

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

### **MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**DAVID ESTEBAN GARCÉS UNDA**

**JORGE HUMBERTO ZALDUMBIDE ARAUJO**

**DIRECTOR: ING. MDI. CARLOS BALDEÓN**

**Quito, mayo 2006**

# DECLARACIÓN

Nosotros, David Esteban Garcés Unda y Jorge Humberto Zaldumbide Araujo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

David Esteban Garcés Unda

---

Jorge Humberto Zaldumbide Araujo

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por David Esteban Garcés Unda y Jorge Humberto Zaldumbide Araujo, bajo mi supervisión.

---

Ing. Mdi. Carlos Baldeón  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## RESUMEN

El **Mantenimiento de Puentes Colgantes con Estructura de Acero**, nace como un proceso que sirve para regular el cuidado de dichos puentes a corto, mediano y largo plazo, bajo el uso de normas técnicas y la supervisión en el control de proyectos.

El objetivo de la implantación y aplicación del Mantenimiento en Puentes Colgantes con Estructura de Acero, es la de desarrollar la vida útil del puente e inclusive repotenciarlo, además obtener bajas pérdidas, pocas paradas y cero accidentes, para lo cual se vale de dos etapas propuestas en el presente trabajo.

El Registro Oficial N° 779 del 22 de Julio de 1991, Art. 16 de Mantenimiento, dice: “Las instituciones están obligadas a ejecutar, en forma eficiente, efectiva, económica y oportuna, el mantenimiento de las obras públicas que son de su responsabilidad, bajo una adecuada programación”.

La situación práctica difiere de lo expuesto en este artículo ya que varios accidentes se han suscitado por omitir la aplicación de dicho reglamento.

La industria de nuestro país necesita valerse de un sistema que dé cumplimiento al punto anterior. Basado en esta necesidad, el presente proyecto presenta una metodología para iniciar con el desarrollo de todo el proceso de mantenimiento.

## PRESENTACIÓN

El objetivo del trabajo contenido en el presente proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico es el **Mantenimiento de Puentes Colgantes con Estructura de Acero**. Con este fin, el proyecto se ha dividido en cinco capítulos:

El primer capítulo contiene los Fundamentos Teóricos e Inventario de Puentes Colgantes en el Ecuador, con el fin de dar a conocer sus conceptos y principios básicos, definición, clasificación, función, arreglos y elementos.

En el segundo capítulo se desarrolla el Diseño de Procedimientos de Mantenimiento para Puentes Colgantes con Estructura de Acero, en el cual se detallan:

- Definición de Mantenimiento.
- Pilares del Mantenimiento.
- Pasos para la implantación del Mantenimiento.
- Metodología del Mantenimiento.
- Control de calidad.
- Métodos de Mantenimiento.
- Costos.
- Procedimientos de Mantenimiento de los Elementos Estructurales, Funcionales y De Seguridad de Puentes Colgantes con Estructura de Acero.

El tercer capítulo corresponde al análisis de Costos Unitarios y como se cuantifican los costos directos, indirectos y el desglose de los mismos.

El cuarto capítulo es la Aplicación de los Procedimientos de Mantenimiento y Análisis de Costos Unitarios a un Puente Tipo.

Por último el quinto capítulo corresponde a conclusiones y recomendaciones.

# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INVENTARIO DE PUENTES COLGANTES EN EL ECUADOR**

### **1.1 ESTRUCTURA**

#### **1.1.1 DEFINICIÓN DE ESTRUCTURA**

Un sistema estructural es aquel que consta de un arreglo estructural primario que soporta cargas, las cuales actúan también sobre sus miembros y conexiones.

Por lo general las estructuras son demasiado complicadas como para darles una definición específica, para determinar el concepto de una estructura, es conveniente convertir el sistema estructural en una forma idealizada, tales como: armaduras, pórticos rígidos y vigas continuas.

El comportamiento de una estructura se define por los desplazamientos y fuerzas producidas dentro de la misma como resultado de influencias externas.

#### **1.1.2 CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS**

Las estructuras pueden dividirse en varios grupos:

- Estructuras mixtas de varios tipos de materiales.
- Estructuras metálicas.

##### **1.1.2.1 Clasificación de las estructuras metálicas**

Las estructuras metálicas se dividen en dos grupos:

- Estructuras de cascarón.
- Estructuras reticulares.

#### *1.1.2.1.1 Estructuras Reticulares*

Estas estructuras se caracterizan por estar constituidas de conjuntos de miembros alargados, tales como:

- Armaduras.
- Pórticos rígidos.
- Trabes.
- Tetraedros o estructuras reticuladas tridimensionales.
- Vigas continuas.

Los miembros principales de las estructuras reticulares no son generalmente funcionales y se usan únicamente para la transmisión de las cargas, esto obliga a colocar elementos adicionales, tales como:

- Techos.
- Muros.
- Pisos.
- Pavimentos, etc.

## **1.2 PUENTE**

### **1.2.1 DEFINICIÓN DE PUENTE**

Es una estructura reticular que facilita las actividades aquellas que pudieran encontrar dificultad en sortear un obstáculo natural o una vía de circulación terrestre o marítima.

## **1.2.2 FUNCIÓN DE UN PUENTE**

Las funciones principales de un puente son:

1. Soportar el tránsito de vehículos o de otro tipo sobre un cruce, que puede ser un río, una barranca o bien otra línea de tránsito.
2. Servir de forma segura.
3. Ser económico.
4. Debe diseñarse estéticamente de modo que armonice y enriquezca la belleza de sus alrededores.

## **1.2.3 CLASIFICACIÓN DE PUENTES**

La clasificación de los puentes se la hace de diferentes formas, las cuales son:

### **1.2.3.1 Según su sección transversal**

- Puentes de paso superior.
- Puentes de paso inferior.
- Puentes de paso a través medio.
- Puentes de doble piso.

### **1.2.3.2 Según la naturaleza de la vía soportada**

- Puentes de ferrocarril.
- Puentes de carretera.

### **1.2.3.3 Según el tipo de los miembros principales**

- Puentes de vigas "I".

- Puentes de traves de alma llena u ortotrópicos.
- Puentes de armadura.

#### **1.2.3.4 Según el material principal constitutivo**

- Puentes de madera.
- Puentes de hierro.
- Puentes de acero.
- Puentes de hormigón armado o de hormigón pretensado.
- Puentes de aleaciones de aluminio.

#### **1.2.3.5 Según la disposición estructural de sus miembros principales de carga**

- Puentes de claro libremente apoyado.
- Puentes de claros continuos.
- Puentes en voladizo.
- Puentes en arco.

#### **1.2.3.6 Según su funcionamiento mecánico**

- Puentes de vigas.
- Puentes atirantados.
- Puentes de losa.
- Puentes arco.
- Puentes bóveda.
- Puentes pórtico.
- Puentes colgantes.

### **1.2.3.7 Según el tipo de conexiones**

- Puentes remachados.
- Puentes soldados.
- Puentes atornillados.
- Puentes con pasadores.

### **1.2.3.8 Según el tipo de tablero**

- Puentes de tablero fijo.
- Puentes de tablero móvil.
- Puentes levadizos.
- Puentes giratorios.
- Puentes basculantes.

### **1.2.3.9 Según su disposición en planta**

- Puentes rectos.
- Puentes esviados o curvos.

### **1.2.3.10 Según el tiempo de vida previsto**

- Puentes definitivos.
- Puentes provisionales.

### **1.3 PUENTES SOPORTADOS POR CABLES DE ACERO**

Un buen proyecto de un puente debe tomar en cuenta las condiciones geográficas y geológicas del lugar. Los requisitos de alturas libres, los procedimientos de montaje y el método de construcción de la cimentación, afectarán el tipo y el claro de la superestructura. El proyectista debe considerar todos estos factores durante la planeación y el diseño.

Los puentes sostenidos por cables se caracterizan por lo general por su economía, ligereza y claridad de la acción estructural. Estos tipos de estructuras ilustran el concepto de la forma consecuente con la función y presentan apariencias elegantes y estéticamente agradables.

Los diseños para puentes sostenidos por cables que dependen de cables de acero de muy alta resistencia como elementos estructurales principales, pueden clasificarse como:

1. Puentes colgantes (con forma de "M" alargada).
2. Puentes atirantados (con forma de "A" con cables estacionarios).

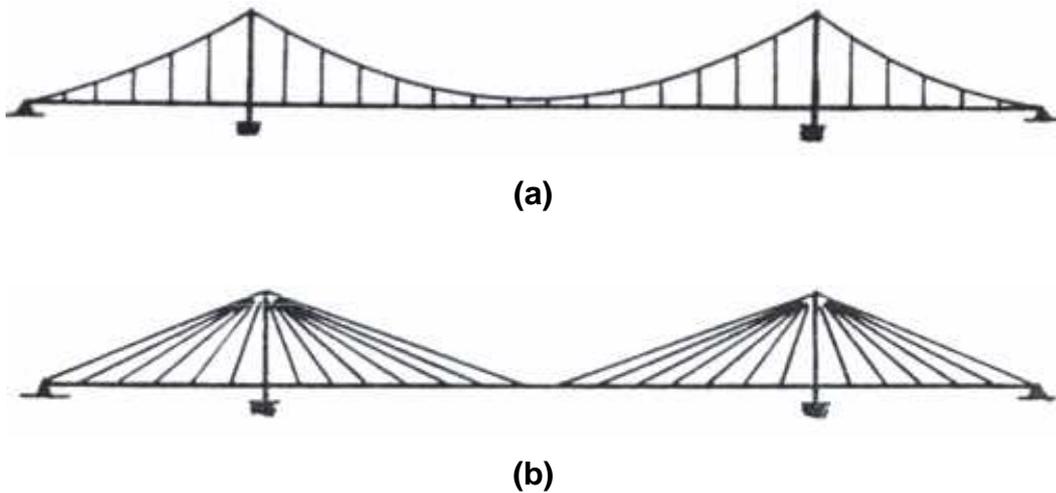
La diferencia fundamental entre estas dos clases es la manera como el tablero del puente es soportado por los cables.

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

Los cables inclinados del puente atirantado soportan el tablero del puente en forma directa con cables más o menos tensos, que comparados con el clásico puente colgante, suministran apoyos relativamente inflexibles en varios puntos a lo largo de la luz. La geometría casi lineal de los puentes atirantados produce una mayor rigidez que la del correspondiente puente colgante.

El puente tipo "A" solo requiere de una torre y no de dos torres con cuatro anclajes como es necesario para el diseño del puente tipo "M". Los cables

del puente tipo “A” están dirigidos desde la viga de rigidez hacia una torre simple donde son asegurados.



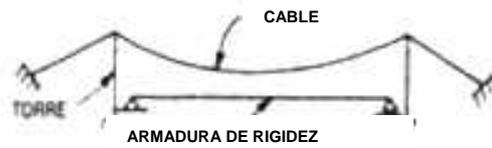
**Figura 1.1** Puentes soportados por cables: (a) Puente colgante, (b) Puente atirantado. <sup>1</sup>

## 1.4 PUENTES COLGANTES

La característica económica básica de los puentes colgantes, resultante del uso de materiales de alta resistencia a la tensión, es la ligereza, debida a la carga muerta relativamente baja. Por tal razón, esto conlleva la desventaja estructural de la flexibilidad, que puede conducir a grandes deflexiones bajo carga viva y sensibilidad a vibraciones. Como resultado, los puentes colgantes son más apropiados para puentes de carretera que para los más pesadamente cargados puentes de ferrocarril. No obstante, tanto para puentes de carreteras como para puentes férreos debe tenerse cuidado en el diseño para proporcionar resistencia a las oscilaciones producidas por viento o sismo.

### 1.4.1 Arreglos de puentes colgantes

Los arreglos más comunes de puentes colgantes son:



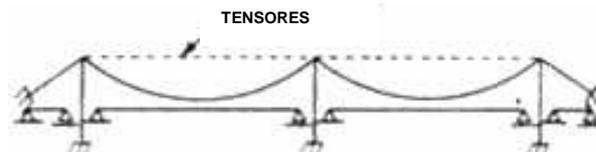
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

**Figura 1.2** Arreglos para puentes colgantes de acero: (a) Una luz colgante, con armadura de rigidez de extremos articulados, (b) Tres luces colgantes con armaduras de rigidez de extremos articulados, (c) Tres luces colgantes con armadura de rigidez continua, (d) Puente de varias luces con armaduras de rigidez de extremos articulados, (e) Puente colgante autoanclado. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 3, pag. 14.6 y 14.8

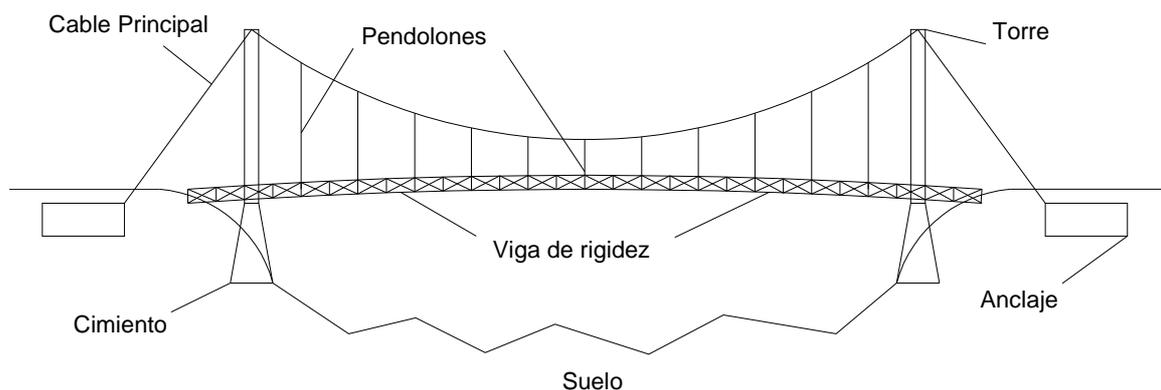
## 1.5 PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

Pocas estructuras son tan universalmente llamativas como los puentes soportados por cables. El origen del concepto de salvar grandes luces con cables, utilizando su resistencia a la tensión, se pierde en la antigüedad y sin duda, se extiende hacia atrás en el tiempo hasta antes de los registros históricos.

### 1.5.1 DEFINICIÓN DE PUENTE COLGANTE DE ACERO

Es una estructura metálica que posee una calzada constituida por la viga de rigidez y el tablero, posee dos cables metálicos, los cuales se extienden a lo largo del 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 de los cables de acero. Las dos torres son generalmente de hormigón armado. Los cables de acero transfieren el peso de la viga de rigidez, del tablero y de los vehículos a las torres y estas a su vez transfieren las cargas a los cimientos.

### 1.5.2 PARTES CONSTITUTIVAS DE UN PUENTE COLGANTE DE ACERO



**Figura 1.3** Partes constitutivas de un puente colgante de acero.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Elaborado por GARCÉS D.; ZALDUMBIDE J.

### **1.5.2.1 Cable de acero**

El cable es un elemento sometido a tracción, es flexible y está estructuralmente formado por varios hilos o alambres de acero entrelazados. El cable transfiere las cargas que soportan los pendolones, hacia las silletas. Por lo general estos cables son de acero galvanizado de alta resistencia.

### **1.5.2.2 Viga de rigidez y armadura de rigidez**

La viga de rigidez, como su nombre lo indica, es un elemento rígido sometido a compresión, la cual puede ser de alma llena (viga con forma de "I") o de celosía (armadura). La viga se localiza entre los bordes laterales del puente. Este elemento soporta todo el tráfico del puente y transfiere la carga a los pendolones.

### **1.5.2.3 Pendolones**

Los pendolones son elementos sometidos a tracción y unen la calzada al cable de acero. Los pendolones transfieren las cargas que soporta la calzada, hacia el cable.

### **1.5.2.4 Torres**

Las torres son elementos rígidos, sometidos a compresión y sirven de apoyo para los cables, en la unión del cable con la torre (silletas) es donde se transfiere la carga. Las torres en determinados casos sirven de apoyo intermedio de la viga de rigidez y transmiten la carga a los cimientos.

### **1.5.2.5 Sistema de anclaje**

El sistema de anclaje une los extremos del cable a la roca natural o artificial. Este anclaje inclusive puede hacerse a través de la viga de rigidez en los puentes denominados autoanclados. Sobre los anclajes se transfiere parte de la carga que soporta el cable del puente.

#### **1.5.2.6 Neoprenos**

Son apoyos hechos parcial o totalmente de material elastomérico. Se usan para transmitir las cargas de un miembro estructural a un apoyo, permitiendo movimientos entre el puente y el apoyo.

#### **1.5.2.7 Cimientos**

Son las bases que se hallan empotradas en el suelo y es donde las torres se apoyan. Es el sitio final donde se transmiten las cargas que actúan sobre el puente.

#### **1.5.2.8 Silleta**

Son grandes elementos fundidos de acero en una pieza o para reducir peso, soldados en partes. En estos elementos se anclan o apoyan los cables del puente y transmiten las cargas que soportan el cable, hacia las torres y anclajes.

#### **1.5.2.9 Tablero**

El tablero es un elemento estructural que se localiza sobre la viga de rigidez, es el responsable de soportar directamente las cargas aplicadas sobre el y transferirlas hacia la viga de rigidez.

### **1.5.3 CLASIFICACIÓN DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Los tipos más comunes de puentes colgantes son:

- Puentes colgantes con viga de rigidez en el tramo central.
- Puentes colgantes con viga de rigidez en tres tramos isostáticos.
- Puentes colgantes con viga de rigidez continua sobre los tres tramos.

#### **1.5.4 TIPOS DE MIEMBROS Y APOYOS ESTRUCTURALES**

Una estructura reticular está compuesta de miembros unidos entre sí por medio de conexiones. Un miembro puede ser un perfil laminado o bien estar formado por varios perfiles unidos por soldadura, remaches o tornillos.

##### **1.5.4.1 Miembros estructurales**

Los miembros pueden transmitir cuatro tipos fundamentales de cargas y se los clasifica de acuerdo con ellas:

- **Tensores**  
Transmiten cargas de tensión.
  
- **Columnas**  
Transmiten cargas de compresión.
  
- **Trabes o vigas**  
Transmiten cargas transversales.
  
- **Ejes o flechas**  
Transmiten cargas de torsión.

En la práctica, la mayoría de los miembros transmiten una combinación de flexión, torsión y tensión o compresión axial. En los puentes, frecuentemente cuando los miembros están sometidos a la acción de cargas combinadas, una de ellas es más importante y gobierna el diseño.

##### **1.5.4.2 Apoyos estructurales**

Hay tres tipos de apoyos ideales. En la mayor parte de las situaciones, las condiciones de apoyo de la estructura pueden describirse por una de estas tres, las cuales son:

- **Apoyos de rodillos.**

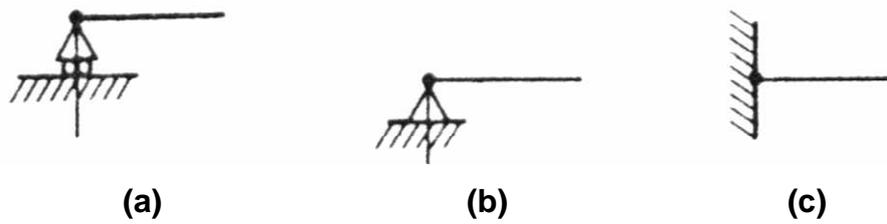
El movimiento horizontal y la rotación no están restringidos, pero el movimiento vertical si lo está.

