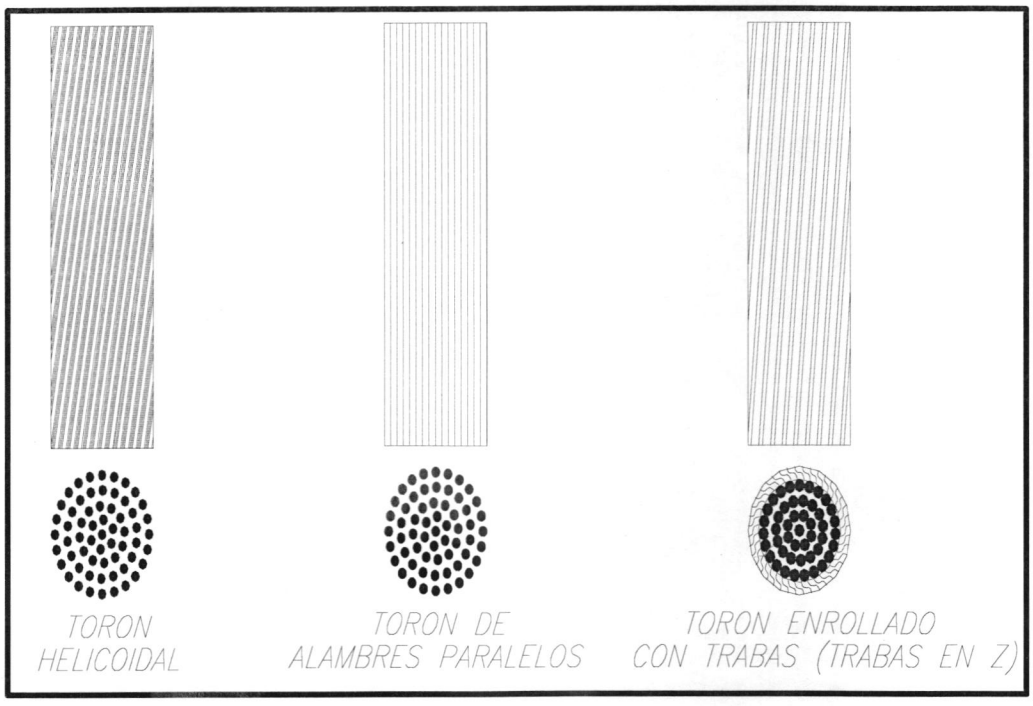


Figura n° 13. Tipos de Torones.

Fuente: Tesis, Mantenimiento de puentes colgantes. Quito.

Elaboración: Los Autores.

La fabricación de los cables metálicos puede ser de dos tipos; Torcido Regular y Torcido Tipo Lang.

Cable con Torcido Regular: Es el más común, tiene los alambres del torón torcidos en dirección opuesta a la dirección de los torones del cable. El cable terminado queda con alambres aparentemente paralelos al eje del cable.

Este cable tiene varias ventajas, como la facilidad de maniobra, no se retuerce o destuercen (formación de bucles) incluso cuando sus extremos no se hallan fijos y son más resistentes al aplastamiento y a la distorsión.

Cable con Torcido Lang: Es el que tiene los alambres y torones torcidos en la misma dirección. El cable terminado aparenta que los alambres exteriormente se vean

en dirección diagonal respecto al eje del cable. Este cable es más resistente al desgaste por abrasión, a la falla por fatiga y son muy flexibles, pero tiene el inconveniente de tener tendencia a formar bucles y a destorcerse, razón por la cual se utilizan estos cables en aplicaciones en las que los extremos de los cables estén fijos y no giren sobre sí mismos.

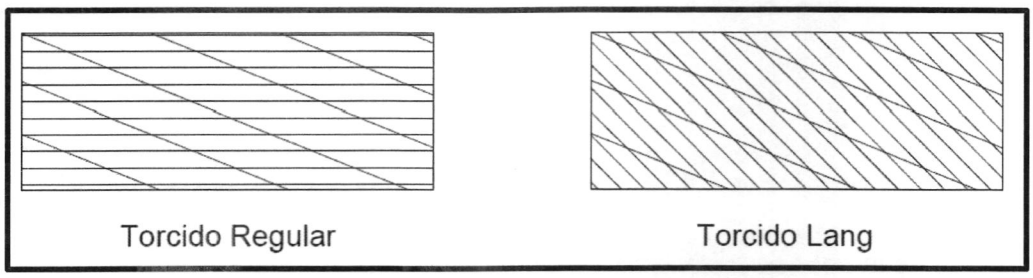


Figura n° 14. Tipos de fabricación de cables de acero.

Fuente: Tesis, Mantenimiento de puentes colgantes. Quito.

Elaboración: Los Autores.

El cable con torcido regular y con torcido Lang se puede fabricar en torcido derecho o izquierdo, esta forma de torcido no afecta de ninguna manera el desempeño y el trabajo que realiza el cable, aunque normalmente se usan en más aplicaciones los cables con torcido derecho.[17]

De acuerdo con la norma ASTM A 603, el área de los alambres que forman el cordón incluye el recubrimiento de zinc, por lo que las tensiones mínimas exigidas son aparentemente menores que para los alambres sin galvanizar. El alambre del que se fabrica el cordón tiene una resistencia mínima a tracción de 1520 MPa (220ksi) y el

[17] David Garcés y Jorge Zaldumbide. (2006). Mantenimiento de Puentes Colgantes con Estructura de Acero. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. Pag.25.

cordón tiene una resistencia mínima de rotura según la norma ASTM A 586, con un valor aproximado de 1380 MPa (200 ksi).[18]

3.3.12. EL SISTEMA DE CABLES

El material es acero de alto contenido de carbono, cuyas diferencias más importantes respecto al acero común empleado en el hormigón armado es:

- Mayor resistencia (de 4200 a 18000 Kg/cm2 mínimo).
- Menor módulo de elasticidad (de 2146000 a 2095000 Kg/cm2)
- Menor ductilidad (de deformaciones a la rotura de 24% al 4%)

Las cantidades de acero de los alambres empleados en puentes colgantes se denominan como:

- Acero de Arado Mejorado (aproximadamente grado 1770 MPa)
- Acero de Arado Extra mejorado (aproximadamente grado 1960 MPa).

Este acero se presenta en forma de alambres los cuales se entrelazan con diferentes configuraciones para formar torones, que pueden ser considerados cables, o los cables propiamente dichos que pueden ser definidos como conjunto de torones.

La forma de entrelazamiento o de unión de elementos usualmente se denomina regular derecha, en la que los alambren forman una hélice que sigue en el sentido de los dedos de la mano derecha cuando su pulgar se apunta en la dirección del eje del

[18] Luis Zegarra. (2007). Análisis y diseños de Puentes Colgantes. (Tesis de Maestría). Pontifica Universidad Católica de Perú. Lima-Perú. Pág. 14.

cable y en la que en cambio los torones formados por estos mismos cables se enrolan en sentido opuesto.

Adicionalmente los cables se protegen contra la corrosión galvanizándolos, todo lo anterior cambia las propiedades de resistencia, módulo de elasticidad, y ductilidad disminuyéndolas. No existen referencias específicas para la ductilidad. Para la resistencia se usan los datos proporcionados por los fabricantes para cada uno de los cables.[19]

Cada productor tiene tablas con las características de los cables que produce. Una de ellas se indica a continuación:

USO	RANGO /DIAMETRO		CONSTRUCCION	ALMA	TORCIDO	TIPO
	mm	plg				
Cable principal	16-26	5/8-1	1x19	--	Izquierdo	Retenida 19
	26-32	1-1 1/4	1x37	--	Izquierdo	Retenida 37
	32-52	1 ¼ - 2	6x43 Filler Seale	A.A. Alma de acero	R.D	Angula 37
	32-52	1 ¼ - 2	6x43 Filler Seale	A.A.	R.D	Cascabel 43
Péndolas	9,5-32	3/8-1 ¼	6x19 Seale	A.A.	R.D	Tonina Seale 19 AA

TABLA No.3: Características de Cables para puentes.

Fuente: Proveedores de Cables.

Elaboración: Los Autores.

[19] Pablo Caiza Ing. Mg. Sc. (2006). Retos en el Análisis Sismoresistente de Puentes Colgantes y Atirantados. (Centro de Investigaciones Científicas CEINCI). Escuela Politécnica del Ejército. Pág. 7

Algunos datos de carga de estos cables se dan a continuación:

Diámetro Nominal		Peso Kg/m	Carga de rotura Pu (tn). (alta resistencia Galvanizado)	Carga de rotura Pu (tn). (Extra alta resistencia Galvanizado)
Plg	mm			
CABLES DE CONSTRUCCIÓN 1x19				
5/8	15.88	1.185	12.75	18.24
3/4	19.05	1.720	18.51	26.45
7/8	22.23	2.355	25.32	36.16
1	25.40	3.090	32.21	47.41
CABLES DE CONSTRUCCIÓN 1x37				
1	25.40	3.060	32.62	46.59
1 1/8	28.58	4.01	41.55	59.34
1 ¼	31.75	4.84	51.53	73.58
1 3/8	35.00	5.80	72.90	103.4

Diámetro Nominal		Peso Kg/m	Carga de rotura Pu (tn). (Acero de arado mejorado Galvanizado-Angular)	Carga de rotura Pu (tn). (Acero de arado Extra mejorado Negro-cascabel)
plg	mm			
CABLES DE CONSTRUCCIÓN 6 x 43 FILLER SEALE.				
1 ¼	32.00	4.30	63.00	72.50
1 3/8	35.00	5.21	75.70	87.10
1 ½	38.00	6.19	89.70	103.00
1 5/8	42.00	7.26	104.00	120.00
1 ¾	45.00	8.44	121.00	139.00

Diámetro Nominal		Peso Kg/m	Carga de rotura Pu (tn). (Acero de arado mejorado Galvanizado)
plg	mm		
CABLES DE CONSTRUCCION 6 x 19 SEALE (para péndolas).			
3/8	9.50	0.390	5.95
7/16	11.00	0.520	8.07
1/2	13.00	0.680	10.40
9/16	14.50	0.880	13.20
5/8	16.00	1.070	16.20
3/4	19.00	1.550	23.20
7/8	22.00	2.110	31.40
1	26.00	2.750	40.70
1 1/8	29.00	3.480	51.30
1 ¼	32.00	4.30	63.00

TABLA No.4: Carga ultima de Cables para puentes.
Fuente: Proveedores de Cables.
Elaboración: Los Autores.

3.3.13. MANTENIMIENTO DE CABLES EN PUENTES COLGANTES

Son aquellas actividades que se deben realizar para reestablecer las condiciones estructurales, funcionales y de seguridad de los puentes y así garantizar la conservación de las estructuras y la transitabilidad de las vías.

Protección contra la Corrosión.