- **Apoyos articulados o de pasador.**

Los movimientos horizontal y vertical están restringidos, pero la rotación no lo está.

- **Apoyo empotrado.**

No es posible la translación ni la rotación.



**Figura 1.4** Tipos de apoyos: (a) De rodillos, (b) Articulado, (c) Empotrado.<sup>3</sup>

La elección de los miembros y apoyos que deben emplearse en estructuras convencionales es una operación de rutina para el diseñador de puentes de acero, por esta razón, es fundamental lograr una perfecta comprensión de las funciones de estos elementos.

### 1.5.5 ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR PARA ESTRUCTURAS DE ACERO

La construcción de puentes de acero implica la intervención de propietarios, diseñadores, fabricantes y constructores.

---

<sup>3</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 1, pag. 3.20

En primer lugar, propietarios y diseñadores deben llegar a un acuerdo en cuanto a los requerimientos generales del proyecto, basados en ellos, los diseñadores preparan los planos y las especificaciones que describen el proyecto en detalle.

Estos planos y especificaciones sirven a fabricantes y constructores para construir la estructura, en este proceso, las especificaciones juegan un papel fundamental ya que se definen normas de calidad aceptables para los materiales y la mano de obra, tanto para la fabricación como para el montaje. Se utilizan tres tipos de especificaciones:

1. Especificaciones de proyecto.
2. Especificaciones de materiales.
3. Especificaciones de diseño.

#### **1.5.5.1 Especificaciones de proyecto <sup>4</sup>**

- Junto con los planos, se suministra a los fabricantes y proveedores de servicios información completa referente a los requisitos precisos establecidos por el propietario y el ingeniero para la estructura terminada, por lo tanto, su exactitud, alcance y claridad son de gran importancia.

#### **1.5.5.2 Especificaciones de materiales <sup>4</sup>**

- Son establecidas en los Estados Unidos principalmente por la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales o ASTM por sus siglas en Inglés.
- En casos especiales por la Asociación Americana de Normas o ASA por sus siglas en Inglés.

### 1.5.5.3 Especificaciones de diseño <sup>4</sup>

- Son preparados en los Estados Unidos por el Instituto Americano de la Construcción en Acero o AISC (por sus siglas en Inglés).
- Por la Sociedad Americana de Soldadura o AWS (por sus siglas en Inglés).
- Por el Instituto Americano del Hierro y del Acero o AISI (por sus siglas en Inglés).
- Por el Instituto de Vigas de Acero de Celosía o SJI (por sus siglas en Inglés).
- En cuanto a puentes, las especificaciones más ampliamente reconocidas son las de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales o AASHTO (por sus siglas en Inglés).
- Por la Oficina de Carreteras Públicas de los Estados Unidos o USBPR (por sus siglas en Inglés).
- Por la Asociación Americana de Ingeniería de los Ferrocarriles o AREA (por sus siglas en Inglés).

### 1.5.6 SEGURIDAD EN ESTRUCTURAS DE ACERO

La seguridad y capacidad de servicio constituyen las dos exigencias fundamentales en las estructura. Para que la estructura sea segura, debe tener resistencia y ductilidad adecuadas cuando resiste cargas extremas ocasionales.

La seguridad de las estructuras depende de un gran número de factores tales como son:

- Tipo de estructura.
- Resistencia del material de protección contra el fuego.
- Durabilidad.

---

<sup>4</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2ª edición, pag. 29

- Detalles de construcción.
- Probabilidad de falla de los miembros estructurales y conexiones.
- Métodos de inspección para el control de calidad.
- Cantidad y tipo de supervisión.

### **1.5.7 COLAPSO DE ESTRUCTURAS DE ACERO**

El término falla no siempre significa colapso total. Las deformaciones excesivas de la estructura impiden a menudo su funcionamiento adecuado y constituyen una falla tan seria como el colapso.

El colapso o ruptura de la estructura tiene lugar cuando ocurren fallas de algunos miembros principales por:

- Conexiones desplazadas (cortante).
- Arrancamiento (tensión).
- Pandeo o aplastamiento.
- Acción de cargas severas de impacto o explosión.
- Fatiga después de un gran número de inversiones de esfuerzos.
- Pandeo de los miembros principales.

### **1.5.8 DEFORMACIONES EN ESTRUCTURAS DE ACERO**

Las deformaciones excesivas se presentan bajo condiciones de:

- Sobrecarga excesiva mantenida durante largo tiempo.
- Muchos impactos moderados provenientes de la fluencia exagerada del material en tensión o en compresión, o por pandeo en compresión.
- Resonancia.

Algunas deformaciones locales pueden ser, en ocasiones, lo suficientemente serias como para clasificarse como fallas estructurales, aunque

frecuentemente la resistencia última de la estructura no se ve reducida en forma importante por estas deformaciones locales.

### **1.5.9 CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE UN PUENTE COLGANTE CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Las cargas son fuerzas que actúan sobre la estructura, típicamente se dividen en dos clases generales:

#### **1.5.9.1 Carga muerta**

Es el peso de la estructura, incluyendo todos los componentes permanentes.

#### **1.5.9.2 Carga viva**

Las cargas vivas son las cargas de:

- Tracción.
- Compresión.
- Flexión.
- Torsión.
- Corte o cizallamiento.

El tipo de carga tiene una influencia considerable sobre el comportamiento de la estructura en la cual actúa, de acuerdo con esta influencia, las cargas se la clasifica en:

#### **1.5.9.3 Cargas estáticas**

Son aquellas que se aplican tan lentamente que el efecto del tiempo puede ignorarse, como por ejemplo su propio peso. Muchas cargas por

conveniencia se aproximan a cargas estáticas como son las cargas de ocupación y de viento.

#### **1.5.9.4 Cargas dinámicas**

Se caracterizan por duraciones muy cortas y la respuesta de la estructura depende del tiempo. Los movimientos sísmicos, las ráfagas de viento de alto nivel y las cargas vivas móviles pertenecen a esta categoría.

#### **1.5.9.5 Cargas de larga duración**

Son las que actúan sobre una estructura por extensos periodos. Para algunos materiales, dichas cargas ocasionan que las estructuras sufran deformaciones bajo carga constante que pueden tener efectos graves. El peso de la estructura y cualquier carga muerta superpuesta, pertenece a esta categoría.

#### **1.5.9.6 Cargas repetidas**

Son aquellas que se aplican y se remueven varias veces. Si se repiten gran cantidad de veces, pueden hacer que la estructura falle por fatiga. Las cargas vivas móviles pertenecen a esta categoría.

#### **1.5.9.7 Cargas térmicas**

Se debe tener en cuenta que las variaciones de temperatura, del medio en el que está el puente, generan esfuerzos y movimientos que afectan a la estructura.

Para estructuras de acero, los extremos anticipados de temperatura son:

- **Clima moderado.**  
De 32 °C a 248 °C.

- **Clima frío.**  
De -22 °C a 32 °C.

#### **1.5.9.8 Cargas longitudinales**

Los tableros de la calzada están sometidos a fuerzas de frenado, que transmiten a los miembros de soporte.

#### **1.5.10 EFECTOS ADICIONALES SOBRE UN PUENTE COLGANTE CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Muchas fuerzas trabajan sobre los puentes colgantes. Estas fuerzas generan ciertos efectos específicos que son especificados en el diseño del puente, tales como:

##### **1.5.10.1 Pandeo**

Es un efecto que se da en los elementos esbeltos que están sometidos a compresión, este efecto puede hacer que la estructura colapse totalmente.

##### **1.5.10.2 Torsor**

Los puentes colgantes son más susceptibles a los efectos de la torsión debido a que su estructura esta suspendida de un par de cables, especialmente en lugares donde las velocidades de los vientos son considerables.

##### **1.5.10.3 Resonancia**

La resonancia es un fenómeno que se presenta en todos los puentes y si no es analizada correctamente puede causar muchos problemas. La resonancia se presenta como una vibración causada por una fuerza externa, la cual entra en armonía con la vibración natural del puente. Las vibraciones viajan a través del puente en forma de ondas.

La solución es generar suficiente fricción para cambiar la frecuencia de las ondas de resonancia, cambiando las ondas efectivamente, se crean dos ondas diferentes, ninguna de las cuales puede tornar a la otra en una fuerza destructiva.

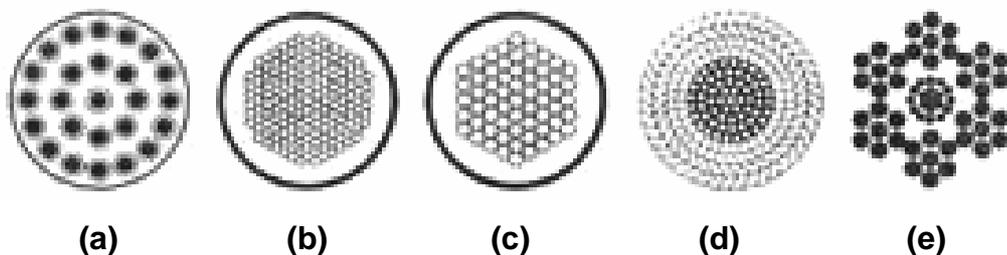
#### 1.5.10.4 Otros efectos

El clima es lo más difícil de combatir, la lluvia, viento y ambientes salinos pueden ocasionar daños en el puente, si estos se combinan, pueden ser aun mas perjudiciales. Para realizar nuevos diseños, los diseñadores de puentes han aprendido de las fallas del pasado. La madera ha sido reemplazada por el hierro y el acero ha reemplazado al hierro. El concreto pretensionado es usado en muchas carreteras de puentes.

## 1.6 CABLES DE ACERO EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

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

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



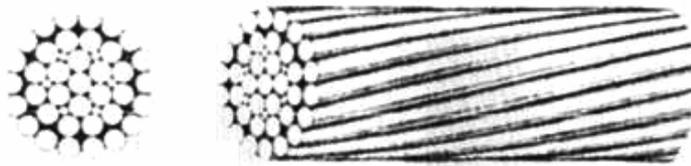
**Figura 1.5** Secciones transversales de cables: (a) Barras paralelas, (b) Alambres paralelos, (c) Torones paralelos, (d) Torones enrollados con trabas, helicoidalmente (e) Cordeles. <sup>5</sup>

### 1.6.1 ALAMBRE

Una sola longitud metálica producida de una varilla mediante trefilado en frío.

### 1.6.2 TORÓN ESTRUCTURAL O HELICOIDAL (EXCEPTO EL TORÓN DE ALAMBRES PARALELOS)

Alambres enrollados helicoidalmente alrededor de un alambre central para producir una sección simétrica.



**Figura 1.6** Torón estructural y su sección transversal. <sup>5</sup>

### 1.6.3 CABLE ESTRUCTURAL

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



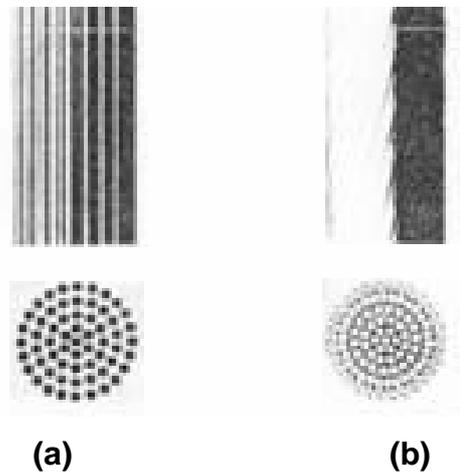
**Figura 1.7** Cable estructural y su sección estructural. <sup>5</sup>

#### 1.6.4 TORONES DE ALAMBRES PARALELOS

Alambres individuales configurados en un arreglo paralelo sin el torcimiento helicoidal.

#### 1.6.5 TORONES ENROLLADOS CON TRABAS

Un arreglo de alambres semejante al torón estructural excepto que los alambres en algunas capas están configurados para que queden trabados cuando se colocan alrededor del núcleo.



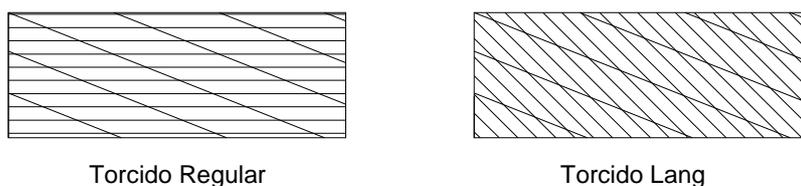
**Figura 1.8** Tipos y secciones transversales de torones: (a) Torón de alambres paralelos, (b) Torón enrollado con trabas.<sup>5</sup>

#### 1.6.6 FABRICACIÓN DE CABLES

Los cables metálicos se fabrican según dos tipos de torcido o torzal:

1. Torcido regular.
2. Torcido tipo Lang.

<sup>5</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 3, pag. 14.29 y 14.30



**Figura 1.9** Tipos de fabricación de cables de acero. <sup>6</sup>

#### **1.6.6.1 Cable con torcido regular**

El 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 los alambres aparentemente paralelos al eje del cable. Este cable tiene varias ventajas, como la facilidad de maniobra, no se retuerce o destuerce (formación de bucles) incluso cuando sus extremos no se hallan fijos y son mas resistentes al aplastamiento y a la distorsión.

#### **1.6.6.2 Cable con torcido Lang**

El cable con torcido Lang tiene los alambres y los torones torcidos en la misma dirección. El cable terminado aparenta que los alambres exteriormente se vean en dirección diagonal respecto el 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 del cable estén fijos y no giren sobre sí mismo.

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.

---

<sup>6</sup> Elaborado por GARCÉS D.; ZALDUMBIDE J.

Existen aplicaciones en las cuales el torcido izquierdo proporciona ciertas ventajas como en las máquinas perforadoras de percusión, en las cuales ayuda apretar las rocas de los aparejos.

## **1.7 VIGAS DE RIGIDEZ EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

La viga de rigidez es el elemento del puente que proporciona rigidez y estabilidad a toda la estructura y evita que el puente se torsione por acción de las cargas actuantes sobre el mismo.

Una viga continua es un sistema estructural que soporta cargas transversales en varias luces por una serie de miembros conectados rígidamente.

Las cargas transversales producen fuerzas cortantes y momentos flectores, por tal razón su resistencia a la flexión es el parámetro de diseño más importante. La carga puede estar concentrada o distribuida a lo largo de los miembros. El sistema estructural subyacente para muchos puentes es por lo general un conjunto de vigas continuas.

### **1.7.1 TIPOS DE VIGAS DE RIGIDEZ**

Los tipos de vigas son:

- **Viga simple**

Cuando las conexiones extremas no soportan ningún momento originado por cualquier continuidad desarrollada en la conexión.

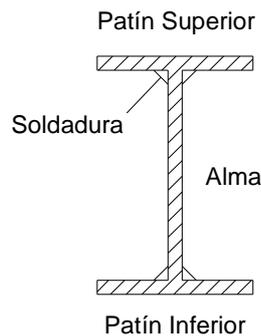
- **Viga continua**

Cuando se extiende sin interrupción a través de uno o más apoyos.

- **Viga fija**

Cuando al conectarse a otros miembros, los momentos se transmiten a través de la conexión.

Las vigas están sometidas a cargas vivas y a cargas muertas, las cuales se traducen como una serie de cargas concentradas o uniformes según la estructura y posición de la viga. El peso propio de la viga es parte de la carga muerta que actúa sobre ella. La viga más común y la más utilizada para el diseño de vigas de rigidez es la que posee una sección transversal tipo "I".



**Figura 1.10** Sección transversal típica de la viga de rigidez. <sup>7</sup>

## **1.8 ARMADURAS EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Una armadura es una estructura que actúa como una viga, pero con los miembros principales sometidos ante todo a fuerzas axiales.

Es una estructura compuesta por cierto número de miembros lineales, rectos y articulados entre sí que forman patrones triangulares. Las articulaciones deben ser sin fricción y se las hace en sus extremos de tal forma que formen una unión o entramado rígido, se supone que toda la carga está concentrada en estas conexiones (uniones).

En el diseño de puentes, las armaduras se proyectan en parejas, una a cada lado del puente y se las une por medio de vigas transversales que soportan la calzada y transmiten las cargas aplicadas a los miembros de la armadura.

---

<sup>7</sup> Elaborado por GARCÉS D.; ZALDUMBIDE J.

### 1.8.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ARMADURAS

- **Armadura en el plano**  
Si todos los miembros son coplanares.
- **Armadura espacial**  
Si los miembros se hallan en diferentes planos.

### 1.8.2 COMPONENTES DE UNA ESTRUCTURA

Una armadura está estructuralmente formada por:

- **Miembros de alma.**  
Consisten en diagonales y con frecuencia también verticales. Estos resisten las fuerzas de corte y reducen la luz de las cuerdas sometidas a flexión.
- **Nudos.**  
Son las intersecciones de los miembros de la armadura. Estos son formados por: juntas remachadas, soldadas, atornilladas o con pasadores.
- **Cuerdas.**  
Son los miembros superiores e inferiores que actúan como las aletas de una viga. Estas resisten las fuerzas de tensión y compresión inducidas por la fuerza de flexión.
- **Contravientos.**  
Son un par de diagonales colocadas en un panel de la armadura, en forma de "X". Estos soportan la inversión de esfuerzos.

- **Puntales Extremos.**

Son miembros a compresión en los apoyos de armaduras de una luz.

- **Líneas de trabajo.**

Son las líneas rectas entre las intersecciones de los miembros de la armadura. Estas evitan los esfuerzos de flexión por excentricidad.

- **Tablero.**

Es el elemento estructural que provee apoyo directo a las cargas del tráfico.

- **Vigas de piso.**

Elementos colocados perpendicularmente o transversalmente a la dirección del tráfico. Estas transmiten las cargas del tablero a la armadura.

- **Largueros.**

Son vigas longitudinales colocadas en forma paralela a la dirección del tráfico. Estos transmiten las cargas del tablero a las vigas de piso.

- **Arriostramiento lateral.**

Se extiende entre las cuerdas superiores e inferiores. Este provee estabilidad y resistencia lateral al viento.

- **Arriostramiento de balanceo.**

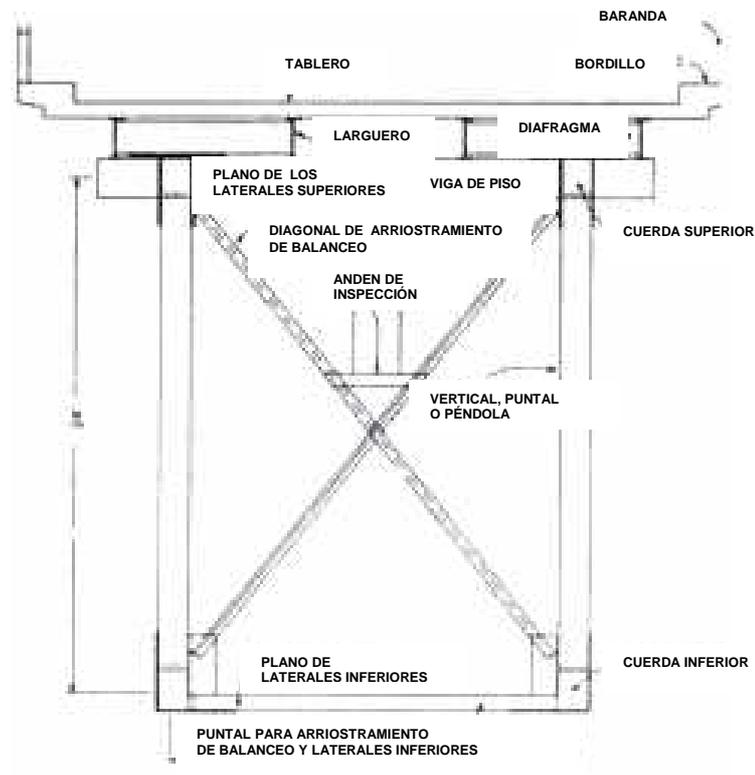
Va instalado entre los elementos verticales de la armadura. Este provee resistencia lateral en planos verticales.

- **Arriostramiento de portal.**

Va colocado en el plano de los puntales extremos. Este transmite las cargas del lateral superior a los puntales extremos.

- **Puentes oblicuos.**

Son estructuras soportadas en pilas que no son perpendiculares a los planos de las armaduras.



**Figura 1.11** Sección transversal típica para armaduras. <sup>8</sup>

### 1.8.3 TIPOS DE ARMADURAS

Las armaduras más comunes son:

- **Armaduras Pratt.**

Tienen diagonales inclinadas que bajan hacia el centro y cuerdas paralelas.

- **Armaduras Warren.**

Tienen cuerdas paralelas y diagonales alternadas, por lo general se construyen con verticales, para reducir el tamaño de los paneles.

- **Armaduras Parker.**

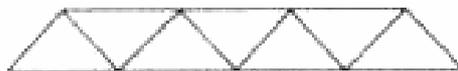
Se parecen a las Pratt pero tienen altura variable.

- **Armaduras “K”.**

Permiten que armaduras profundas con paneles cortos tengan diagonales con pendientes aceptables.



(a)



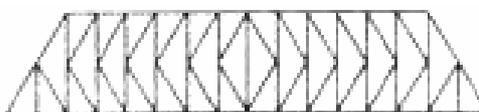
(b)



(c)



(d)



(e)

**Figura 1.12** Tipos de armaduras: (a) Pratt, (b) Warren sin verticales, (c) Warren con verticales, (d) Parker, (e) Armadura “K”.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 3, pag. 12.3 y 12.5

### **1.8.3.1 Armadura tipo Warren**

El tipo más común de armaduras para puentes colgantes es la armadura tipo Warren, en esta armadura las cargas se reparten así:

- **Las cuerdas.**  
Resisten los momentos flectores.
- **Las diagonales.**  
Resisten las fuerzas cortantes.
- **Los miembros verticales.**  
Resisten las cargas que están sobre el tablero.

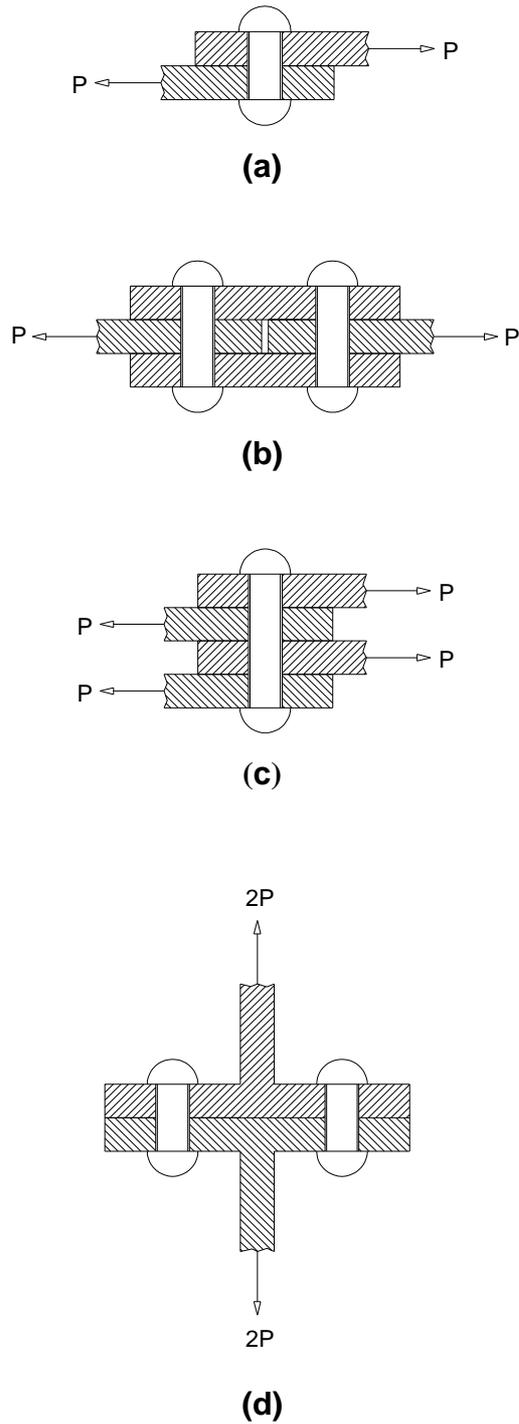
## **1.9 CONEXIONES EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Las estructuras de acero se conforman ensamblando los miembros estructurales que constituyen su armazón. Las conexiones se hacen en los extremos de los diversos miembros para unirlos de forma que la carga siga su flujo ordenado y continúe hasta llegar a los cimientos.

El correcto diseño de las conexiones requiere que:

- La producción de una junta que sea segura.
- La junta sea económica en el uso de los materiales.
- La junta se pueda construir.

Las conexiones más económicas son también las más prácticas, ya que los costos de fabricación afectan tanto a las juntas como a los miembros estructurales.



**Figura 1.13** Tipos de conexiones: (a) Junta a traslape, remache en cortante simple, (b) Junta a tope, remache en cortante doble, (c) Remache en cortante múltiple, (d) Remache en tensión.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2º edic., pag. 143

## **1.9.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES**

Las conexiones o juntas estructurales se clasifican según:

### **1.9.1.1 El método de sujeción**

- Remaches.
- Tomillos.
- Soldadura.

### **1.9.1.2 La rigidez de la conexión**

#### *1.9.1.2.1 Conexiones simples*

En estas conexiones, no existe transferencia de momento entre las partes conectadas. Existe una pequeña cantidad de momento, que resulta despreciable al momento de realizar el diseño.

#### *1.9.1.2.2 Conexiones semirígidas*

En estas conexiones se transfiere menos de la capacidad total de momento de los miembros conectados. Para realizar el diseño de estas conexiones es necesario suponer una cantidad arbitraria de capacidad de momento.

#### *1.9.1.2.3 Conexiones rígidas*

En estas conexiones se desarrolla la capacidad total de momento de los miembros que se conectan y mantienen un ángulo relativo constante entre las partes conectadas, considerando incluso la rotación de la junta.

### **1.9.1.3 El tipo de fuerzas transferidas a través de la conexión estructural**

- Fuerzas cortantes.
- Momento flector o torsor.
- Tensión o compresión.
- Tensión o compresión con cortante.

### **1.9.1.4 La geometría de la conexión**

- Conectores a base de angulares.
- Conexiones soldadas que usan placas y angulares.
- Placas terminales en vigas.

### **1.9.1.5 El lugar donde se fabrican**

- Conexiones de taller.
- Conexiones de campo.

### **1.9.1.6 La resistencia de la junta**

#### *1.9.1.6.1 Conexiones de fricción*

Se supone que en estas conexiones, la resistencia primaria se desarrolla como cortante en los conectores en el plano potencial de deslizamiento entre las partes conectadas. En este tipo de conexión no existe ningún movimiento relativo entre las partes conectadas, hasta que no se exceda sustancialmente la carga de diseño.

#### *1.9.1.6.2 Conexiones de aplastamiento*

La resistencia de la junta de estas conexiones se considera como una combinación de la resistencia a cortante del conector y el aplastamiento del material conectado contra el conector. El diseño de estas conexiones requiere suficiente deslizamiento entre las partes conectadas. Debido a que el cortante del conector es parte de la resistencia de la junta, se debe determinar si la rosca se encuentra en el plano de cortante.

Para realizar el diseño de las conexiones de fricción y aplastamiento es necesario el uso de un esfuerzo cortante permisible. En ambos casos, además de diseñarse para cortante se debe verificar para tensión en la sección neta y para aplastamiento del material conectado contra el conector.

### **1.9.2 CONEXIONES CON PERNOS**

#### **1.9.2.1 Definición de perno**

Es un pasador metálico con una cabeza formada en un extremo y el vástago roscado en el otro para conjugarse con una tuerca.

La función que cumplen los pernos es sujetar o unir dos o más piezas realizando perforaciones o agujeros en las mismas. En ocasiones es útil utilizar arandelas o roldanas bajo la cabeza del perno y bajo la tuerca porque aumenta el área de sujeción, esto impide que las rebabas o bordes agudos existentes en los agujeros penetren en el entalle y aumenten los concentradores de tensiones.

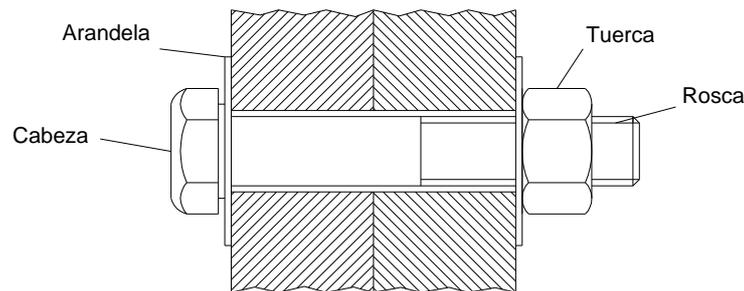
#### **1.9.2.2 Clasificación de pernos**

Las diferentes clasificaciones de los pernos usados en aplicaciones estructurales son:

- Tipo de vástago.

- Forma de la cabeza.
- Forma de la tuerca.

Debido a las grandes tolerancias de las dimensiones del vástago y de la rosca, es conveniente que los agujeros tengan diámetros de 3 milímetros mayor que el diámetro nominal del perno.



**Figura 1.14** Conjunto de un perno de alta resistencia. <sup>10</sup>

### 1.9.2.3 Pernos, tuercas y arandelas de alta resistencia

Los pernos de alta resistencia tienen una ventaja, posibilitan desarrollar en ellos una alta tensión inicial, lo que permite que la carga se transmita entre las partes conectadas, produciendo además una junta muy rígida. Por esta razón es necesario realizar un correcto apriete en la tuerca para obtener la fuerza de apriete deseada. Este procedimiento permite que la carga se transmita únicamente por fricción, haciendo que los esfuerzos de corte o aplastamiento en los pernos sean despreciables.

#### 1.9.2.3.1 Especificaciones de los pernos de alta resistencia

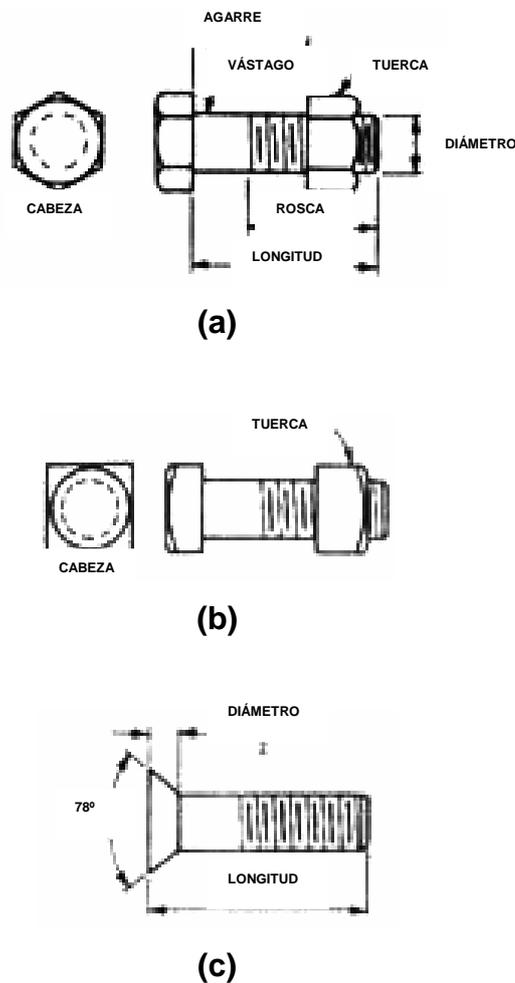
Los pernos de alta resistencia son los ASTM A325 y A490. <sup>10</sup>

<sup>10</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2º edi., pag. 136

#### 1.9.2.4 Pernos de acero al carbono o no terminados (de máquina)

Pueden efectuarse conexiones secundarias con pernos no terminados, que cumplan las especificaciones para el acero de bajo contenido de carbono ASTM A307.<sup>11</sup>

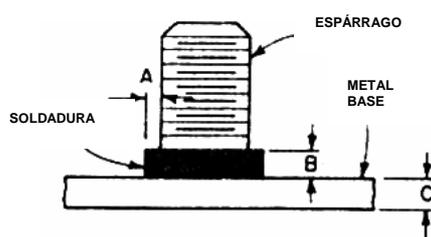
Las conexiones secundarias deben definirse de manera cuidadosa para evitar que los encargados del montaje, seleccionen el tipo de perno inadecuado para una conexión. Los pernos A307, por lo general no tienen ninguna marca de identificación sobre su cabeza cuadrada, hexagonal o abocardada como sí la tienen los pernos de alta resistencia.



**Figura 1.15** Tipos de pernos de acero: (a) Con cabeza y tuerca hexagonales, (b) Con cabeza y tuerca cuadrada, (c) Con cabeza abocardada.<sup>11</sup>

### 1.9.3 CONEXIONES CON ESPÁRRAGOS SOLDADOS

Es común utilizar conectores que tienen un extremo soldado a un miembro de acero para conectar el material. Los conectores de construcción compuesta son una aplicación común. También se utilizan los espárragos soldados como anclajes para conectar madera, mampostería u hormigón al acero. Los tipos de espárragos y pistolas de soldar varían según las empresas fabricantes.



**Figura 1.16** Espárrago soldado. <sup>11</sup>

### 1.9.4 CONEXIONES SOLDADAS

Las conexiones soldadas son aquellas en las que a través de un proceso de soldadura se unen piezas de metal por medio de la aplicación de calor o presión.

Las conexiones soldadas se usan a menudo a causa de la simplicidad de diseño, menos partes, menos material y disminución en el manejo de taller y en las operaciones de fabricación. No obstante, una desventaja de la soldadura es que debe considerarse la contracción de soldaduras grandes, esto es especialmente importante en estructuras grandes donde habrá un efecto acumulativo.

En el acero estructural, es lo más común utilizar la soldadura por fusión en sus diferentes técnicas.

---

<sup>11</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2ª edición, Tomo 2, pag. 5.6

Con un diseño y material adecuados, técnicas de soldadura y mano de obra calificada, las conexiones se vuelven económicas, confiables y seguras.

#### **1.9.4.1 Especificaciones para la soldadura**

Las juntas precalificadas, los procedimientos de soldadura y los procedimientos para calificar a soldadores están cubiertos por las Normas AWS D1.1 y D1.5. Según las normas, por lo general una soldadura de 8 milímetros se considera el tamaño máximo para un solo pase.

El costo de la preparación para la soldadura puede oscilar entre cerca de 1/3 y varias veces el costo del soldeo.<sup>12</sup>

#### **1.9.4.2 Materiales de soldadura**

Los aceros estructurales soldables permitidos en edificios y puentes se presentan en una lista con los electrodos requeridos, los cuales deben cumplir con las Normas AWS 5.1, 5.5, 5.17, 5.18, 5.20, 5.23, 5.25, 5.26, 5.28 o 5.29 o las provisiones aplicables de AWS D1.1 y D1.5. Para puentes, los requisitos de impacto en D1.5 son obligatorios.<sup>12</sup>

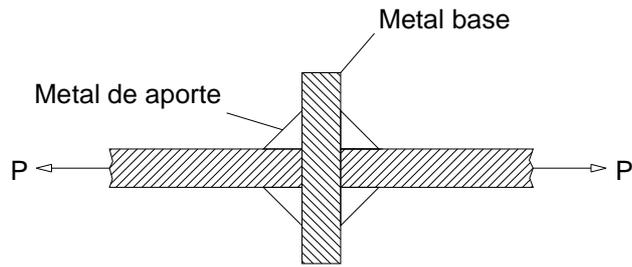
#### **1.9.4.3 Soldadura de filete**

Es el tipo de soldadura que más se utiliza en la fabricación de las estructuras, posee una sección transversal aproximadamente triangular, por lo que el soldador debe tener el suficiente cuidado para rellenar las dimensiones de la garganta.

Comúnmente, las dos piernas de la soldadura son iguales, pero dependiendo de la aplicación se pueden usar piernas desiguales.

---

<sup>12</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 2, pag. 5.19



**Figura 1.17** Conexión soldada. <sup>13</sup>

## **1.9.5 CONEXIONES REMACHADAS**

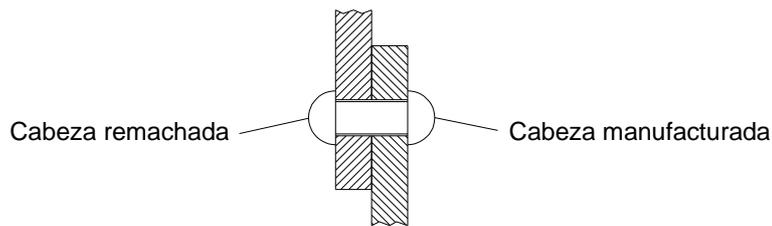
### **1.9.5.1 Definición de remache**

Es una pieza de sección transversal circular de acero dúctil forjado en el sitio para unir entre sí varias piezas de acero.

El remache se fabrica con una cabeza especial, que se denomina cabeza manufacturada y se instala mediante una pistola remachadora la cual forma otra cabeza, durante la instalación. El proceso completo se llama remachado. El remachado es esencialmente un proceso de forja. La mayoría de los remaches que se usan en trabajos de acero estructural se colocan en caliente, ya sea en el taller o en el campo, por lo que se conocen como remaches de taller o de campo colocados en caliente.

Los remaches colocados en frío se instalan a temperatura ambiente y requieren de grandes presiones para formar la cabeza y completar el proceso. El hincado en frío puede aplicarse de manera más conveniente a remaches de tamaños pequeños. Aunque el hincado en frío aumenta la resistencia del remache y elimina la necesidad de calentarlo, el proceso se ve limitado por el equipo necesario y la inconveniencia de usarlo en el campo.

<sup>13</sup> Elaborado por GARCÉS D.; ZALDUMBIDE J.