En vista a que los cables se encuentran a la intemperie, es de vital importancia protegerlos ante la corrosión. El procedimiento usualmente empleado es usar cordones fabricados con alambres galvanizados o alambres lisos galvanizados para cables de alambres paralelos.

En los casos de puentes de luces grandes con cables formados por alambres paralelos se emplean alambres galvanizados y terminado el proceso de construcción de los cables, como protección adicional se coloca usualmente una capa de pintura anticorrosiva especial y se envuelve con alambre galvanizado formando una hélice con alambres totalmente pegados.[20]

Aceros resistentes a la corrosión.

Estos aceros satisfacen las necesidades estructurales y son económicos, tienen un buen comportamiento a largo plazo con un bajo mantenimiento.[21]

---

[20] Luis Zegarra. (2007). Análisis y diseños de Puentes Colgantes. (Tesis de Maestría). Pontifica Universidad Católica de Perú. Lima-Perú. Pág. 17.
[21] David Garcés y Jorge Zaldumbide. (2006). Mantenimiento de Puentes Colgantes con Estructura de Acero. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. Pag.85.

- Acero ASTM A709 grado 36 y ASTM a36. (Acero Estructural).
- Acero ASTM A709 grado 50, ASTM A572 grado 52, ASTM A709 grado 50W y ASTM A588. (Acero de baja aleación y alta resistencia o HSLA.)
- Acero ASTM A709 grado 70W y ASTMA852. (Acero de baja aleación, templado y revenido).
- Acero ASTM A709 grados 100/100W y ASTM A514. (Acero aleado de alta resistencia a la cadencia, templada y revenida).[22]

3.3.14. PENDOLAS O TENSORES VERTICALES

Son los elementos doblemente articulados que transmiten las cargas del tablero del puente y de las vigas de rigidez a los cables. Pueden estar formados por uno o dos cordones y de acuerdo con esto cambia la manera de conectarlos al cable.

Estas péndolas se colocan verticalmente, aunque en algunos puentes se les ha colocado inclinadas para mejorar el comportamiento aerodinámico, pero esto aumenta la variación de esfuerzos debidos a la sobrecarga por lo que no se les ha seguido empleando, fundamentalmente este tipo de colocación de las péndolas se manifiesta en los puentes atirantados.

El espaciamiento entre péndolas se selecciona de manera que coincida con los nudos de la viga de rigidez, en puentes de pequeña luz se colocan en cada nudo y en

[22] Roger Brockenbrough y Frederick Merritt. Diseño de estructuras de Acero. Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2da Edición, Tomo 2. Pág. 10.71

puentes de luz grandes generalmente cada dos nudos, dando espaciamiento del orden de 5.00 metros a 15.00 metros.

Cuando la péndola está formada por un cordón, se las fija a la abrazadera colocada en el cable, en su parte inferior. La péndola no se dobla alrededor del cable, no necesita ser flexible, por lo que pueden emplearse alambres paralelos o también barras redondas lisas si las fuerzas no son grandes.

En el caso de emplear barras redondas lisas, la conexión puede ser soldada; si se emplean alambres paralelos o cordones, el anclaje es una pieza metálica tronco cónica hueca que se rellena usualmente con zinc fundido.

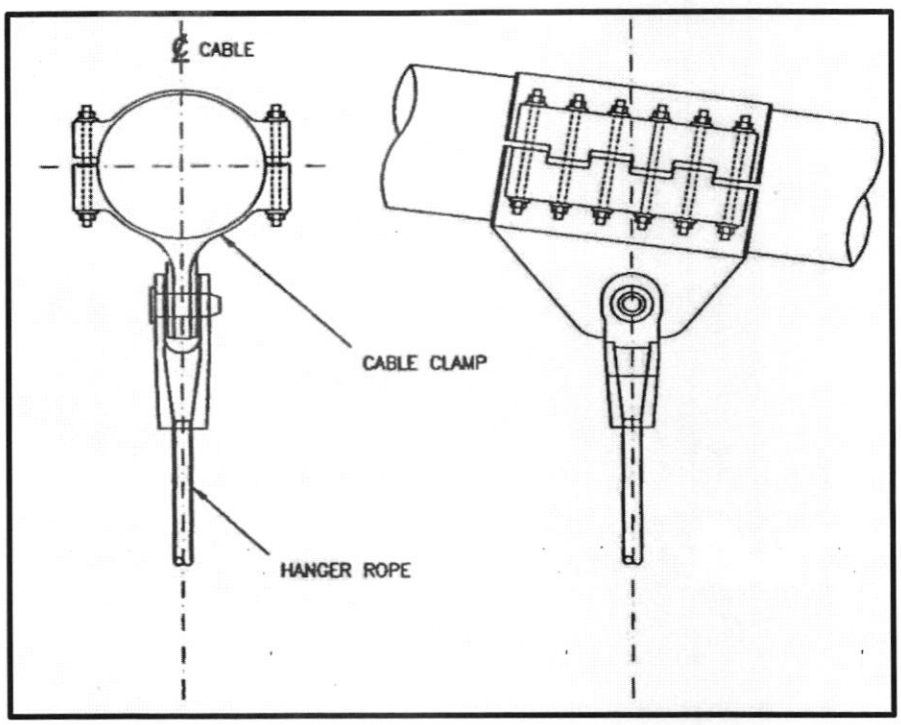


Figura n° 15. Péndola formada por un cable.

Fuente: Tesis de maestría, Diseño de puentes colgantes. Lima-Perú.

Elaboración: Los Autores.