**Figura 1.18** Conexión remachada. <sup>14</sup>

### **1.9.6 CONEXIONES CON PASADOR**

Algunas veces se usa solo un pasador cilíndrico de acero para conectar miembros que deben tener una rotación relativa entre uno y otro. Se supone que el pasador gira libremente en la conexión, por lo tanto no es deseable la acción de apriete debida a la tensión inicial. Como se emplea un solo pasador en la conexión que de otro modo requerirá varios tornillos o remaches, su tamaño es generalmente mayor que el de los tornillos o remaches mencionados.

Los pasadores para propósitos estructurales se hacen de acero estructural al carbono, forjado y maquinado a dimensiones exactas, a veces se emplean pasadores laminados en frío con superficies adecuadas, especialmente en acero de aleación.

Cuando los pasadores se maquinan especialmente, no se presenta la necesidad de limitar el diámetro a ningún conjunto particular de tamaño estándar.

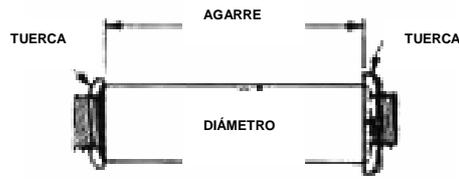
El tipo más común de pasador tiene extremos roscados y dos tuercas remetidas, atornilladas en los extremos para mantenerlo en su sitio.

#### **1.9.6.1 Especificaciones de los pasadores**

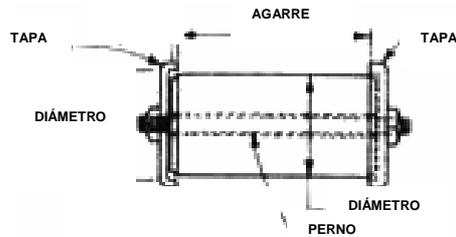
Los pasadores que se pueden utilizar son los ASTM A108, grado 1016 y 1030 y los ASTM A668, clases C, D, F y G. <sup>15</sup>

---

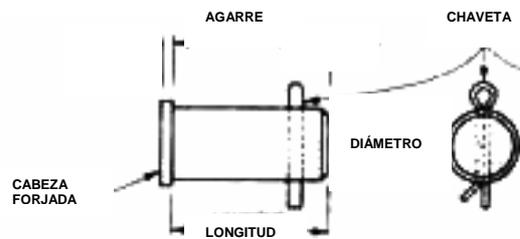
<sup>14</sup> Elaborado por GARCÉS D.; ZALDUMBIDE J.



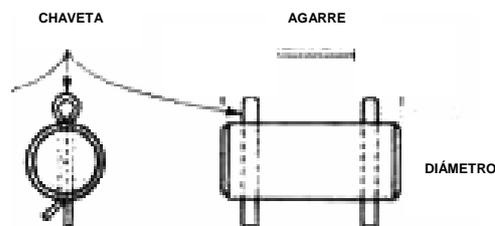
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 1.19** Tipos de pasadores: (a) Con tuercas ahuecadas, (b) Con tapas y perno, (c) Con cabeza forjada y chaveta, (d) Con chaveta en cada extremo (usado en posición horizontal).<sup>15</sup>

<sup>15</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 2, pag. 5.8

### **1.9.7 CONEXIONES CON COMBINACIÓN DE SOLDADURAS Y PERNOS**

En ocasiones es necesario usar pernos que trabajen combinados con soldadura, como en el caso de reparaciones de estructuras viejas, en obras nuevas cuando los espacios de trabajo y las holguras son mínimos. Al hacer modificaciones por medio de soldadura, puede suponerse que los remaches existentes, así como los pernos de alta resistencia apretados adecuadamente, soportarán los esfuerzos causados por las cargas muertas existentes y que la nueva conexión soldada soportará todos los esfuerzos adicionales. Las soldaduras son más rígidas y por consiguiente evitan que las cargas se transmitan a los pernos, hasta después de que dichas soldaduras hayan fluido. Si se usan soldaduras, deben diseñarse para soportar la totalidad de los esfuerzos en la conexión. Los pernos suministran una resistencia al deslizamiento suficiente para considerar que actúan simultáneamente con las soldaduras.

Este tipo de conexiones se hace con pernos ASTM A307. <sup>16</sup>

### **1.10 APOYOS EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Los puentes son diseñados para que puedan tener cierto grado de movimiento, para ello se utilizan juntas de expansión.

Para controlar los movimientos, se requiere por lo menos un apoyo fijo en cada luz simple o continua.

#### **1.10.1 PLACAS DESLIZANTES AUTOLUBRICANTES DE BRONCE O ALEACIÓN DE COBRE**

Tienen coeficientes de fricción de 0.1 o menos, pueden usarse en apoyos de expansión en lugar de almohadillas elastoméricas, rodillos o silletas.

---

<sup>16</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2<sup>o</sup> edición, Tomo 2, pag. 5.2

Estas placas deben ser de por lo menos 12.7 milímetros de espesor y chaflanadas en los bordes.

#### **1.10.2 SILLETAS BASCULANTES**

Se prefieren las silletas a los rodillos, por la menor probabilidad de que queden fijos por basura o corrosión. Se debe utilizar y disponer material de alma adecuado para asegurar una distribución uniforme de la carga en la longitud efectiva. La silleta debe conectarse con espigas a la placa base.

#### **1.10.3 RODILLOS**

Son la alternativa cuando la presión en las silletas requiere que tengan un radio demasiado grande para mantener los esfuerzos de contacto dentro de lo admisible. Así mismo pueden ser cilíndricos o segmentados y deben tener al menos 152.4 milímetros de diámetro, deben conectarse mediante barras laterales de tamaño suficiente y guiados mediante ruedas dentadas u otros medios para impedir su movimiento lateral, torcimiento o deslizamiento. El diseño debe permitir una fácil limpieza.

#### **1.10.4 PLACAS DE ASIENTO Y PLACAS DE MAMPOSTERÍA**

Deben tener por lo menos 19 milímetros de espesor. En vigas con pendiente que exceda el 1 % sin apoyos articulados, la base de la placa de asiento debe estar curvada en forma radial o nivelada mediante chaflán.

#### **1.10.5 ALMOHADILLAS ELASTOMÉRICAS**

Usadas para transmitir las cargas de un miembro estructural a un apoyo permitiendo movimientos entre el puente y el apoyo. Almohadillas que no son hechas en su totalidad de dicho material (almohadillas reforzadas), por lo general consisten de capas alternadas de acero o malla de refuerzo unidas al elastómero.

Además del refuerzo, los apoyos pueden tener placas externas de acero adheridas a los apoyos elastoméricos.

#### **1.10.6 ALMOHADILLAS TFE**

Son apoyos con superficies deslizantes hechas de politetrafluoroetileno (TFE), que pueden consistir de hojas llenas o no, tela con fibras de TFE, estructuras de bronce intercalado con TFE de relleno, componentes de metal perforados y TFE y adhesivos o superficies acopladas de acero inoxidable. Las superficies deslizantes de las almohadillas permiten la traslación o rotación por deslizamiento de las superficies de TFE sobre una de acople lisa y dura. Esta debe hacerse preferiblemente de acero inoxidable u otro material resistente a la corrosión.

#### **1.10.7 APOYOS ENCAPSULADOS**

Usados principalmente en puentes de luces grandes y están disponibles para ser utilizados como apoyos fijos, de expansión guiada y no guiada, diseñados para atender la expansión y contracción térmica, la rotación, los cambios de contraflecha, el flujo plástico y encogimiento de los miembros estructurales. Consiste en un elemento rotacional elastomérico, confinado y sellado por un pistón de acero y una cápsula de base de acero.

#### **1.10.8 PEDESTALES Y ZAPATOS**

Son de acero colado o de acero estructural. Se usan cuando las suposiciones de diseño nos indican que la carga vertical esta uniformemente distribuida sobre la superficie entera del apoyo.

#### **1.10.9 PERNOS DE ANCLAJE**

Los pernos que están sometidos a tensión deben involucrar una masa de mampostería que provea una resistencia al levantamiento igual a 150 % del

levantamiento calculado debido a las cargas de servicio. La resistencia a la extracción de los pernos de anclaje se puede obtener mediante el uso de pernos dentados o colocando en el extremo empotrado del perno una tuerca y una arandela o una placa.

## **1.11 TABLEROS EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Los tableros que se utilizan en la construcción de puentes colgantes metálicos son:

- Tableros de hormigón armado.
- Tableros mixtos.
- Tableros ortotrópicos.

### **1.11.1 TABLEROS DE HORMIGÓN ARMADO**

La mayor cantidad de tableros casi siempre se construyen de hormigón armado. Con frecuencia, este hormigón se hace con agregados convencionales y pesa alrededor de  $2408 \text{ kg / m}^3$ . A veces se hace con agregados livianos, resultando en hormigón de  $1606$  a  $1766 \text{ kg / m}^3$ , los cuales a menudo se componen de escoria, pizarra expandida o arcilla expandida.

En algunos tableros de hormigón, la capa de rodamiento se vacía integralmente con la losa estructural. En otros, una capa de rodamiento separada, de concreto asfáltico u hormigón convencional, se añade después de que se ha colocado la losa estructural.

### **1.11.2 TABLEROS MIXTOS**

En los casos en los cuales es importante el ahorro de peso, en particular en luces móviles o luces en donde se debe considerar la estabilidad aerodinámica, se especifica un piso abierto de parilla de acero. Cuando es

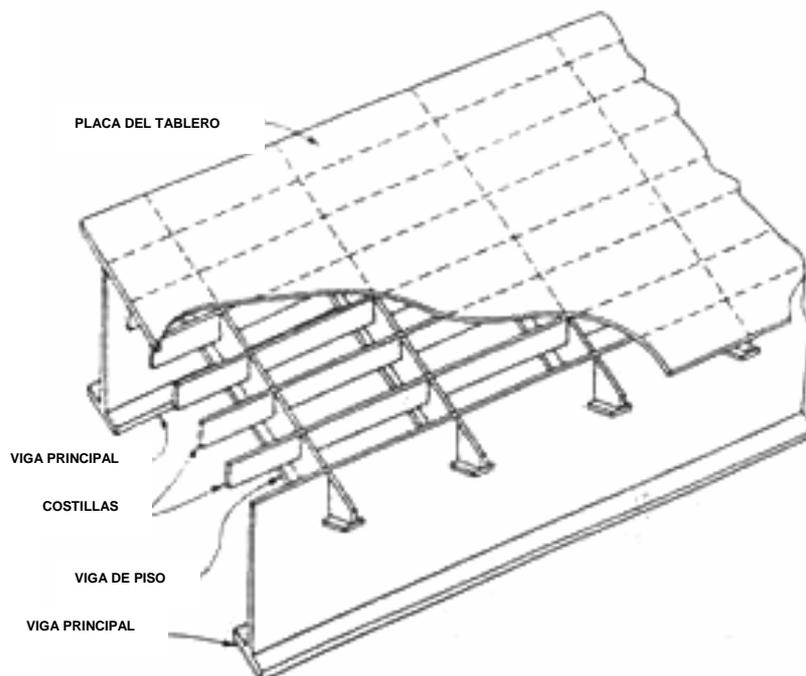
necesario llegar a un compromiso, esta parilla se rellena parcial o totalmente con concreto asfáltico u hormigón aligerado para proveer protección bajo la estructura o para obtener una superficie de tráfico más apropiada.

También se puede considerar un tablero mixto de parrilla de acero y madera tratada cuando las condiciones de diseño y ambientales lo permitan.

### 1.11.3 TABLEROS ORTOTRÓPICOS

En la construcción de tableros ortotrópicos, el tablero es una placa de acero recubierta por una superficie de desgaste rigidizada (sobre la cual se mueve el tráfico), soportada por una parilla rectangular.

El tablero de acero ayuda a sus soportes a resistir los esfuerzos de flexión.



**Figura 1.20** Placa y tablero ortotrópico.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 1, pag. 4.44

Las componentes principales son por lo general:

- La placa de acero del tablero.
- Las vigas longitudinales principales.
- Las vigas transversales de piso.
- Las costillas longitudinales (estas pueden ser de tipo abierto o cerrado).

En las estructuras de placa ortotrópica, las superficies por lo general son de tres tipos:

- Sistema de capas.
- Sistema de cemento bituminoso estabilizado.
- Combinación de recubrimientos delgados.

#### **1.11.3.1 Sistema de capas**

1. Consiste en una capa de imprimante sobre el tablero de acero, que puede ser de:
  - Zinc metalizante.
  - Materiales de base bituminosa.
  - Cubiertas epóxicas.
2. Sobre esta capa se coloca una hoja delgada, que puede ser de:
  - Cobre.
  - Aluminio.
  - Asfalto bituminoso.
3. A continuación se coloca una capa de nivelación que puede ser de:
  - Aglutinante asfáltico.
  - Cemento bituminoso estabilizado.

4. Finalmente se coloca una superficie de cemento asfáltico bituminoso con agregado de:

- Piedra.
- Concreto asfáltico.

#### **1.11.3.2 Sistema de cemento bituminoso estabilizado**

Este sistema esta compuesto por una capa de imprimante sobre el acero, como el sistema de capas, seguido de una capa de cemento bituminoso al cual se le incrusta con rodillos un agregado de roca triturada.

#### **1.11.3.3 Combinación de recubrimientos delgados**

Esta combinación de recubrimientos contiene materiales epóxicos o aglutinantes resinosos en una sola capa con arena silícea.

### **1.12 TORRES EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Las configuraciones típicas son pórticos tipo portal. Por economía, las torres deben tener el ancho mínimo en la dirección de la luz consistente con la estabilidad pero suficientemente amplio en la parte superior para sujetar la silleta.

La mayoría de los puentes colgantes tienen cables fijos en la parte superior de las torres. Con este arreglo, debido a la comparativa esbeltez de éstas, las deflexiones de la parte superior no producen grandes esfuerzos.

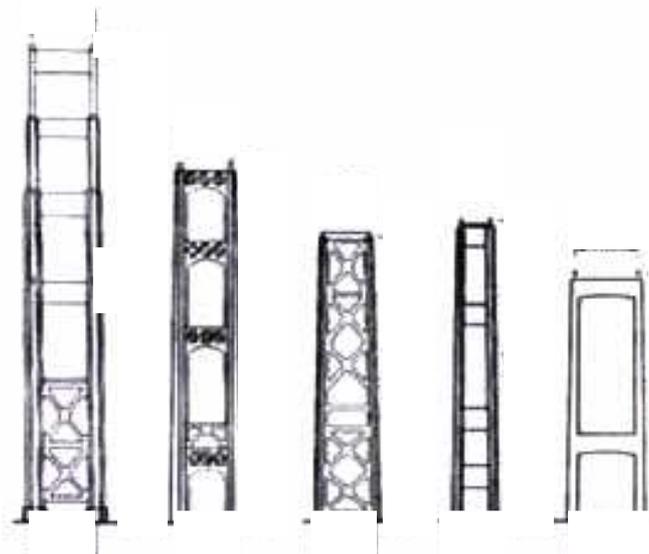
Es posible usar torres:

- Torres de acero estructural o de hormigón armado.
- Oscilantes.
- Articuladas en la base y en la parte superior, pero su uso está restringido a luces cortas.

- Torres empotradas en la base y con silletas de rodillos en la parte superior, pero limitan su uso a luces medianas.

Las patas de la torre pueden, en cualquier caso, ser de sección variable para aprovechar la disminución en el área requerida que se presenta hacia la punta.

La acción estática de la torre y el diseño de detalles dependen de las condiciones de los extremos.



**Figura 1.21** Tipos de torres de puentes colgantes metálicos. <sup>18</sup>

Las armaduras de rigidez de la luz principal, simplemente apoyadas, con frecuencia cuelgan de las torres por medio de péndolas pendulares cortas.

Se confía principalmente a las péndolas cortas del centro de la luz la tarea de mantener las armaduras centradas. De esta manera, los efectos de la temperatura sobre las torres se reducen a la mitad.

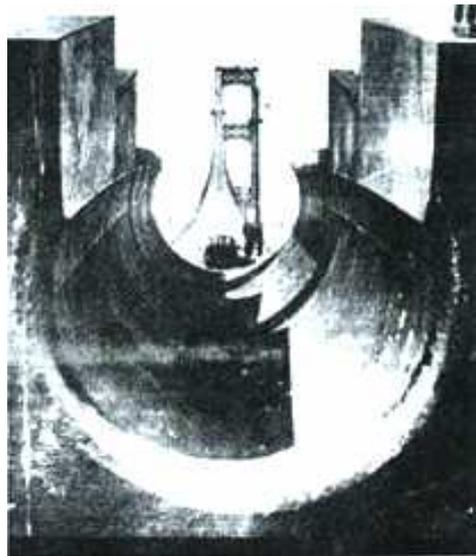
---

<sup>18</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 3, pag. 14.11

## **1.13 SILLETAS Y ANCLAJES PARA CABLES DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **1.13.1 SILLETAS PARA CABLES**

Las silletas están ubicadas arriba de las torres, pueden ser grandes elementos fundidos de acero en una pieza o soldados en partes para reducir peso. El tamaño de la silleta puede determinarse por la presión lateral admisible sobre los cables, la cual es una función del radio de curvatura de la silleta. Otras silletas de diseño especial pueden requerirse en las pilas laterales para dirigir los cables de luz de anclaje hacia los anclajes. También pueden ser necesarias silletas achaflanadas en los anclajes.

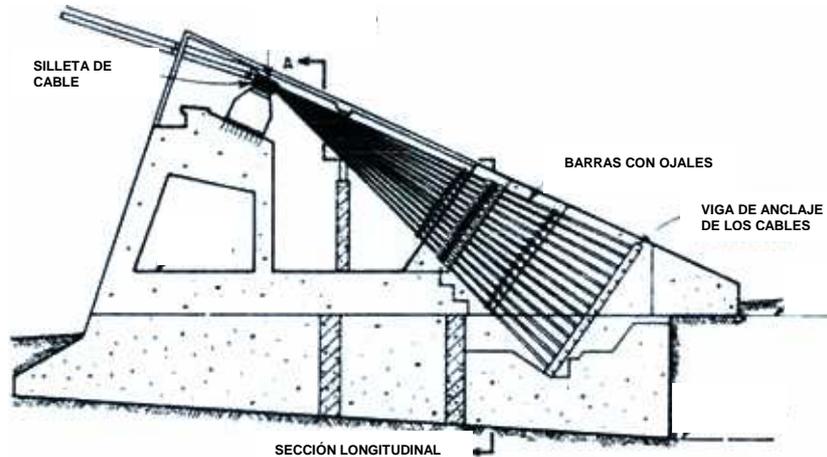


**Figura 1.22** Silleta de torre. <sup>19</sup>

### **1.13.2 ANCLAJES PARA CABLES**

Los anclajes para los cables principales de los puentes colgantes por lo general son bloques macizos de hormigón diseñados para resistir, por masa y fricción, los efectos de volcamiento y deslizamiento de la tracción del cable principal. Cuando lo permiten las condiciones locales, los cables pueden ser

anclados en túneles en la roca. Los anclajes contienen cadenas de barras de acero con ojales empotrados en ellos, a los cuales se conectan los cables de alambre principal.



**Figura 1.23** Anclaje de un puente colgante. <sup>19</sup>

#### **1.14 PÉNDOLAS EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

En los puentes colgantes, los cables de las péndolas están conectados a los cables principales por bandas de cables. Por lo general, éstas se hacen de pares de piezas fundidas semicirculares de acero con pernos de sujeción.

Existen básicamente dos arreglos para conectar las péndolas:

- **Primer arreglo.**

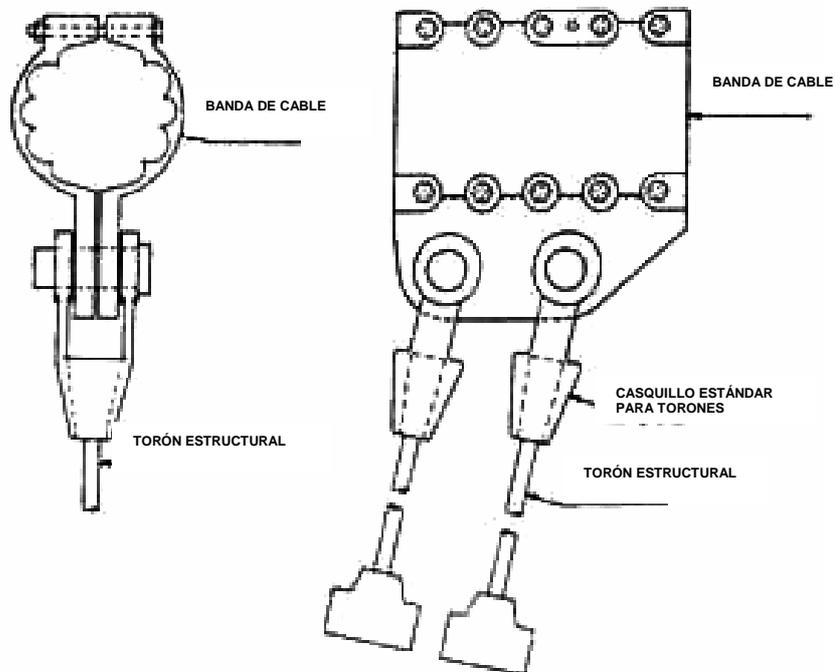
La banda de cables tiene estrías para acomodar los espirales del cordón estructural sobre el eje estructural. Debido a la deflexión de la péndola sobre el cable principal, se usa cordel estructural para aquello con el fin de aprovechar su flexibilidad.

---

<sup>19</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 3, pag. 14.35 y 14.37

- **Segundo arreglo.**

La péndola se conecta a la banda del cable mediante casquillos estándar con relleno de zinc, ya que no se requiere flexión de la péndola, ésta es generalmente un torón estructural. Conectados apropiadamente, los casquillos con relleno de zinc fundido pueden desarrollar el 100 % de la resistencia de los torones y del cordel de alambre. Los aditamentos extremos o casquillos (abiertos o cerrados de acero fundido o forjado con troquel) de los torones o cordeles estructurales están estandarizados por los fabricantes y pueden ser estampados o rellenos de zinc.



**Figura 1.24** Péndolas de un puente colgante.<sup>20</sup>

Las conexiones de las péndolas a las vigas principales dependen del tipo de viga. Generalmente, el aditamento extremo de una péndola es del tipo estampado o relleno de zinc.

<sup>20</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2ª edición, Tomo 3, pag. 14.39

## **1.15 INVENTARIO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO EN EL ECUADOR**

### **1.15.1 INTRODUCCIÓN**

De acuerdo con los datos obtenidos del inventario del MOP (Ministerio de Obras Públicas), se pudieron contabilizar diez puentes que cumplen con los requerimientos para el propósito del mantenimiento. Estos, al no tener un plan para sus reparaciones preventivas, se hallan en un proceso de desmejoramiento continuo, como se demostrará en las fotos tomadas más adelante.

Cabe recalcar que en el siguiente inventario, se tomaron los datos más relevantes de cada puente, así como: su luz, el número de tramos, el largo de cada tramo, el tipo de vía, su ubicación, datos sobre el tipo y material de la estructura, etc. Además se anexan los datos técnicos y las fotos que describen de mejor manera la situación actual de cada puente. Cada puente se dividió en siete subinventarios, donde constan datos de:

1. Identificación.
2. Datos sobre la estructura.
3. Material de la estructura.
4. Datos hidráulicos.
5. Condición de la estructura.
6. Accesos de la estructura.
7. Datos de la estructura proporcionados por el MOP.

Todos los detalles se encuentran localizados en el Anexo 1, a continuación se denota un resumen de los Puentes Colgantes en el Ecuador con los datos más importantes.

**1.15.2 TABLA DE DATOS DE LARGO Y NÚMERO DE TRAMOS DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES**

<b>Nombre de Puente</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Luz (m.)</b>	<b># de Tramos</b>
Puyo-Macas	Macas	157.00	3
Copueno	Macas	133.00	6
Napo	Tena	180.00	3
San Mateo	Esmeraldas	201.00	1
Baba	Quevedo	71.00	1
Daule	Pedro Carbo	233.00	3
Pindo	Piñas	31.50	1
Baba	Pichincha	233.00	3
Viejo	Loja	61.02	1
Baba	Sto. Domingo	71.00	1
Anzu	Tena	135.00	1

**Tabla 1.1** Resumen del inventario de puentes colgantes en el Ecuador.

## **CAPÍTULO II**

# **DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PARA PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO TOTAL (MT)**

La definición del Mantenimiento Total puede resumirse en los cinco puntos siguientes:

1. El Mantenimiento Total busca maximizar la eficiencia de las estructuras.
2. El Mantenimiento Total busca establecer un sistema de mantenimiento diseñado para la vida útil de las estructuras.
3. El Mantenimiento Total opera en todos los sectores relacionados con el funcionamiento físico de la estructura.
4. El Mantenimiento Total está basado en la participación de todos los miembros de la empresa incluyendo los obreros y gerentes.
5. El Mantenimiento Total es llevado hacia delante a través de la motivación de la gerencia.

### **2.2 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO TOTAL (MT) ENFOCADO A LA IMPLANTACIÓN**

La nueva versión del Mantenimiento Total con un enfoque de implantación global en la empresa consta de los siguientes puntos:

1. El Mantenimiento Total persigue la creación de un sistema corporativo que maximice la eficiencia de las estructuras.

2. El Mantenimiento Total crea sistemas para prevenir la aparición de todos los daños que pueden suceder en la línea de servicio, enfocándose en el producto final. Esto incluye sistemas para lograr cero accidentes, cero defectos y cero fallas en el ciclo total productivo de la estructura.
3. El Mantenimiento Total es aplicado en todos los sectores, incluyendo la producción y departamentos administrativos.
4. El Mantenimiento Total se basa en la participación de todos los miembros, desde los gerentes hasta los obreros.
5. El Mantenimiento Total logra cero defectos a través de la formación de pequeños grupos de trabajo.

## 2.3 OCHO PILARES O PRINCIPIOS PARA EL DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO TOTAL



**Figura 2.1** Pilares del Mantenimiento Total. <sup>21</sup>

### 2.3.1 MEJORAMIENTO INDIVIDUAL

Este pilar busca eliminar radicalmente daños utilizando una metodología de análisis y soluciones de problemas. Los proyectos de mejora se

realizan individualmente o en equipos pequeños. Se utilizan técnicas de control de calidad, estadística industrial, ingeniería de procesos, fiabilidad, ingeniería de mantenimiento, etc.<sup>21</sup>

### **2.3.2 MANTENIMIENTO AUTÓNOMO**

Este pilar busca que la estructura tenga un comportamiento regular, logrando eliminar los problemas crónicos que impiden su pleno rendimiento. Desde el punto de vista humano, este pilar trae los beneficios de mejorar la calidad y seguridad del sitio de trabajo, desarrollar la capacidad técnica del personal y aumenta el sentido de responsabilidad del mismo. En las actividades de este pilar, el trabajador responsable se involucra tanto como le sea posible en los trabajos de conservación y mantenimiento de las condiciones básicas de la estructura (conservarlo limpio, correctamente lubricado y ajustado). Utiliza técnicas como la estrategia de las 5S: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke (clasificar, ordenar, limpiar, trabajo estandarizado y disciplina), técnicas de análisis de problemas, gestión visual, procesos de diálogo, trabajo en equipo y otras técnicas de comunicación muy eficaces.<sup>21</sup>

### **2.3.3 MANTENIMIENTO PLANIFICADO**

Este pilar tiene como propósito mejorar la eficacia del sistema actual de mantenimiento, utilizado por la empresa a través de la eliminación de los defectos de trabajo. Sugiere un sistema de mejora gradual de las operaciones de mantenimiento. Al seguir cuidadosamente estas etapas, una empresa puede tanto mejorar la gestión, como la tecnología de mantenimiento. Este pilar contribuye significativamente a mejorar el rendimiento, pero lo más importante, permite sostener los logros alcanzados con la aplicación de otros pilares. El fundamento metodológico es la elaboración y uso eficiente de la información de mantenimiento, pero en especial, la producida durante el trabajo en las estructuras y los estudios de ingeniería de mantenimiento.<sup>21</sup>

#### **2.3.4 EDUCACIÓN Y FORMACIÓN**

El entrenamiento tiene por objetivo mejorar las habilidades del personal de mantenimiento para lograr altos niveles de desempeño de las personas en su trabajo. Se puede desarrollar en pasos como y emplea técnicas utilizadas en mantenimiento autónomo, mejoras enfocadas y herramientas de calidad. <sup>21</sup>

#### **2.3.5 MANTENIMIENTO TEMPRANO**

Este pilar busca mejorar los procesos de mantenimiento. Es fundamental para empresas que compiten en sectores de innovación acelerada, ya que en estos sistemas de producción la actualización continua de los equipos, la capacidad de flexibilidad y funcionamiento libre de fallos, son factores extremadamente críticos. Este pilar actúa durante la planificación y construcción de las estructuras. Para su desarrollo se emplean métodos de gestión de información sobre el funcionamiento de las estructuras actuales, acciones de dirección económica de proyectos, técnicas de ingeniería de calidad y mantenimiento. Este pilar es desarrollado a través de equipos para proyectos específicos. Participan los departamentos de investigación, desarrollo y diseño, tecnología de procesos, producción, mantenimiento, planificación, gestión de calidad y áreas comerciales. <sup>21</sup>

#### **2.3.6 MANTENIMIENTO DE CALIDAD**

Este pilar tiene como propósito contribuir a lograr productos de alta calidad, a través de la inspección y control de los parámetros técnicos del equipo que inciden en las variables de la calidad de la estructura. Este pilar se implanta en estructuras que no presenten deterioro acumulado y su fiabilidad es alta. Las acciones de mantenimiento aseguran la calidad del producto debido a que el equipo aparentemente está libre de averías y es muy fiable. Se emplean técnicas de ingeniería de mantenimiento, análisis de procesos y métodos de calidad para identificar los parámetros a controlar. La inspección de la estructura orientada a conservar las variables de calidad es realizada por

los trabajadores como parte del mantenimiento autónomo. El mantenimiento de calidad se considera como una etapa relativamente avanzada.<sup>21</sup>

### **2.3.7 MANTENIMIENTO EN ÁREAS ADMINISTRATIVAS**

Este pilar tiene como propósito reducir la negligencia que se puede producir en el trabajo manual de las oficinas. Si cerca del 80 % del costo de un producto es determinado en las etapas de diseño del mismo y de desarrollo de la estructura, el mantenimiento productivo en áreas administrativas ayuda a evitar pérdidas de información, coordinación, precisión, etc. Emplea técnicas de mejora enfocada, estrategia de 5S, acciones de mantenimiento autónomo, educación, formación y estandarización de trabajos. Es desarrollado en las áreas administrativas con acciones individuales o en equipo.<sup>21</sup>

### **2.3.8 GESTIÓN DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE**

Tiene como propósito crear un sistema de gestión integral de seguridad. Emplea metodologías desarrolladas para los pilares de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo. Contribuye significativamente a prevenir riesgos que podrían afectar la integridad de las personas y efectos negativos al medio ambiente.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> [www.ceroaverias.com](http://www.ceroaverias.com)

## 2.4 DOCE PASOS PARA EL PROGRAMA DE IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO TOTAL

SECCIONES	PASOS	DETALLES
PREPARACIÓN	1. Declaración de la gerencia de implantar el MT.	Declaración y publicación ante toda la compañía, de la decisión de implantar el MT.
	2. Lanzamiento de la campaña de educación sobre el MT.	Gerentes: Seminarios de acuerdo al nivel. General: Presentaciones con información variada.
	3. Creación de organizaciones para promover el MT.	Creación de grupos de trabajo traslapados para difundir el MT.
	4. Establecimiento de los principios básicos y objetivos del MT.	Análisis de las condiciones actuales, fijación de objetivos, predicción de resultados.
	5. Formulación del plan maestro para el desarrollo del MT.	Preparación de planes detallados para la implantación completa del MT.
INTRODUCCIÓN	6. Inicio de la introducción del MT.	Invitación a clientes, subcontratistas y personas relacionadas con la empresa, con el fin de darles a conocer sobre los logros del MT.
EJECUCIÓN	7. Mejoramiento de la eficiencia de cada parte de los equipos.	Implantación de tareas de mantenimiento que eleven la eficiencia.
	8. Establecimiento de la fase inicial de un sistema de gerencia para nuevos productos.	Registro de información valiosa que ayudará en el momento de introducir nuevos productos y equipos.
	9. Establecimiento de un sistema de mantenimiento de calidad.	Enfoque sobre las causas que producen las características de calidad.
	10. Establecimiento de un sistema para mejorar la eficiencia en los sectores administrativos y de supervisión.	Tareas de mantenimiento autónomo y mejora individual, orientadas a estos departamentos.
	11. Establecimiento de un sistema de seguridad, higiene y protección del medio ambiente.	Tareas enfocadas a eliminar la suciedad, peligro y dificultades.
ESTABLECIMIENTO	12. Implantación completa del MT.	Presentación de la compañía para la obtención de un premio MT y fijación de objetivos más altos.

**Tabla 2.1** Doce pasos para la implantación del Mantenimiento Total. <sup>22</sup>

## **2.5 EFECTOS DEL MANTENIMIENTO TOTAL**

Los siguientes aspectos son considerados como efectos tangibles después de haber implantado el Mantenimiento Total:

- Productividad (P).
- Calidad (Q).
- Costo (C).
- Tiempo de entrega (D).
- Seguridad, limpieza (S).
- Moral (M).

## **2.6 CLASIFICACIÓN Y CONCEPTOS DEL MANTENIMIENTO**

El mantenimiento puede clasificarse como:

- Correctivo.
- Preventivo.
- Predictivo.
- Modificativo.

Partiendo de los diferentes tipos de mantenimiento que se pueden desarrollar, es importante recopilar la información sobre cual de ellos se realiza sobre las estructuras metálicas.

### **2.6.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Son los trabajos a realizar, los cuales se encuentran planificados y programados con anterioridad en un plan de mantenimiento y que son cumplidos en los plazos previstos, con el objetivo de evitar que las estructuras se deterioren prematuramente.

### **2.6.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Son los trabajos a realizar, los mismos que se presentan de manera imprevista y requieren de una acción correctiva inmediata, de manera de garantizar la fiabilidad de la infraestructura y preservar la calidad del producto.

### **2.6.3 REHABILITACIÓN**

Ante la falta de un mantenimiento adecuado, la estructura de acero llega a niveles de deterioro que superan los niveles permisibles, para devolver a la estructura un nivel de servicio aceptable, serán necesarias realizar actividades de mayor relevancia que las del mantenimiento periódico (preventivo). Las actividades a desarrollar incluyen las mismas que las indicadas para el mantenimiento periódico, pero cuyas cantidades y costos son considerablemente mayores.

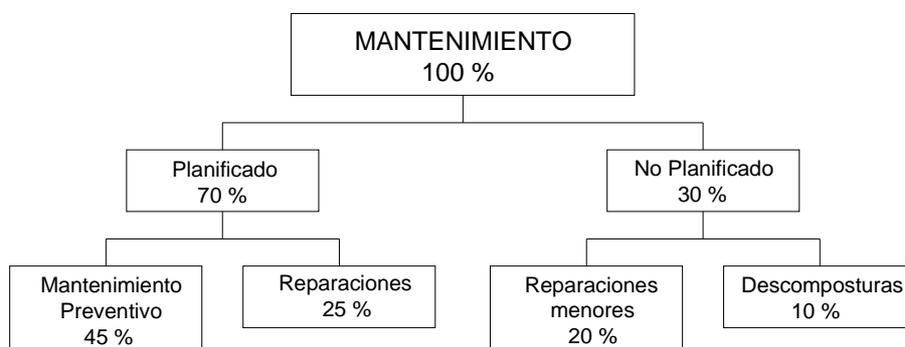
### **2.6.4 RECONSTRUCCIÓN**

Ante la falta de un mantenimiento adecuado, la estructura de acero llega a niveles de deterioro que superan considerablemente los niveles permisibles, hay ocasiones en que la estructura ha cumplido con su vida útil y por tales circunstancias solamente las obras de reconstrucción permitirán que la estructura pueda volver a ofrecer el nivel de servicio original.

### **2.6.5 MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Son todas 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.

## 2.6.6 DISTRIBUCIÓN DEL MANTENIMIENTO



**Figura 2.2** Distribución del Mantenimiento. <sup>23</sup>

## 2.7 PARÁMETROS Y ACTIVIDADES FUNCIONALES, ESTRUCTURALES Y DE SEGURIDAD DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

### 2.7.1 PARÁMETROS PRINCIPALES

Los parámetros principales son:

- Cable metálico.
- Viga de rigidez o armadura.
- Anclajes.
- Pendolones.
- Tablero.
- Torres.
- Neoprenos.
- Cimientos.
- Silletas.

<sup>23</sup> [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com)

### **2.7.2 PARÁMETROS SECUNDARIOS**

Los parámetros secundarios son:

- Conexiones empernadas.
- Conexiones soldadas.
- Conexiones remachadas.
- Conexiones con pasadores.
- Conexiones con remache – tornillo.
- Conexiones con combinación de soldadura y pernos.
- Conexiones con espárragos soldados.

### **2.7.3 ACTIVIDADES FUNCIONALES**

Entre las actividades funcionales se tiene las reparaciones en:

- Niveles de las aproximaciones.
- Tablero del puente.
- Losas.
- Conexiones.

### **2.7.4 ACTIVIDADES ESTRUCTURALES**

Entre las actividades estructurales se tiene reparaciones en:

- Viga de rigidez o en la armadura de rigidez.
- Apoyos.
- Muros.
- Cimientos.
- Torres.
- Estribos.

### **2.7.5 ACTIVIDADES DE SEGURIDAD**

Entre las actividades de seguridad se tiene arreglos en:

- Barandas.
- Bordillos.
- Aceras.
- Señalización.
- Barreras de seguridad.
- Elementos de protección.
- Estabilización de taludes del lecho.
- Estabilización de taludes del cauce.
- Postes de iluminación.

### **2.7.6 RECOMENDACIÓN**

Cuando los daños ocasionados son mayores o cuando se detecta que la capacidad de carga del puente es insuficiente, se recomienda la demolición y construcción de un nuevo puente.