En este caso donde la péndola formada por un cordón, los pernos que permiten ajustar la abrazadera al cable se hallan dispuestos verticalmente. Cuando la péndola está formada por cordones, normalmente envuelve al cable pasando por una ranura de la abrazadera, la que tiene sus pernos de ajuste colocados horizontalmente.[23]

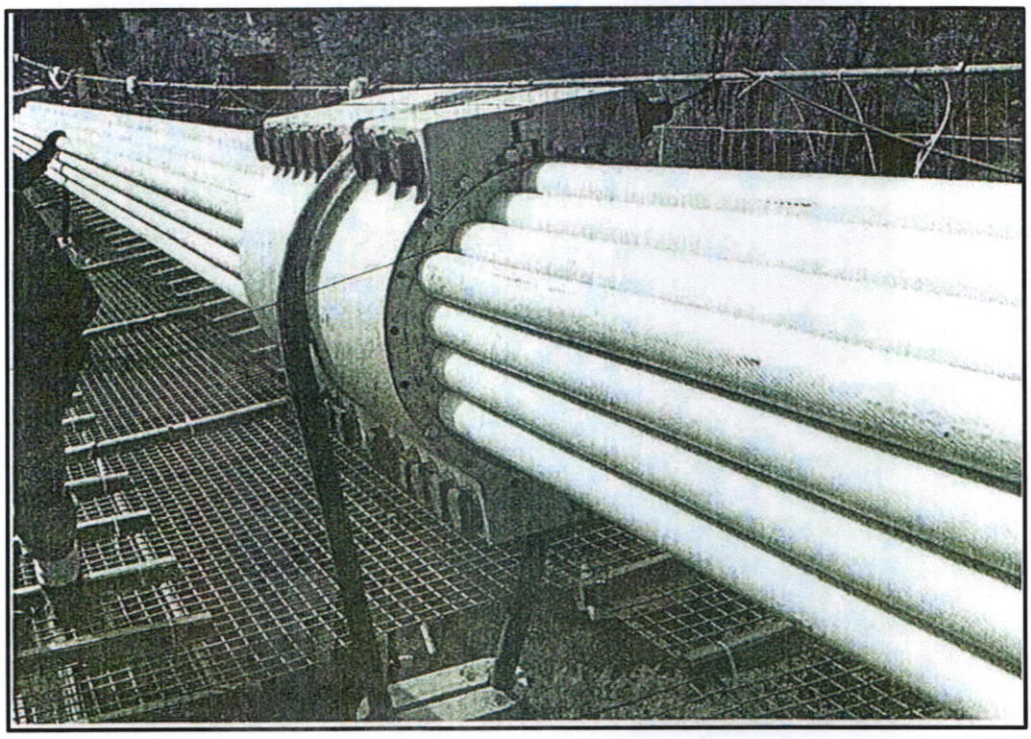


Figura n° 16. Péndola formada por dos cordones.

Fuente: Tesis de maestría, Diseño de puentes colgantes. Lima-Perú.

Elaboración: Los Autores.

3.3.15. ANALISIS Y DISEÑOS DE CABLES

Para el cálculo de la tensión del cable al centro de la luz ante cargas verticales uniformes se puede usar la siguiente ecuación:

[23] Luis Zegarra. (2007). Análisis y diseños de Puentes Colgantes. (Tesis de Maestría). Pontifica Universidad Católica de Perú. Lima-Perú. Pág. 17.

$$H = \frac{W * L^2}{8f}$$

Donde (H) es la tensión horizontal del cable, siempre constante, (W) es la carga distribuida, (L) es la longitud de la luz del vano, (f) es la flecha del cable al centro de la luz.

En el extremo del cable la tensión es máxima y se calcula:

$$T_{max} = H\sqrt{1 + 16 * \frac{f^2}{l^2}}$$

En el extremo de la luz, es decir sobre las torres, se calcula la tensión en el cable de anclaje y la carga sobre la torre usando equilibrio. Se observa que el apoyo del cable sobre la torre supone que se puede desplazar horizontalmente.

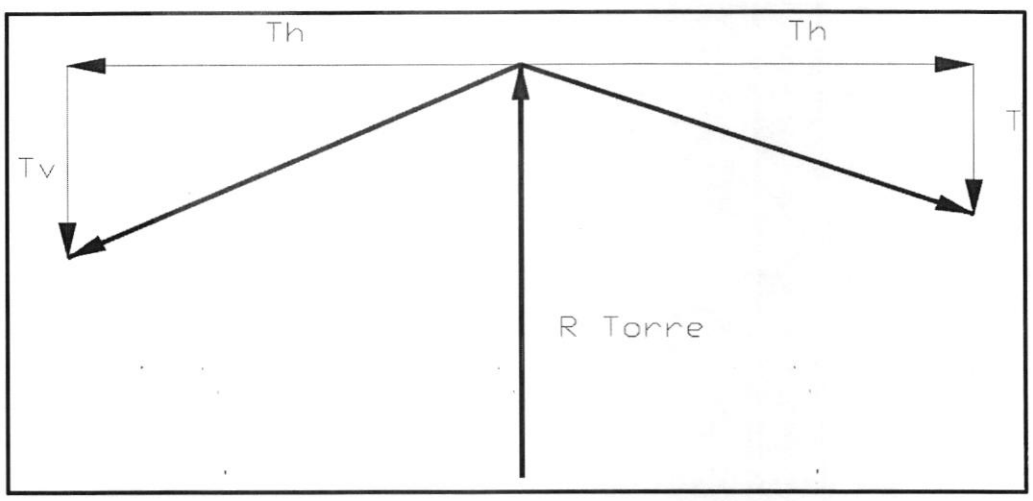


Figura n° 17. Equilibrio sobre las torres.

Fuente: CENCI-ESPE, Retos en Puentes. Quito.

Elaboración: Los Autores.

Para estas cargas el diseño que consiste en compararlas con las de rotura dadas por el fabricante afectadas por un factor de seguridad que para puentes colgantes es de 3.

Otros datos importantes son la longitud del cable y la deformación elástica, que determinan la longitud real del cable que deba ser utilizado.

$$S_0 = L * \left(1 + \left(\frac{8}{3}\right) * \left(\frac{f}{l}\right)^2 - \left(\frac{32}{5}\right) * \left(\frac{f}{l}\right)^4\right)$$

$$\Delta l = \frac{T_{med} * S_0}{A * E}$$

$$T_{med} = \left(\frac{H * l}{S_0}\right) * \left(1 + \frac{16}{3} * \left(\frac{f}{l}\right)^2\right)$$

Y por último aspecto importante es la forma del cable que es una ecuación parabólica, que si se supone el origen en el centro del vano.[24]

$$y = \frac{4 * f}{l^2} * x^2$$

[24] Pablo Caiza Ing. Mg. Sc. (2006). Retos en el Análisis Sismoresistente de Puentes Colgantes y Atirantados. (Centro de Investigaciones Científicas CEINCI). Escuela Politécnica del Ejército. Pág. 22

3.3.16. ANALISIS Y DISEÑO DE PENDOLAS O TENSORES

Para el diseño de las péndolas se determina el número y se divide para la carga actuante en el vano principal del puente. La carga resultante debe ser menor que la admisible a tensión.[25]

$$\frac{q * l}{\# \, de \, pendola} \leq Area \, de \, una \, pendola * (0{,}15 * fy)$$

Las péndolas en los puentes colgantes por lo general se colocan en forma vertical, por tal motivo la inclinación de esta es nula.

En los cables principales el ángulo de incidencia forma parte fundamental para el diseño de torres, ya que según estos dependerá del esfuerzo que se genere en la torre dependiente del ángulo.

[25] Pablo Caiza Ing. Mg. Sc. (2006). Retos en el Análisis Sismoresistente de Puentes Colgantes y Atirantados. (Centro de Investigaciones Científicas CEINCI). Escuela Politécnica del Ejército. Pág. 22

4. VISUALIZACION DEL ALCANCE DEL ESTUDIO

La metodología a utilizar será correlacional, por el motivo de que se necesita de una parte fundamental de tesis anteriores de temas relacionados, además de que su alcance será el de complementar el diseño de la estructura de un puente metálico colgante, cuyo alcance será del diseño de cables y tensores.

4.1. APORTE SOCIAL

El aporte social el cual brinda este proyecto es el de diseñar la estructura de un puente metálico colgante, en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Técnica de Manabí, y por lo tanto ayudar al paso y movilización física de los estudiantes, personal docente, personal administrativos y otras personas que necesitan de servicios generales que deseen realizar actividades en esta facultad.

4.2. APORTE ECONOMICO

El financiamiento de este proyecto es el de que al realizar una movilización más fija, segura y práctica. El traslado mediante el puente colgante reduce el tiempo que sería trasladarse desde las aulas hacia los viveros.

4.3. APORTE CIENTIFICO

El aporte científico consiste en proponer el diseño de un puente metálico colgante para la Facultad de Ciencias agrícolas de la Universidad Técnica de Manabí, ubicado en el Sitio Lodana, cuya orientación esta vinculadas al carácter estructural, que servirá de apoyo para futuras investigaciones.

5. ELABORACION DE HIPOTESIS Y DEFINICION DE VARIABLES

5.1. HIPOTESIS

El desarrollo del diseño de un puente metálico colgante incide en el avance de las actividades de los estudiantes de la Facultad de Ciencias agrícolas de la Universidad Técnica de Manabí.

5.2. DEFINICION DE VARIABLES

5.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Desarrollo del diseño de un puente metálico colgante

5.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Avance de las actividades de los estudiantes de la Facultad de Ciencias agrícolas de la Universidad Técnica de Manabí

5.2.3. TERMINO DE RELACION

Incide. (factor de incidencia del diseño hacia el desarrollo de las actividades).

6. DESARROLLO DEL DISEÑO DE INVESTIGACION

6.1. OBJETIVOS

6.1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la estructura de un puente metálico, de uso peatonal para la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Técnica de Manabí, Ubicado en el Sitio Lodana del Cantón Santa Ana.