## **2.8 DISEÑO EFICAZ DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.8.1 OBJETIVOS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO**

Los programas tienen como objetivo principal:

- Mejorar la disponibilidad y confiabilidad de las estructuras de acero.
- Reducir los costos.
- Mejorar la calidad del servicio.

## **2.8.2 PLANIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO**

Los planes a ser elaborados dentro de un programa de mantenimiento son:

- Mantenimiento planeado (preventivo o predictivo).
- Manejo del mantenimiento de emergencia o correctivo.
- Mejora de la confiabilidad.
- Programa de administración del equipo (TPM).
- Reducción de costos.
- Capacitación y motivación de los empleados.

## **2.9 METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO TOTAL**

### **2.9.1 RECOLECCIÓN DE DATOS SOBRE FALLAS**

Datos sobre fallas en las estructuras recolectadas periódicamente sirven para saber si el proceso de mantenimiento esta siendo mejorado o no, si la empresa ha tomado alguno de estos datos a lo largo de su vida, es importante registrarlos para un análisis posterior.

### **2.9.2 MECANISMOS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

Tanto para fallas menores como para las fallas crónicas existen varios métodos para solucionarlos, es importante registrar si estos son empleados en el mantenimiento, pues uno de los objetivos del Mantenimiento Total es cero fallas.

### **2.9.3 NORMALIZACIÓN**

La estandarización del mantenimiento es uno de los parámetros que permiten a la empresa competir nacional e internacionalmente, por esta razón es necesario mencionar bajo qué parámetros internacionales se trabaja.

#### **2.9.4 SEGURIDAD**

Otro parámetro de gran importancia en el desempeño de una empresa es el relacionado con la seguridad e higiene. Siendo este uno de los pilares del Mantenimiento Total es importante mencionar en que estado se encuentra la empresa con respecto a este aspecto.

#### **2.9.5 OTROS**

En empresas donde el Justo a Tiempo ha sido adoptado, los efectos del Mantenimiento Total son considerablemente más visibles, por lo tanto debe registrarse si la empresa trabaja con filosofías de mantenimiento y gerencia internacionales como: Justo a tiempo, Gerencia de Calidad total, etc.

### **2.10 RECOLECCIÓN DE DATOS SOBRE FALLAS Y MECANISMOS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

#### **2.10.1 FACTORES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES METÁLICOS**

Las propiedades mecánicas dependen principalmente de:

- La composición química.
- Los procesos de laminado.
- Los tratamientos térmicos.
- El trabajo en frío.
- La temperatura.

Estos factores producen una apreciable variedad de resultados para un mismo acero.

Dado que es más sencillo llevar a cabo la prueba de tensión, la mayoría de las propiedades mecánicas se toma del diagrama esfuerzo – deformación a tensión.

Los mejores aceros para estructuras metálicas son los de alta resistencia tratados térmicamente.

### 2.10.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES METÁLICOS

Las propiedades mecánicas de los aceros a altas temperaturas y su comportamiento bajo condiciones de exposición al fuego se evalúa usualmente sobre la base de su comportamiento especificados en la Norma de la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales o ASTM (por sus siglas en Inglés) E-119. Pruebas Estándar de Fuego, para la construcción de estructuras y materiales.<sup>24</sup>

El comportamiento para casi todos los aceros estructurales, es el mismo y de acuerdo con la información obtenida hasta la fecha, los ensambles hechos con aceros de alta resistencia se comportan tan bien como los hechos con acero ASTM A36.

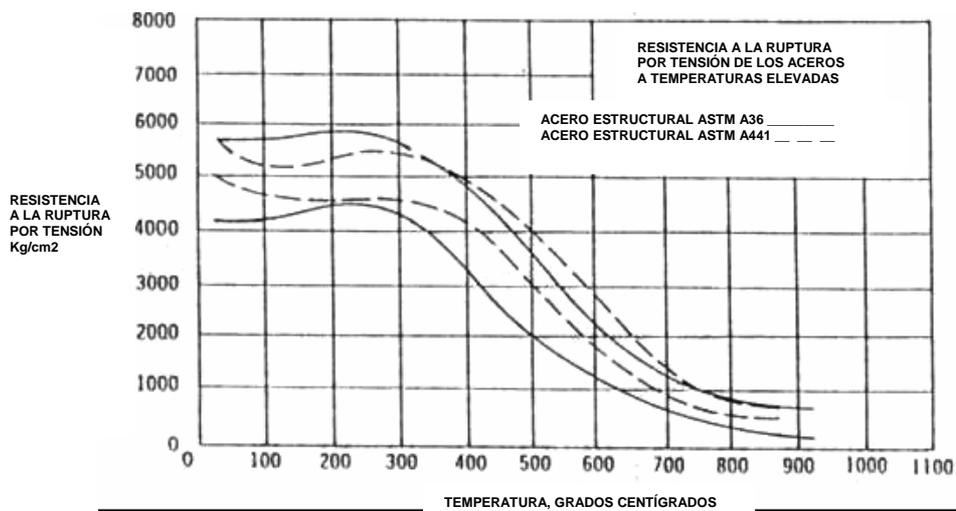
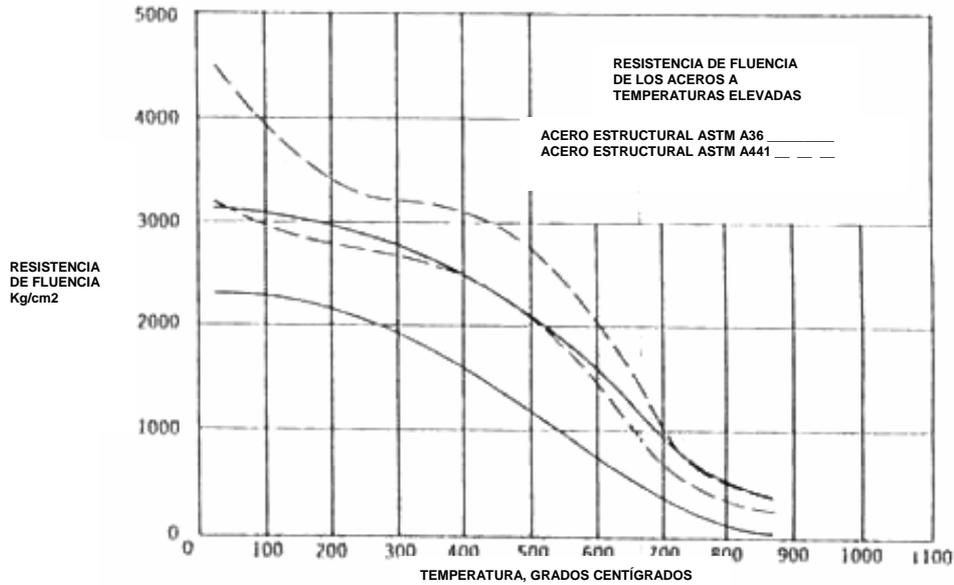


Figura 2.3 Curva típica de resistencia a la ruptura vs. temperatura.<sup>24</sup>



**Figura 2.4** Curva típica de resistencia a la fluencia vs. temperatura.<sup>24</sup>

### 2.10.3 FALLAS ESTRUCTURALES EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

La experiencia y el sentido común reciben muy poca atención para el análisis técnico, si realmente se espera obtener un beneficio de estos dos factores, el diseñador debe aprender de las fallas pasadas.

Las fallas estructurales pueden ser causadas por:

- Materiales de mala calidad.
- Errores de fabricación o montaje.
- Diseño defectuoso.

<sup>24</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2º edición, pag. 59

#### **2.10.4 CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS ESTRUCTURALES EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Las causas más frecuentes de fallas estructurales se clasifican como:

- Movimientos de cimentación.
- Resonancia dinámica e inestabilidad dinámica.
- Conexiones inadecuadas.
- Valoración incorrecta de la resistencia al pandeo.
- Falla de contraventeo adecuado contra el movimiento lateral o pandeo.
- Sobrecarga.
- Fatiga.

La falla más frecuente es la producida por movimientos a asentamientos de los cimientos, para evitar estos daños debe llevarse a cabo un análisis racional de la respuesta dinámica de la estructura, para determinar las fuerzas y desplazamientos que pueden tener.

Los miembros y conexiones de toda la estructura deben diseñarse para disipar la energía y resistir las fuerzas sin sufrir un daño irreparable.

#### **2.10.5 PROTECCIÓN DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Las protecciones principales que se deben hacer a los puentes colgantes metálicos son:

- Protección contra el fuego.
- Protección contra variaciones muy altas de temperatura.
- Protección contra la corrosión.
- Protección contra el desgaste.
- Protección contra fracturas.
- Protección contra la fatiga.

## **2.10.6 PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Las estructuras metálicas deben protegerse contra los riesgos de incendio en nuestro país, aunque usualmente se los clasifica como incombustibles y proporcionan una seguridad razonable en cierto tipo de condiciones.

### **2.10.6.1 Objetivos de la protección contra el fuego**

Los objetivos de esta protección contra el fuego son:

- Permitir la evacuación rápida y segura de los usuarios durante la amenaza.
- Contribuir a la seguridad de los equipos de emergencia.
- Evitar la propagación del fuego.
- Reducir al mínimo las pérdidas económicas de las propiedades.

El grado de seguridad de las estructuras metálicas se mide en términos de horas de resistencia al fuego, basándose en procedimientos normalizados de prueba.

### **2.10.6.2 Control de protección contra el fuego**

La resistencia al fuego del acero puede aumentarse mediante:

#### **1. Aplicación de revestimientos protectores del fuego, como:**

- Concreto.
- Yeso.
- Vermiculita.
- Rociaduras de amianto.
- Pinturas especiales.

**2. Utilizar aceros que posean un mayor número de horas de resistencia al fuego, como:**

- Acero ASTM A588 grado A.<sup>25</sup>
- Acero ASTM A514 grado F.<sup>25</sup>

**2.10.7 PROTECCIÓN CONTRA VARIACIONES MUY GRANDES DE TEMPERATURA EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**2.10.7.1 Baja temperatura**

Quando los aceros estructurales están sometidos a medios en los que la temperatura ambiental es extremadamente baja, es decir, cuando se aproxima a la Temperatura de Transición de los mismos, los efectos sobre los aceros son:

- La energía que absorben los aceros es mucho menor.
- Los aceros pasan de la zona dúctil a la zona frágil.
- Se reducen las distancias interatómicas.
- Se desequilibran las fuerzas internas del acero.
- Los aceros tienden a fracturarse bajo la acción de esfuerzos mucho menores.
- Los aceros se vuelven muy frágiles y muy duros.

**2.10.7.2 Alta temperatura**

Quando los aceros estructurales están sometidos a temperaturas extremadamente altas, los efectos sobre los aceros son:

---

<sup>25</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2ª edición, Tomo 1, pag. 1.21

- Las propiedades mecánicas de los aceros se ven disminuidas notablemente.
- Los aceros tienden a fracturarse bajo la acción de esfuerzos mucho menores.
- Los aceros se vuelven muy dúctiles y muy maleables.
- Hay crecimiento de grano.
- Las fuerzas internas del acero se desequilibran.
- Pierden la capacidad de soportar carga.

### **2.10.7.3 Control de protección contra temperaturas muy bajas**

La resistencia a las temperaturas muy bajas a las que se encuentran sometidos los aceros se evitan mediante:

#### **1. Utilización de aceros especiales que soportan bajas temperaturas, como:**

- **Acero ASTM A242, ASTM A588 y ASTM A572 grado 42/50/60/65.** <sup>26</sup>

Aceros de alta resistencia y baja aleación o HSLA (por sus siglas en Ingles).

### **2.10.7.4 Control de protección contra temperaturas muy altas**

La resistencia a las temperaturas muy altas a las que se encuentran sometidos los aceros se evitan mediante:

#### **1. Utilización de aceros que posean revestimientos de protección contra altas temperaturas, como:**

- Concreto.

---

<sup>26</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 1, pag. 1.3

- Yeso.
- Vermiculita.
- Rociaduras de amianto.
- Pinturas especiales.

**2. Utilizar aceros que posean un mayor número de horas de resistencia a altas temperaturas, como:**

- Acero ASTM A588 grado A.<sup>27</sup>
- Acero ASTM A514 grado F.<sup>27</sup>

### **2.10.8 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

La corrosión es la pérdida de material, sean estos metálicos ó no, es decir, que una parte del mismo se degrada por acción del medio.

#### **2.10.8.1 Factores que influyen en la resistencia a la corrosión**

Los factores más importantes para determinar la resistencia a la corrosión de los materiales son:

- Ambiente físico y químico.
- Composición de dicho material.
- Defensa o protección que tiene dicho material contra el contacto con los elementos dañinos del medio ambiente.

Los elementos, ya sean estos delgados o gruesos, son igual de susceptibles a la corrosión. Aunque un espesor mayor puede aumentar en cierto grado la durabilidad de una estructura de acero en presencia de la corrosión.

---

<sup>27</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 1, pag. 1.21

## **2.10.8.2 Tipos de corrosión**

### *2.10.8.2.1 Corrosión generalizada (ataque uniforme)*

Es el ataque por acción de un reactivo o por la acción atmosférica que se produce en toda la superficie del elemento por igual, es decir, no hay un lugar preferente para la corrosión.

### *2.10.8.2.2 Corrosión galvánica*

Se da cuando hay dos metales en contacto directo. En este tipo de corrosión el metal más electropositivo hace de ánodo, el metal más electronegativo hace de cátodo, hay un medio electrolítico (generalmente es el agua) y debe haber un medio que cierre del circuito galvánico (generalmente es en aire). Esta corrosión es muy fuerte y es focalizada.

### *2.10.8.2.3 Corrosión por picadura*

Es un proceso puntual y focalizado, difícil de detectar. Trae como consecuencia la perforación del metal por ser un proceso autocatalítico.

Al haber una imperfección en el metal, se empiezan a desprender electrones del mismo que van hacia la superficie y hacen que el elemento vaya perdiendo material progresivamente. Cada picadura de este proceso es independiente de la otra. Este proceso se origina cuando el agua se mete en la imperfección y empieza el proceso de extracción de electrodos. Este proceso requiere la presencia de oxígeno.

### *2.10.8.2.4 Corrosión solapada o tapada*

Es un proceso puntual, aparece o se forma en lugares tapados, es muy rápida, se da a alta velocidad por acción del agua o humedad que se filtra entre el metal y la película o material que lo cubre. Se origina en zonas con pintura, zonas con mala preparación de la pintura, en esquinas, etc. No se la puede observar y

se caracteriza porque la pintura explota. Es un proceso similar a la corrosión por picadura pero no necesita la presencia de oxígeno y posteriormente a su acción se presenta la corrosión galvánica.

#### *2.10.8.2.5 Corrosión intergranular*

Se da en aceros inoxidable y es la precipitación de carburos que se localizan en el borde de grano. Por acción de la alta temperatura, los elementos como el cromo se difunden hacia el borde de grano y forman los carburos, los cuales a su vez, se dilatan y forman fisuras en el borde de grano que pueden hacer que el material se suelte, puede haber también crecimiento de grano. El grano suelto es el cátodo y el material es el ánodo. La reacción del proceso es de oxido-reducción de carburos. En presencia de azufre, este hace que se forme sulfuro de cromo y la corrosión se acelera, al terminarse el cromo que es el elemento protector del acero y por la presencia de agua se forma ácido sulfúrico que corroe más aun al acero, es decir, al no haber cromo, el acero queda expuesto a otros ataques.

#### *2.10.8.2.6 Corrosión selectiva del hierro gris*

En este proceso, al haber una diferencia de potencial entre el material electropositivo (grafito) y el electronegativo (ferrita + perlita) se da la corrosión. La velocidad de corrosión es baja a pesar de que la diferencia de potencial es alta, esto se debe a que los materiales están muchas veces aislados. El medio electrolítico es el agua que extrae el grafito y entra en agua en contacto con el metal, causando así la corrosión.

#### *2.10.8.2.7 Corrosión bajo tensión*

Es un proceso que se presenta en elementos que están sometidos a esfuerzos constantes, debe haber corrosión transgranular. Este proceso se da en los lugares donde la tensión es máxima sin importar si es en el límite de grano o

no, esta corrosión avanza transversalmente. La corrosión se da de adentro hacia afuera.

### **2.10.8.3 Control de protección contra la corrosión**

El deterioro de los aceros por corrosión se evita dependiendo del tipo de corrosión que ataca, como:

#### **1. Corrosión generalizada.**

- Aplicar recubrimientos protectores (pinturas o galvanizado).
- No tapar con materiales que puedan atrapar humedad.

#### **2. Corrosión galvánica.**

- Utilizar materiales con una variación de voltaje pequeña.
- Aplicar capas protectoras (pinturas o galvanizado).
- Aplicar corrientes impresas por medio de un generador, el cual absorbe esta diferencia de potencial y es el que se corroe.
- Mediante la utilización de un ánodo de sacrificio (zinc).

#### **3. Corrosión por picadura.**

- Mejorar el acabado superficial en los materiales.

#### **4. Corrosión solapada.**

- Sellar las uniones para evitar que el agua se filtre entre el metal y la película o material que lo cubre.
- Utilizar películas protectoras de calidad para evitar estas filtraciones.

#### **5. Corrosión intergranular.**

- No exponer el acero a elevadas temperaturas.
- Utilizar películas protectoras contra el calor.

## 6. Corrosión selectiva del hierro gris.

- Aplicar capas protectoras (pinturas o galvanizado).

## 7. Corrosión bajo tensión.

- Realizar un tratamiento térmico de alivio de tensiones.

### 2.10.8.4 Galvanizado

El galvanizado es un recubrimiento sacrificable de zinc, es decir, este recubrimiento se corroe primero y crea una película de óxido protector que impide la corrosión del acero.

Este recubrimiento es el más común y económico de todos, es muy efectivo mientras no se rompa o fisure. Se lo puede aplicar en todos los elementos que forman parte de toda la estructura metálica.

La efectividad del recubrimiento de zinc es proporcional a su espesor, se lo mide en kilogramos sobre metro cuadrado del área superficial a proteger.

Hay tres clases de recubrimiento de zinc que son:

- **Clase A.**  
Varia de 0.12 a 0.31 [kg/m<sup>2</sup>].
- **Clase B.**  
Es 2 veces más pesado que el clase A.
- **Clase C**  
Es 3 veces más pesado que el clase A.

#### 2.10.8.4.1 Desventajas del proceso de galvanizado

La galvanización tiene algunas desventajas que son:

- Dependiendo de las condiciones ambientales, el galvanizado dura aproximadamente 20 años.
- Hay la posibilidad de que el galvanizado por inmersión en caliente pueda causar fragilización por hidrogenación (sin embargo, hay

alguna indicación que con la tecnología actual, el método de galvanizado por inmersión en caliente es probable que no produzca fragilidad por hidrogenación como ocurría antes).

- Puede ser difícil cumplir las especificaciones para un recubrimiento clase C con el método de inmersión en caliente.
- Un alambre galvanizado por inmersión en caliente puede no tener la misma resistencia a la fatiga que tiene un alambre recubierto con galvanización electrolítica.