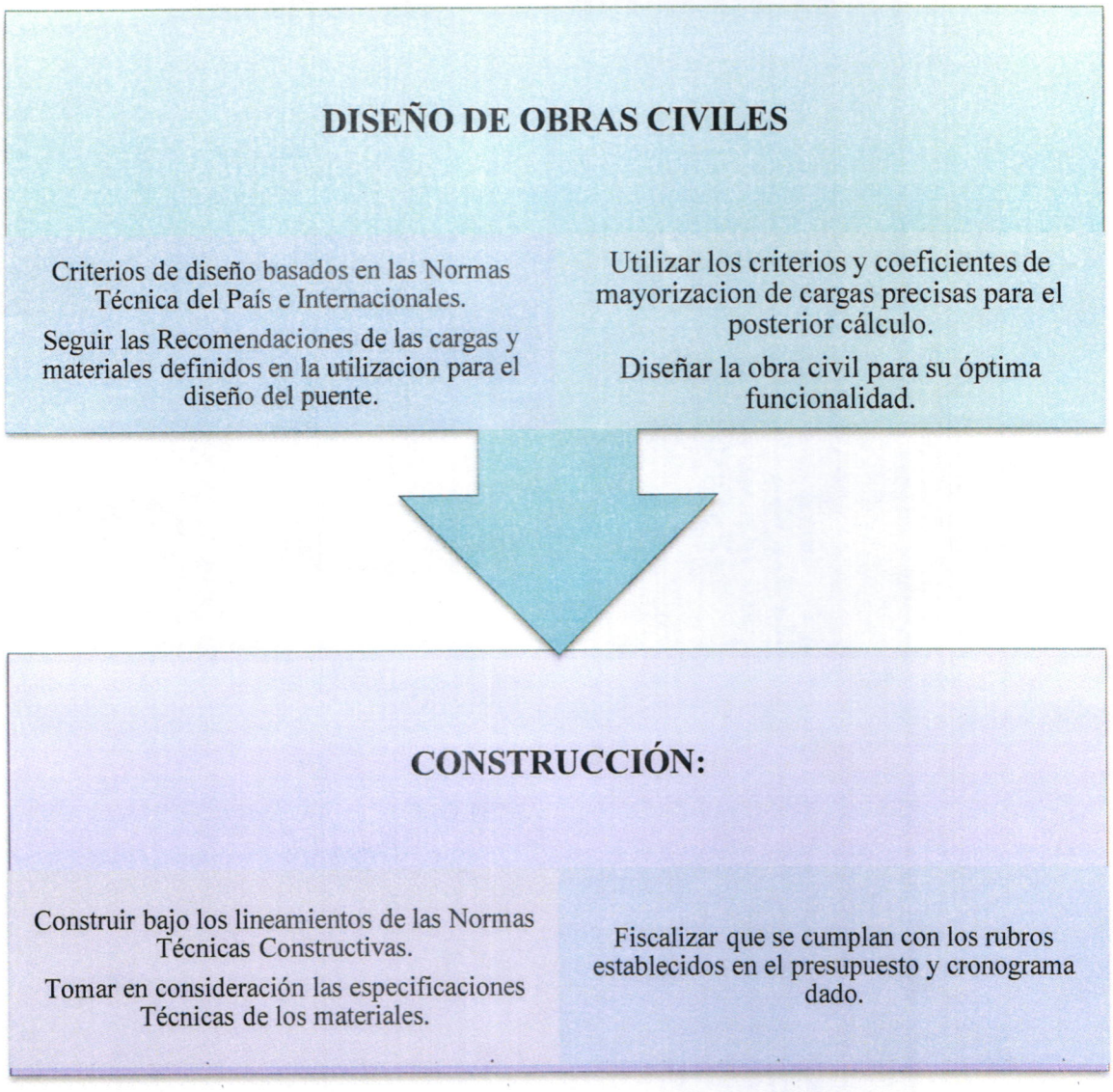
6.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño de la estructura del puente metálico colgante, enfocado en el sistema de cables y tensores
- Determinar las dimensiones para el elemento de los cables principales del puente metálico colgante
- Establecer los parámetros y/o normas para la selección de los materiales utilizado en la construcción de los cables y tensores.
- Obtener planos y detalles los cables y tensores de la estructura del puente metálico colgante.

6.2. CAMPOS DE ACCIÓN

El trabajo del campo de acción se faculta en dos aspectos fundamentales como son:

El Objeto de Estudio como es las Obras Civiles y el Campo de aplicación como es la Construcción.



7. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE MUESTRA

La definición de la muestra y su selección dependerá de las personas a beneficiar, en este caso la muestra será total, ya que se analiza en forma integral el diseño de un puente metálico colgante para la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Técnica de Manabí, ubicado en el Sitio Lodana del Cantón Santa Ana.

8. RECOLECCIÓN DE LOS DATOS

8.1. DISEÑO DE CABLES PRINCIPALES.

Para el diseño del cable se necesitan las dimensiones definidas en el prediseño y en el plano arquitectónico del mismo.

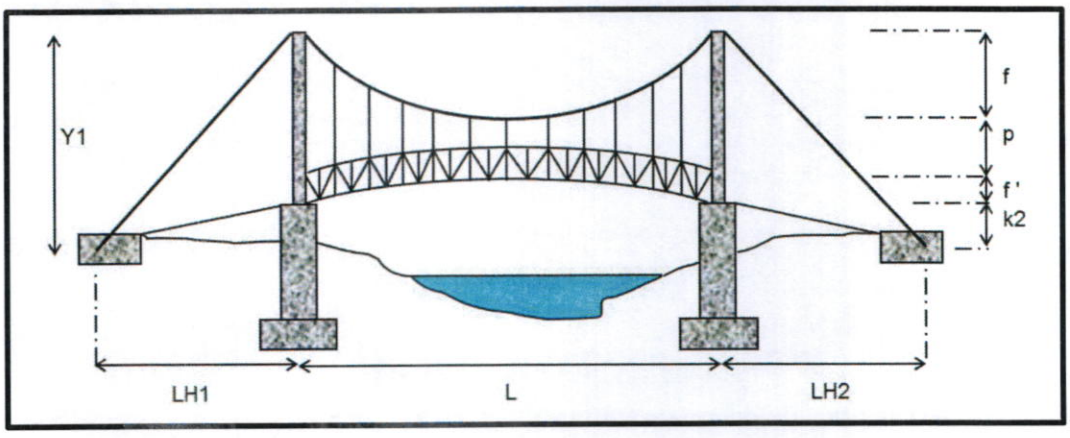


Figura n°18. Sección típica del Puente Colgante Metálico

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

La determinación de las dimensiones está directamente ligadas a la Longitud del puente (L), dicha longitud se calcula mediante la topografía del cauce además de un exhaustivo estudio Hidrológico. Quedando la longitud definida de **35.00 metros.** El estudio hidrológico se determinó y se explicó en la primera fase de este diseño.

Longitud Izquierda y Longitud Derecha al fijador (LH1 Y LH2), es la distancia comprendida desde las torres a los bloques de anclaje medida en forma horizontal, según el prediseño definida en **10.00 metros.**

Flecha del cable principal (f), es la distancia medida desde la parábola del cable hasta la corona de las torres, para aquello se recomienda 1/9 de la Longitud del puente, es decir: **f=1/9 (35.00)= 3.88 que se aproxima a 4.00 metros.**

Altura de la péndola más pequeña o tensor (p), es la distancia desde la corona del tablero hasta la parábola del cable principal, definida por **0.50 metros.**

Contra flecha del puente (f´), definida por la deflexión que se pueda provocar en el puente, por efecto de las carga y peso propio del mismo, definido por **1.50 metros.** Ya que es la distancia mínima que recomienda la AASHTO para protección del tablero y la correspondiente diseño a deflexión.

Profundidad del anclaje (k), corresponde la distancia desde la placa base de las torres de puente hasta la fijación de los anclajes, definida por **3.00 metros**

Altura total del puente (Y), es la acumulación de la flecha del cable, contra flecha, tensores o péndolas y el valor de la fijación desde la base de las torres, definido así: **4,00+0,50+1,50+3,00= 9,00 metros**

DATOS:

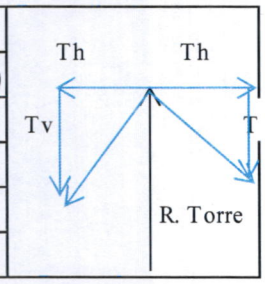
Longitud del vano	L=	35,00	mtr.
Flecha del Cable.	f=	4,00	mtr.
Contraflecha	f´=	1,50	mtr.
Longitud al Fijador	Lh=	10,00	mtr.
Alt.de pendola pequeña	p=	0,50	mtr.
Profundidad del anclaje	k=	3,00	mtr.
Altura total al fijador	Y=	9,00	mtr.
Densidad del Acero de Cables		γ = 7,849	Tn/m^3
Modulo d Elasticidad del cable		E = 16000000	T/m^2

CARGAS Y PESOS

Peso de cables	15,3	Kg
Peso de péndolas	43,52	Kg
Peso de Tablero	470,04	Kg
Sobrecarga	415	Kg
TOTAL	943,86	Kg
	0,47	Ton

FACTOR SEGURIDAD		3	
N = f/L		0,11	
TENSIÓN HORIZONTAL	$H = WL^2/8f =$	17,99	Tn
TENSIÓN EN EL CABLE	$T = (H)*\sqrt{(1+16N^2)} =$	19,78	Tn
TENSIÓN VERTICAL EN EL FIADOR	$Tv = (Y1/L1)*H =$	16,19	Tn
TENSIÓN EN EL FIADOR	$Tf = \sqrt{(H^2+Tv^2)} =$	24,21	Tn
TENSIÓN DE DISEÑO	$Tu = FS*Tmayor =$	72,62	Tn

CABLE PRINCIPAL (1x37)				
Ø	No	Area(cm2)	Peso(Kg/m)	C.R. Pu(Tn)
1"	1	5,31	3,06	46,59
1 1/8"	2	6,61	4,01	59,34
1 1/4"	3	8,04	4,84	73,58
1 3/8"	4	9,57	5,80	103,4



La formula del Cable es una ecuacion Parabolica

$y (m) = 0,0131\ x^2$
4,00

Remplaza → x 17,5 m

Ingrese el numero del cable a usar 1

Cables nesesarios 1,56 cables

Cables a utilizar **2 CABLES de 1 "** **En cada lado del puente**

LONG. DEL CABLE $S_0 = l*[1+(8/3)(f/l)^2-(32/5)(f/l)^4]$ 36,18 m

$Tmed = (H*l/S_0)[1+(16/3)(f/l)^2]$ 37,23 Tn

Area = Peso por unidad de longitud/Peso volumetrico 0,000390 m^2

DEFORMACION ELASTICA $\Delta l = Tmed*S_0/A*E$ 0,22 m

LONGITUD TOTAL DEL CABLE = $S_0 + \Delta l =$ 36,40 m

8.2. DISEÑO DE PENDOLAS O TENSORES.

Fy ASTM A-36 =	4200 Kg/cm²
Numero de pendolas =	28

PENDOLAS			
Ø	No	As(cm2)	peso(kg/ml)
1/2"	1	2,54	0,68
3/4"	2	2,85	1,55
7/8"	3	3,88	2,11
1"	4	5,07	2,75
1 1/8"	5	6,41	3,48

Para el diseño de las péndolas carga resultante de ser menor que la admisible a tensión de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$(q*l)(\#\ de\ péndolas) \leq Área\ de\ 1\ péndola * (0,15*fy)$$

Ingrese el número del cable a usar 1

Área de péndola a utilizar 2,54 cm^2

587,50 Kg/cm^2 < 1.597,05 Kg/cm^2 **OK**

Se usarán péndolas de 1/2" cada lado del puente

9. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para el posterior análisis de los datos procesado, se faculta en el diseño de los cables y tensores, cuyos componentes están formado de acero, normalizado por la ASTM, la cual regula a nivel internacional los componentes de los materiales.