#### **2.10.8.5 Protección contra la corrosión en los cables de los puentes colgantes**

Los sistemas de protección más comunes son:

- Recubrimiento mediante galvanizado.
- Recubrimientos con pasta roja de plomo.
- Recubrimientos sintéticos de:
  - a. Piezas plásticas de relleno extruidas de polietileno negro.
  - b. Cubiertas de lámina de nylon.
  - c. Cubiertas de resina acrílica de vidrio reforzado consistente en una capa de base de fibra de vidrio.
  - d. Capas de tela de vidrio.
  - e. Capas de resina acrílica.
  - f. Capas de resina acrílica que contiene un aditivo de arena.
  - g. Hojas de neopreno enrolladas en espiral.
  - h. Pintura de hypalón.
  - i. Hojas de neopreno enrolladas.

#### **2.10.8.6 Protección contra la corrosión en las péndolas de los puentes colgantes**

Los sistemas de protección más comunes son:

- Recubrimientos de galvanización.

- Recubrimientos con extrusión de polietileno negro de gran densidad. En muchas aplicaciones este recubrimiento también reduce la fatiga causada por las vibraciones. Por tal razón debe prestarse particular atención al sellamiento de los extremos y minimizar el doblado de los alambres en la nariz de los casquillos.

#### **2.10.8.7 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.

- **Acero ASTM A709 grado 36 y ASTM A36.** <sup>28</sup>  
Acero estructural.
- **Acero ASTM A709 grado 50, ASTM A572 grado 50, ASTM A709 grado 50W y ASTM A588.** <sup>28</sup>  
Acero de baja aleación y alta resistencia o HSLA.
- **Acero ASTM A709 grado 70W y ASTM A852.** <sup>28</sup>  
Acero de baja aleación, templado y revenido.
- **Acero ASTM A709 grados 100/100W y ASTM A514.** <sup>28</sup>  
Acero aleado de alta resistencia a la cadencia, templado y revenido.

#### **2.10.8.8 Aceros con autoprotección ambiental**

Se los usa para obtener economía en la estructura y cuando las condiciones lo permiten.

---

<sup>28</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 2, pag. 10.71

Este tipo de acero tiene resistencia mejorada contra la corrosión atmosférica y no requiere pintura, pero el kilo cuesta un poco más que otros aceros de grado equivalente.

Antes de seleccionar el tipo de acero, los diseñadores deben determinar el nivel de corrosión del entorno en el cual va a ser localizado el puente, esto determinará si es apropiado el uso de un acero sin pintura de grado:

- 50W.
- 70W.
- 100W.

Estos aceros pueden ser utilizados en:

- Regiones costeras marítimas.
- Regiones con fuertes y frecuentes lluvias, alta humedad o niebla persistente.
- Áreas industriales donde emisiones químicas concentradas puedan atacar directamente a las estructuras.
- Túneles donde las emisiones vehiculares pueden ser altamente corrosivas.
- En cruces acuáticos.

## **2.10.9 PROTECCIÓN CONTRA EL DESGASTE DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

El desgaste es la pérdida de material, por lo general es causada por algún mecanismo o medio en contacto.

### **2.10.9.1 Consideraciones**

Se debe tomar en cuenta si la pérdida de material impide que el elemento pueda seguir funcionando, pero hay que considerar también que esta pérdida de material puede causar grandes problemas.

## **2.10.9.2 Tipos de desgaste**

### *2.10.9.2.1 Desgaste adhesivo*

- Hay contacto entre metal – metal.
- Se desplazan las superficies.
- Hay la acción de una carga externa.
- Hay microcontacto superficial.
- Un material es más duro que el otro.
- No hay lubricación.
- Hay partículas de metal alojadas en el interior.
- Se presentan como rayaduras del mismo ancho y profundidad.

### *2.10.9.2.2 Desgaste abrasivo*

- Hay partículas duras.
- Las partículas duras chocan contra el metal.
- Estas partículas pueden ser arenas, alúmina, carburos, etc.
- Puede derivarse del desgaste adhesivo.
- Es un desgaste rápido.
- Se presenta como rayaduras de diferente ancho y profundidad.

### *2.10.9.2.3 Desgaste por erosión*

- Hay partículas en suspensión dentro de un líquido.
- Las partículas impactan contra el material por acción de la velocidad y presión.
- Se presentan como una rayadura de gato, pero más homogénea en ancho y profundidad.

#### 2.10.9.2.4 *Desgaste por erosión - corrosión*

- Las partículas que se desprenden en la corrosión son arrastradas por el fluido y generan el desgaste abrasivo – corrosivo.
- Donde se ha presentado el desgaste abrasivo – corrosivo, se presenta la corrosión.

#### 2.10.9.3 **Control de protección contra el desgaste**

El deterioro de los aceros por desgaste se evita dependiendo del tipo de desgaste que ataca, como:

##### **1. Desgaste adhesivo.**

- Lubricar las superficies.
- Utilizar aditivos como:
  - a. Grafito.
  - b. Sulfuro de molibdeno.
- Mejor acabado superficial.
- Utilizar materiales como:
  - a. Teflón.

##### **2. Desgaste abrasivo.**

- Utilizar filtros de acuerdo al tamaño de las partículas.
- Utilizar elastómeros como:
  - a. Caucho.
  - b. Polímero.
- Utilizar aceros al 7 u 8 % de C.
- Utilizar aceros Hadfiel (14 % Mn).
- Utilizar fibras + matriz cerámica o composites.

##### **3. Desgaste por erosión.**

- Utilizar sedimentos en volúmenes grandes de fluido.

- Utilizar filtros en volúmenes pequeños de fluido.
- Utilizar elastómeros.
- Utilizar aceros al manganeso.
- Utilizar cerámicos.

#### **4. Desgaste por erosión - corrosión.**

- Identificar el tipo de corrosión y así evitar la misma para posteriormente evitar la erosión.

### **2.10.10 PROTECCIÓN CONTRA FRACTURAS FRÁGILES EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Los puentes, edificios, barcos y otras estructuras utilizadas por las personas son diseñados para lo que pudiera definirse como falla dúctil o plástica, ya que los tipos de fallas repentinas o abruptas son totalmente indeseables. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias llega a presentarse este tipo de fallas repentinas, las que han sido atribuidas ya sea a la fractura frágil o a la fatiga.

En general, el acero se comporta en forma plástica y fluye cuando, debido a un alto esfuerzo cortante, ocurre un deslizamiento a lo largo de ciertos planos de ruptura. Al esfuerzo cortante máximo, para el que presenta el deslizamiento, se le designa esfuerzo de fluencia al cortante y al esfuerzo principal máximo de tensión, correspondiente al instante en el que se presenta la fractura, resistencia a la fractura frágil.

El comportamiento del material puede ser plástico o frágil, dependiendo del estado del esfuerzo y de la temperatura.

Esta consideración de comportamiento frágil o dúctil subraya la importancia de los esfuerzos residuales, si existen efectos residuales altos en ciertas partes de la estructura, la fractura frágil puede presentarse bajo cargas relativamente pequeñas.

### **2.10.10.1 Fractura frágil**

Bajo condiciones suficientemente adversas de esfuerzo a tensión, temperatura, velocidad de carga, discontinuidad geométrica (muesca) o restricción, un miembro de acero puede experimentar una fractura frágil. En general una fractura frágil es una falla que ocurre por agrietamiento con poca indicación de deformación plástica. En contraste, una fractura dúctil ocurre principalmente por corte, por lo general precedida por una considerable deformación plástica.

El comportamiento frágil y las fracturas de tipo quebradizo son originadas por:

- Altos esfuerzos de tensión.
- Elevados porcentajes de carbono.
- Aplicación rápida de las cargas.
- Presencia de muescas.

Una falla quebradiza tiene una apariencia cristalina y una falla por cortante tiene una apariencia fibrosa.

### **2.10.10.2 Efecto de la temperatura sobre la fractura frágil**

La resistencia a la fractura frágil no cambia en forma apreciable respecto a la temperatura y en el caso del acero se supone constante. En cambio, el esfuerzo de fluencia al cortante sí varía con la temperatura, es decir, que los esfuerzos aumentan cuando la temperatura disminuye y el acero se vuelve frágil.

### **2.10.10.3 Comportamiento de los empalmes soldados en secciones pesadas**

La contracción durante la solidificación de grandes soldaduras en miembros estructurales de acero ocasiona, en el metal restringido adyacente, deformaciones que pueden sobrepasar la correspondiente al punto de cedencia.

En material grueso pueden desarrollarse esfuerzos en la dirección del espesor así como en las direcciones planares. Este tipo de condición inhibe la capacidad del acero para actuar de manera dúctil y aumenta la posibilidad de una fractura frágil.

#### **2.10.10.4 Efecto de los procesos de fabricación sobre la fractura frágil**

El excesivo trabajado en frío como el punzonamiento y cizallamiento de los bordes expuestos de miembros de acero estructural puede ocasionar fragilización o grieta y deben evitarse porque pueden ocasionar fractura frágil.

El taladrado es preferible al punzonamiento, porque este último labra en frío drásticamente el material en el borde de un agujero y puede producir pequeñas grietas que se extiendan radialmente a partir del agujero. Esto hace que el acero sea menos dúctil y eleva la temperatura de transición, en consecuencia, la falla frágil puede iniciarse en el agujero cuando el miembro se somete a esfuerzo.

Si el material que rodea al agujero se calienta (como en una soldadura), se introduce un riesgo adicional de falla porque ocurrirá envejecimiento por deformación en materiales que sean susceptibles a esto. El resultado será una pérdida de ductilidad.

El corte con cizalla tiene casi los mismos efectos del punzonamiento. Obsérvese también que el fresado brusco puede producir los mismos efectos que el corte con cizalla o el punzonamiento.

#### **2.10.10.5 Efectos de la soldadura sobre la fractura frágil**

Rara vez ocurren fallas de servicio. Si se presenta una fractura, ésta se inicia en un defecto similar a una muesca.

Las muescas se presentan por diversas razones:

- El borde de la soldadura puede formar una muesca natural.
- La soldadura puede contener fisuras que actúan como muescas.

- Un golpe del arco de soldar en el metal base puede tener un efecto fragilizante, especialmente si no se deposita metal de aporte.

Una grieta iniciada en este tipo de muescas se propagará a lo largo de una trayectoria determinada por los esfuerzos locales y la tenacidad de la muesca del material adyacente.

El precalentamiento antes de soldar minimiza el riesgo de falla frágil. Su efecto inicial es reducir el gradiente de temperatura entre la soldadura y el metal base adyacente. De esta manera hay menor posibilidad de agrietamiento durante el enfriamiento y hay una oportunidad para que escape el hidrógeno atrapado, el cual representa una posible fuente de fragilización.

Un efecto consecuente del precalentamiento es la mejora de la ductilidad y la tenacidad de la muesca de los metales base y de aporte y una menor temperatura de transición de la soldadura.

El enfriamiento rápido de una soldadura puede tener un efecto adverso. Una razón para que los golpes de arco que no depositan metal de aporte sean peligrosos, es que el metal calentado se enfría rápidamente, esto ocasiona una fragilización severa.

A veces las soldaduras se martillan para impedir que haya grietas o distorsión. Por lo común las especificaciones prohíben el martilleo del primer y último pase de soldadura. El martilleo del primer pase puede agrietar o perforar la soldadura y el martilleo del último pase dificulta la inspección de grietas. El martilleo reduce considerablemente las propiedades de tenacidad e impacto del material de aporte. Sin embargo, los efectos adversos se eliminan por la capa de soldadura de cubrimiento (último pase).

#### **2.10.10.6 Control de protección contra la fractura frágil**

La fractura frágil se evita dependiendo del estado de esfuerzos y la temperatura que actúa sobre la estructura metálica, como son:

##### **1. Estado de esfuerzos y temperatura.**

- Evitar someter la estructura a altos esfuerzos de tensión.

- Evitar utilizar aceros con elevados porcentajes de carbono.
- Evitar la aplicación rápida de las cargas.
- Eliminar la presencia de muescas.
- Utilizar aceros resistentes a temperaturas bajas, como los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA).
- Realizar tratamientos térmicos de alivio de tensiones residuales.

## **2.10.11 PROTECCIÓN CONTRA LA FATIGA DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.10.11.1 Fatiga**

Se designa con el nombre de fatiga al fenómeno consistente en la falla o ruptura de un miembro estructural bajo un esfuerzo considerablemente menor que su resistencia a la tensión o a la fluencia, cuando está sujeto a cargas cíclicas o repetitivas.

### **2.10.11.2 Importancia de la fatiga**

La fatiga se presenta en estructuras que están sometidas a cargas móviles, tales como puentes o grúas viajeras. La fatiga empieza a manifestarse en regiones en las que existe concentración de esfuerzos, la que causa una grieta diminuta. Esta pequeña grieta se va extendiendo o propagándose a las regiones circundantes, bajo el efecto de los ciclos de carga acumulados en el puente a lo largo de un extenso período de tiempo, hasta que la resistencia estática de la estructura disminuye a tal grado que falla repentinamente, como si estuviese sometida a carga estática.

Las concentraciones de esfuerzos tienen un efecto relativamente reducido sobre la resistencia estática de las estructuras, si el material del que está hecha es lo suficientemente dúctil. Pero cuando esta concentración de esfuerzos se combina con la acción de cargas repetitivas, la resistencia de la estructura en el punto de la concentración de esfuerzos se ve materialmente reducida. Por este

motivo las soldaduras y las conexiones que tengan agujeros son intrínsecamente débiles cuando se someten a esfuerzos repetitivos, puesto que en algunas ocasiones resulta difícil, sino imposible, evitar la concentración de esfuerzos en las conexiones estructurales. Las conexiones soldadas por acción del calor se vuelven frágiles y los efectos de la fatiga son más severos.

El mecanismo de falla por fatiga da lugar a que la apariencia de la parte donde se inicio la grieta se pueda distinguir generalmente de la zona de aspecto cristalino que se fractura al final.

Los factores principales asociados con las fallas por fatiga pueden resumirse como:

- Un número grande de ciclos de carga.
- Un amplio rango de variaciones de esfuerzo.
- Un esfuerzo elevado en un miembro con un rango pequeño de esfuerzos durante las cargas cíclicas.
- Concentraciones locales de esfuerzo debidas a detalles de diseño y fabricación.

### **2.10.11.3 Variables que producen fatiga**

Las variables en las cargas repetidas son:

- Tipo de estructura.
- Tipo de carga.
- Esfuerzos máximos.
- Esfuerzos mínimos.
- Frecuencia del ciclo de esfuerzos.
- Continuidad de la carga.

Para una variación dada de esfuerzo es posible determinar el número de ciclos para el que se presenta la falla en un espécimen determinado.

Usualmente existe un valor de esfuerzo máximo, llamado límite de fatiga, para el cual no ocurre la falla aun con un número extremadamente alto de ciclos.

#### **2.10.11.4 Factores que afectan la resistencia a la fatiga**

Existen muchos factores que afectan la resistencia a la fatiga de un miembro o conexión y son:

##### **1. Material.**

- Propiedades mecánicas.
- Acabado superficial.
- Esfuerzos residuales.
- Tamaño del grano.

##### **2. Diseño.**

- Discontinuidades geométricas.
- Tipo y magnitud de las cargas repetitivas y de los esfuerzos resultantes.
- Velocidad de aplicación de la carga.
- Esfuerzo máximo.
- Relación de esfuerzos.
- Tamaño del miembro.
- Concentración de esfuerzos.

##### **3. Fabricación.**

- Técnicas de soldadura.
- Prácticas de taller.

##### **4. Montaje.**

- Esta fase no debe introducir ningún concepto nuevo durante el proceso de montaje.

El mismo cuidado y atención requeridos en la fabricación se requiere también aquí.

## **5. Operación.**

- En la selección del material debe tenerse en cuenta el uso de la estructura en temperaturas extremas.
- Debe considerarse la operación de estructuras tales como puentes, equipo o material rodante, en temperaturas extremas de frío y calor.

### **2.10.11.5 Resistencia a la fatiga de conexiones remachadas**

La resistencia de las conexiones remachadas bajo cargas repetidas es mucho menor que bajo carga estática.

La resistencia de las conexiones remachadas sometidas a carga estática excede considerablemente los valores permisibles, Sin embargo, bajo cargas repetidas, las concentraciones de esfuerzos existentes en las conexiones remachadas pueden ocasionar la falla a esfuerzos nominales relativamente bajos, siempre que el rango de esfuerzos y el número de repeticiones de la carga excedan los valores límites.

Los factores que afectan la resistencia a la fatiga de una conexión remachada sometida a un determinado tipo de carga son:

- El número de ciclos de carga.
- Las fuerzas de apriete de los remaches.
- El grado en que los remaches llenan los agujeros.
- La longitud de agarre.
- La forma en que los remaches están distribuidos en la conexión.

### **2.10.11.6 Resistencia a la fatiga de conexiones soldadas**

Las pruebas indican que las fallas por fatiga en una junta soldada pueden ocurrir por alguno de los siguientes motivos:

- Falla en el metal depositado.
- Falla en la línea de fusión.
- Falla en la zona afectada por el calor.
- Falla en el borde de la soldadura.

La resistencia al impacto de las estructuras es a menudo relacionada con la resistencia a la fatiga y ambas se consideran relacionadas también con la fragilidad. En general, las estructuras soldadas en servicio tienen una buena resistencia al impacto, pero esta resistencia es probablemente inferior a la de las estructuras remachadas, debido a que en las estructuras soldadas una porción considerable de la energía del impacto debe ser absorbida por la deformación elástica o plástica de las partes cercanas a las soldaduras, mientras que en las remachadas, el deslizamiento de los remaches absorbe parte de la energía con un mínimo de daño estructural.

#### **2.10.11.7 Daños acumulados por fatiga**

En las estructuras, los rangos de carga no son constantes y no se aplican a intervalos regulares, sino que, las cargas y las relaciones de esfuerzos resultantes en los miembros varían considerablemente.

Se han efectuado pruebas de laboratorio para evaluar el efecto del sobreesfuerzo y del subesfuerzo en el límite de fatiga del material, los estudios indican que el daño aumenta al crecer el número de ciclos de sobreesfuerzo aplicado, otros demuestran que un gran número de ciclos de esfuerzo, precisamente por debajo del límite de fatiga, seguidos por esfuerzos que van aumentando en incrementos pequeños conforme se repiten, producen un incremento substancial en la resistencia a la fatiga. A este último proceso se la conoce como adulación.

#### **2.10.11.8 Control de protección contra la fatiga**

La fatiga en las estructuras metálicas se evita dependiendo de los factores como:

## **1. Material.**

- Utilizar aceros con mejores propiedades mecánicas.
- Mejorar el acabado superficial.
- Disminuir los esfuerzos residuales mediante tratamientos térmicos.
- Controlar el tamaño del grano en el proceso de soldadura.

## **2. Diseño.**

- Disminuir las discontinuidades geométricas.
- Controlar el tipo y magnitud de las cargas repetitivas y de los esfuerzos resultantes.
- Reducir la velocidad de aplicación de la carga.
- Utilizar el tamaño del miembro más idóneo.
- Disminuir la concentración de esfuerzos.

## **3. Fabricación.**

- Mejorar las técnicas de soldadura.
- Mejorar las prácticas de taller.

## **4. Montaje.**

- Realizar un montaje adecuado y cuidadoso.