Los cables y tensores analizados se basan en la resistencia a la tensión de los mismos, cuyo esfuerzo es provocado por el peso de la estructura que se compone del tablero y viga de rigidez.

La tensión que se genera en los cables, son directamente proporcional al peso de la estructura, es decir, que a mayor peso mayor será el esfuerzo en los cables. Los tensores también son los que transmiten la tensión al cable principal.

El cable principal se ancla de manera segura a bloques o fijadores con respecto al suelo, en el cual la inclinación de los cables supone en reducir o aumentar los esfuerzos de la tensión, a mayor Angulo de inclinación de los cables la tensión mayor será la fijación.

El cable principal debe cumplir con la flecha máxima permitida, generando así la seguridad, y el aspecto estructural de un arco invertido para el óptimo funcionamiento del puente.

Los tensores o péndolas se diseñan en función al peso y la separación debe ser la óptima para el adecuado reparto de las cargas que se genera por el peso del propio del puente y el peso de la carga viva.

9.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1.1. CONCLUSIONES.

- Se concluye que la realización del diseño de la estructura del puente metálico colgante, enfocado en los cables principales y tensores, son de suma importancia para la suspensión del tablero y otros elementos.

- Una vez que se realiza el diseño de los cables, es de vital importancia la determinación óptima de las dimensiones y secciones del cable principal para la futura construcción.

- Se concluye que en la construcción de los puentes se determinen y se utilicen materiales de buena calidad, que estén dentro de las especificaciones técnicas cada uno de las normas de construcción, incluyendo un buen mantenimiento del puente.

- Para la construcción del puente es muy importante que se detallen de la mejor manera los cables y tensores que se utilicen en la futura construcción, ya que esto facultara el desempeño óptimo de la construcción.

9.1.2. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda que la realización del diseño de la estructura del puente metálico colgante, enfocado en los cables principales y tensores, sean de manera efectiva aplicando los conocimientos de la ingeniería civil, y las normas de diseño basado en las normas vigentes.

- Una vez que se realiza el diseño de los cables, se recomienda que sea de vital importancia la determinación óptima de las dimensiones y secciones del cable principal para así no tener problemas en la futura construcción y el desempeño de la obra sea la aceptable. Incluyendo el mantenimiento preventivo.

- Se recomienda que en la construcción de los puentes se utilicen materiales de buena calidad, que estén dentro de las especificaciones técnicas y que cada uno de los tensores se fijen según las normas de materiales estructurales de acero como ASTM y AISC.

- Para la construcción del puente se recomienda que los planos estructurales sean lo más detallado posible, tanto en los cables y tensores para que la construcción sea adecuada.

PRESUPUESTO

Nº	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Transporte	$120,00
2	Materiales y equipos de oficina	$125,00
3	Fotocopias	$ 54,50
4	Impresiones	$60,50
5	Empastado del Trabajo de titulación	$50,00
6	Gastos imprevistos	$100,00
	SUBTOTAL:	**$ 510,00**
7	Compra de varios materiales para construcción, Pago de Mano de Obra, en el diseño de un puente metálico colgante para el Sitio Lodana, de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí.	$ 8.000,00
	TOTAL:	**$8.510,00**

CRONOGRAMA VALORADO

Actividades	Julio				Agosto				Septiembre				Recursos		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	Humanos	Materiales	Financieros
Investigación bibliográfica y de campo	X	X	X	X									Autores y Tutor de Tesis	Transporte y Materiales y Equipos de oficina	$ 100,00
Compra de varios materiales para construcción, Pago de Mano de Obra, en el diseño de un puente metálico colgante para el Sitio Lodana, de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí.					X	X							Autores de Tesis	-	$ 8.000,00
Elaboración del informe de tesis							X	X	X				Autores de Tesis	Materiales y Equipos de oficina	$ 210,50
Presentación del Informe de Tesis													Autores de Tesis	Materiales y Equipos de oficina	$ 199,50
														TOTAL=	$8.510,00

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

ACI-318S-11. (2011). *Instituto Americano de Concreto. Diseño de Estructuras de Concreto.* Estados Unidos: Registro Oficial.

Ing Herrera., J. (1996). *Puentes.* Colombia.: Facultad de Ingenieria Civil. Universidad Catolica de Colombia.

Ing Romo., M. (2010.). *Puentes de Gran Longitud.* Quito, Ecuador.: Publicaciones CENCI-ESPE.

NEC-14. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construccion.Capitulo 1. Cargas y Materiales.* Quito, Ecuador.: Registro Oficial.

Nilson., A. (1994). *Diseño de estructuras de Concreto.* Santa Fe, Bogota.: McGraw-Hill Interamericama S.A.

Parker, H. (1995). *Ingenieria Simplificada para Arquitectos y Constructores.* Mexico D.F.: Limusa S.A. Grupo Noreiga Editores.

Singer., F. (1982). *Resistencia de Materiales.* Mexico D.F.: Harla S.A. de C.V.

Timoshenko., S. (2000). *Elementos de Resistencia de Materiales.* Mexico D.F.: Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.

Villarino, A. (2002). *Tesis de Maestrias sobre Puentes.* España: Escuela Politecnica Superior de Avila.

AASHTO. (2004). *AASHTO LRFD Bridge specification desing 3rd edition.* American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.

Ing Caiza., P. (2006.). *Retos en puentes, diseño de puentes colgantes.* Quito, Ecuador.: Publicaciones CENCI-ESPE.

ANEXOS

ANEXO 1. PLANOS FINALES.