## **5. Operación.**

- Debe tenerse en cuenta el uso de películas protectoras para las estructuras que estén sometidas a temperaturas extremas.
- Debe considerarse la operación de estructuras que estén expuestas a temperaturas extremas de frío y calor.

## **2.11 NORMALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.11.1 ACEROS ESTRUCTURALES PARA PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Todo tipo de acero estructural será de preferencia del tipo de Soldabilidad Garantizada, en la Norma INEN se reconocen los siguientes tipos:

- ASTM A37E/ES.<sup>29</sup>
- ASTM A42E/ES.<sup>29</sup>
- ASTM A52E/ES.<sup>29</sup>

Los aceros estructurales son empleados en:

- Torres.
- Tableros.
- Vigas de rigidez.
- Armaduras de rigidez.
- Pendolones.
- Sistema de anclaje.

Los aceros estructurales son:

- Aceros estructurales al carbono.
- Aceros de alta resistencia y baja aleación.
- Aceros al carbono tratados y templados.
- Aceros de aleación para construcción.

---

<sup>29</sup> Ministerio de Obras Públicas; Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes; Plan Maestro de la Red Vial del Ecuador

### **2.11.1.1 Aceros estructurales al carbono**

Acero empleado para la construcción de puentes y edificios, aunque se desarrollo principalmente para usarse en construcciones remachadas y atornilladas.

- **Acero ASTM A36.** <sup>30</sup>

Punto de fluencia más elevado y un contenido de carbono adecuado para propósitos de soldadura.

### **2.11.1.2 Aceros de alta resistencia y baja aleación**

Este grupo de aceros de acuerdo a su composición química, se adaptan a los diferentes requisitos de construcción. La resistencia deseada se obtiene por medio de elementos de aleación. Así, según el caso, puede existir una necesidad específica de un acero para construcción remachada, atornillada, soldada, resistente a la corrosión y que tenga al mismo tiempo, características de soldabilidad adecuadas.

- **Acero ASTM A440.** <sup>30</sup>

Acero económico para construcción remachada y atornillada.

- **Acero ASTM A441.** <sup>30</sup>

Acero para construcción soldada.

- **Acero ASTM A242.** <sup>30</sup>

Acero de alta resistencia a la corrosión, bajo condiciones atmosféricas.

### **2.11.1.3 Aceros al carbono tratados y templados**

Algunos de estos aceros son propiedad de empresas fundidoras y hasta la fecha no se les ha asignado una clasificación en la ASTM.

Son aceros que se los obtiene por medio de procesos de templado y tratamiento térmico.

#### **2.11.1.4 Aceros de aleación tratados y templados**

Estos aceros requieren, además del carbono, de varios elementos de aleación y de tratamientos térmicos para obtener sus elevadas resistencias de fluencia y de tensión.

- **Aceros de aleación tratados y templados.**<sup>30</sup>

Son aceros soldables y tienen una alta resistencia a la corrosión atmosférica.

#### **2.11.2 ACEROS PARA ALAMBRES Y CABLES EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Los alambres y cables son utilizados para aplicaciones estructurales. Los cables de alambres con núcleo de fibra se emplean casi totalmente para propósitos de izaje, los torones y cables con núcleos de torones o núcleos independientes de cable de alambre son los que se usan para aplicaciones estructurales.

- **Alambre galvanizado para puentes.**<sup>31</sup>

Aunque pueden usarse varios tipos de acero, es el más común para aplicaciones estructurales y también se usa para hacer torones y cables para puentes.

El alambre para puentes usado en torones y cables está galvanizado con un recubrimiento mínimo requerido, que depende del diámetro.

---

<sup>30</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2º edición, pag. 60

<sup>31</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2º edición, pag. 65

### **2.11.3 ACEROS PARA REMACHES EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Existen tres especificaciones ASTM que cubren los aceros para remaches.

- **Acero Estructural para Remaches ASTM A141.** <sup>32</sup>

Se lo emplea con fines estructurales.

- **Acero Estructural de Alta Resistencia para Remaches ASTM A195.** <sup>32</sup>

Es adecuado para utilizarse con acero estructural al silicio (ASTM A94) y aceros equivalentes.

- **Acero Estructural de Aleación de Alta Resistencia para Remaches ASTM A502.** <sup>32</sup>

Es adecuado para acero ASTM A242 y equivalentes.

### **2.11.4 ACEROS PARA TORNILLOS EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Existen cuatro tipos de aceros para tornillos que se usan con propósitos estructurales, designados por la ASTM como:

- **Acero ASTM A325.** <sup>33</sup>

Tornillos de Acero de Alta Resistencia para Juntas Estructurales.

- **Acero ASTM A354 Grado BC.** <sup>33</sup>

Tornillos y vástagos con tuerca adecuadas de Acero de Aleación Templado y Tratado.

---

<sup>32</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2º edición, pag. 72

- **Acero ASTM A307.**<sup>33</sup>  
Sujetadores de Acero al Bajo Carbono, Roscados Interna y Externamente.
- **Acero ASTM A490.**<sup>33</sup>  
Tornillos de Acero de Aleación Templado y Tratado para Juntas Estructurales de Acero.

Las propiedades de resistencia de estos aceros son iguales o mayores que las del tipo de acero estructural para la cual se recomiendan.

#### **2.11.5 ACEROS PARA METAL DE APORTACIÓN PARA SOLDADURA EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

Los electrodos para la soldadura de arco metálico con atmósfera de protección para aceros al carbono y aceros de baja aleación se describen en las especificaciones ASTM:

- **Acero ASTM A233.**<sup>34</sup>  
Electrodos de Acero Dulce Cubiertos para Soldadura de Arco.
- **Acero ASTM A316.**<sup>34</sup>  
Electrodos de Acero de Baja Aleación Cubiertos para Soldadura de Arco.

Para aplicaciones estructurales se usan las series de electrodos E60 y E70 en soldaduras manuales de arco metálico con atmósfera protectora.

Los electrodos desnudos y el fundente granular que se emplean en el proceso de arco sumergido cumplen con los requisitos de los Grados SAW-1 y SAW-2.<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2º edición, pag. 73

<sup>34</sup> BRESLER BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Limusa, México, 1997, 2º edición, pag. 73

## 2.11.6 TIPOS Y USOS DEL HORMIGÓN ARMADO EN UN PUENTE COLGANTE CON ESTRUCTURA DE ACERO

### 2.11.6.1 Torres prefabricadas y elementos estructurales de hormigón de Cemento Pórtland

Clase	Tipo de hormigón	Relación agua/cemento	Uso general
<b>A</b>	Estructura especial	0.44	Puentes
<b>B</b>	Estructural	0.58	Losas, columnas, estribos y muros
<b>C</b>	Para elementos que trabajan a tracción	0.46	Pavimentos rígidos
<b>D</b>	Para compactar con rodillo o con pavimentadora	0.36	Pavimentos
<b>E</b>	No estructural	0.65	Bordillos y contrapisos
<b>F</b>	Ciclópeo	0.70	Muros, estribos y plintos no estructurales
<b>G</b>	Relleno fluido	-	Rellenos para nivelación, zanjas y excavaciones. Bases de pavimentos

**Tabla 2.2** Clases y usos del hormigón de Cemento Portland. <sup>35</sup>

El hormigón de Cemento Portland que se utiliza en las estructuras es el Clase A, a menos que se señale otra cosa en las especificaciones respectivas.

### 2.11.6.2 Agregados para el hormigón

Son materiales granulares que resultan de la disgregación y desgaste de las rocas o que se obtienen mediante la trituración de las mismas.

<b>Árido (agregado)</b>	<b>Tipo</b>
<b>Árido grueso</b>	Sus partículas son retenidas por el tamiz INEN 4.75 [mm] (Nº 4)
<b>Árido fino</b>	Sus partículas atraviesan el tamiz INEN 4.75 [mm] y son retenidas por el tamiz INEN 75 [mm] (Nº 200)

**Tabla 2.3** Agregados para el hormigón armado de Cemento Portland. <sup>35</sup>

La mezcla del hormigón debe ser de 1 parte de cemento y 2 partes de arena o agregado aproximadamente.

### 2.11.6.3 Aditivos para el hormigón

Son materiales que modifican las propiedades del hormigón cuando este se encuentra en estado fresco, de fraguado y endurecido.

Según el efecto en la mezcla, se tienen los siguientes tipos de aditivos:

- Acelerante.
- Retardantes de fraguado.
- Reductores de agua.
- Reductores de agua de alto rango.
- Reductores de agua y acelerantes.
- Reductores de agua y retardantes.

---

<sup>35</sup> Ministerio de Obras Públicas; Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes; Plan Maestro de la Red Vial del Ecuador

- Reductores de agua de alto rango y retardantes.
- Incluidores de aire.
- Impermeabilizantes.

#### **2.11.6.4 Torres y elementos de hormigón fundidos en sitio**

Por lo general las torres moldeadas en el lugar de la obra serán construidas empleando encofrado metálico, el mismo que quedará permanentemente en el sitio de la obra.

El hormigón debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Debe tener una trabajabilidad adecuada para garantizar una absoluta continuidad en su ejecución, aún si se emplean moldes recuperables.
- Debe presentar una adecuada resistencia al ataque químico del terreno circundante, para lo cual se exigirá el empleo de cemento Portland resistente a los sulfatos.
- Proteger los moldes que permanezcan enterrados y sean fijos.

#### **2.11.6.5 Vaciado del hormigón**

Las consideraciones para en vaciado del hormigón son:

- Colocar y sostener los encofrados. Estos soportes se los retira después de que el hormigón ha fraguado.
- Limpiar previamente el interior de los encofrados y eliminar toda clase de desechos.
- El vaciado sólo debe hacerse en horas del día y sólo con la autorización del fiscalizador se puede realizar en horas de la noche, siempre y cuando la iluminación sea la adecuada.
- El hormigón de debe colocar de manera que se obtenga una masa densa y uniforme, evitando las filtraciones.

- El hormigón debe vaciarse lo más exactamente posible en su posición definitiva.
- El hormigón no puede caer libremente más de 1.2 [m] y ser lanzado por más de 1.5 [m].
- Las capas no deberán exceder de 15 a 20 [cm] de espesor para miembros reforzados y de 45 [cm] para trabajos en masa. Cada capa se compactará antes de que la anterior haya fraguado.
- El hormigón fresco deberá ser vibrado para que el vertido sea homogéneo, el número de equipos vibradores debe ser el adecuado y deben estar dentro de la capa fresca. Las vibraciones deben tener una frecuencia mayor a 4500 impulsos por minuto.
- La temperatura del hormigón colocado en sitio no debe exceder los 29 °C, para formaciones monolíticas, no debe exceder los 24 °C.
- El hormigón debe ser depositado empezando en el centro de la luz y terminar en los extremos.
- En vigas, el hormigón será colocado en capas uniformes, horizontales y continuas a lo largo de toda su longitud.
- El fondo de las cimentaciones bajo ningún concepto debe contener agua.

#### **2.11.6.6 Corrección de fisuras superficiales en el hormigón**

Para corregir estas fisuras se debe hacer lo siguiente:

- Eliminar las causas que produjeron estas fisuras.
- Eliminar todo el hormigón que esté dañado.
- Limpiar la fisura con un chorro de aire a presión si es pequeña y si es grande esto se lo hace con métodos especiales.
- Antes de ser corregida la falla, el hormigón debe estar totalmente seco.
- El relleno de la fisura se lo hace con resinas epóxicas mediante inyección.

- Cuando se prevé que el elemento va a estar sometido a deformaciones con cierta continuidad, se rellenan las fisuras con productos plásticos que permiten pequeños movimientos del hormigón sin que se rompa. La aplicación de estos productos puede hacerse en frío o caliente y son una mezcla de caucho y asfalto.
- Se puede rellenar una fisura con mortero (1 parte de cemento Portland y 2.5 partes de arena que pasa por el tamiz de 1.18 [mm]). La ligación del mortero con el hormigón se mejora con el empleo de resinas epóxicas y látex.
- Las fisuras mayores se pueden rellenar con mortero epóxico (resina y arena normalizada en proporciones de 1 a 3).

#### **2.11.6.7 Corrección de huecos superficiales en el hormigón**

Para corregir estos huecos se debe hacer lo siguiente:

- Humedecer la superficie del hueco.
- Rellenar el hueco con mortero de consistencia seca (1 parte de cemento y 2 partes de arena que pasa por el tamiz de 1.18 [mm]). Después se hace el curado del cemento y se recomienda usar cemento blanco.

#### **2.11.6.8 Acero de refuerzo**

El acero de refuerzo para el hormigón armado debe ser:

- Laminado en caliente.
- Torcido en frío
- **Acero ASTM A615 grado 300/400, ASTM A616 grado 400 y ASTM A706 grado 400.** <sup>36</sup>  
Barras corrugadas.

- **Acero ASTM A617 grado 400.** <sup>36</sup>  
Barras corrugadas rectas y no dobladas.
- **Acero ASTM A36.** <sup>36</sup>  
Barras lisas.
- **Acero ASTM A675 grado 550, ASTM A615 y ASTM A617 grado 300.** <sup>36</sup>  
Barras para refuerzo en espiral.
- **Acero ASTM A675.** <sup>36</sup>  
Alambres lisos.
- **Acero ASTM A496.** <sup>36</sup>  
Alambres corrugados.
- **Acero ASTM A185 y ASTM A495.** <sup>36</sup>  
Mallas de alambre.

#### **2.11.7 ALMOHADILLAS ELASTOMÉRICAS O NEOPRENOS**

El material de las almohadillas es:

- **ASTM D412 grado 60/70.** <sup>37</sup>

Los neoprenos de un puente deben ser:

- Fundidos de una sola capa si su espesor no excede de 25 [mm].

---

<sup>36</sup> Ministerio de Obras Públicas; Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes; Plan Maestro de la Red Vial del Ecuador

<sup>37</sup> Ministerio de Obras Públicas; Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes; Plan Maestro de la Red Vial del Ecuador

- Para espesores mayores a 25 [mm], las almohadillas serán fabricadas de capas alternadas de material elastomérico, láminas de metal y un ligante.
- Las dimensiones de las almohadillas no podrán variar en  $\pm 3$  [mm] de las especificadas en los planos.
- Las almohadillas de menos de 25 [mm] que no contengan láminas de metal, deberán ser moldeadas en una sola pieza.
- Las almohadillas que no contengan láminas de metal y sean de espesores mayores a 25 [mm] se fabricarán recortando láminas más grandes, el corte debe hacerse de forma que evite el calentamiento y el desgarre del material.
- Cuando los bordes de las almohadillas sean redondeados, el radio en los bordes no excederá los 3 [mm] y en las esquinas no excederá los 9.5 [mm].
- Las láminas del metal deben ser de acero dúctil laminado de espesor no menor al del calibre 20.
- Las láminas del ligante deben ser de polímero sintético de cadena larga y deben poseer la misma resistencia a lo largo y ancho.
- El material elastomérico deberá contener como mínimo un 60 % de neopreno.

## **2.12 CONTROL DE CALIDAD EN PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

El control de calidad asegura:

- Reparaciones de alta calidad.
- Estándares exactos.
- Máxima disponibilidad.
- Extensión del ciclo de vida del equipo.
- Tasas eficientes de producción del equipo.

Usualmente las estructuras metálicas tienen un funcionamiento excelente cuando se utilizan procedimientos y normas adecuadas. Sin embargo, no es suficiente confiar en el factor humano que interviene en la construcción de estructuras, sino que debe mantenerse una inspección adecuada de todos los elementos estructurales y funcionales, para asegurarse de que estén desarrollando un trabajo satisfactorio.

Existen varios métodos disponibles para la inspección de las estructuras metálicas, los cuales se detallaran en las páginas siguientes.

## **2.13 MÉTODOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN PUENTES COLGANTES DE ESTRUCTURA METÁLICA**

Los programas de mantenimiento preventivo tienen que cumplir con:

- Visitas.
- Inspecciones.
- Pruebas.
- Rutinas.
- Reemplazo o reconstrucción.

### **2.13.1 VISITAS**

- Comprende la lista de lugares o sitios a los que debe dirigirse el personal de mantenimiento para determinar las labores o trabajos que hay que realizar en las estructuras.
- Estas visitas se hacen con pocos días de anticipación a la fecha de ejecución del mantenimiento.
- En las visitas programadas por medio de la inspección y pruebas, se determinan las operaciones o rutinas a realizar que pueden o no necesitar cambio de partes o miembros.

### **2.13.2 INSPECCIONES**

- Comprende el control por medio de algún tipo de instrumento o medida, para establecer nuevamente las cualidades de trabajo de los elementos estructurales.
- Las inspecciones comprenden revisiones de los elementos estructurales, funcionales y de seguridad de las estructuras metálicas.
- El aseo tiene que ser inspeccionado con cierta frecuencia.

### **2.13.3 PRUEBAS**

Todos estos métodos requieren que la supervisión sea efectuada por personal competente que pueda verificar los resultados.

Los métodos de prueba disponibles para inspeccionar las estructuras metálicas son:

- Método visual.
- Método de partículas magnéticas.
- Método de tintas penetrantes.
- Método ultrasónico.
- Método radiográfico.

#### **2.13.3.1 Método visual**

Es el método más simple y requiere una persona competente que observe toda la estructura mientras ésta cumple con su función.

Es el método más rápido y económico.

#### **2.13.3.2 Método de partículas magnéticas**

En este método se colocan limaduras de hierro sobre un elemento de la estructura y se sujetan a una corriente eléctrica, las configuraciones adoptadas

por las limaduras indicarán la presencia de grietas a un observador experimentado.

Se debe inspeccionar adecuadamente cada una de las partes críticas de los elementos estructurales.

Este método es muy útil para examinar las soldaduras.

#### **2.13.3.3 Método de tintas penetrantes**

Este método consiste en aplicar una tinta a la superficie del elemento estructural, esta tinta penetra en las grietas que puedan existir. Se elimina el sobrante y se coloca un material absorbente sobre los elementos. La cantidad de tintura que brote fuera de las grietas indicará su profundidad.

Este método es muy útil para examinar las soldaduras.

#### **2.13.3.4 Método ultrasónico**

Un desarrollo reciente en la fabricación del acero también es aplicable a la inspección de los elementos estructurales.

Los equipos que se requiere tenían un alto costo, pero en la actualidad hay equipos muy compactos y de bajo costo.

En este método se envían ondas de sonido a través del material y los defectos afectan el intervalo de tiempo de la transmisión del sonido, el cual identificará los mencionados defectos.

#### **2.13.3.5 Método radiográfico**

Este método usa un equipo de rayos X o rayos Gamma para reproducir la figura de las estructuras (soldaduras especialmente) sobre una película.

Se aplica mejor esta técnica en las soldaduras a tope, en donde la fotografía mostrará únicamente el material de aportación. No es adaptable a soldaduras de filete, porque el metal base también se proyectará en la fotografía.

El uso de esta técnica en campo está limitada por los espacios libres requeridos para el equipo y la película.

Estos métodos de prueba no destructivos pueden usarse para suplementar la inspección visual o para una revisión aleatoria de los procedimientos de soldadura.

## **2.13.4 RUTINAS**

### **2.13.4.1 Acero expuesto a la intemperie que no requiere pintura**

Los aceros más comunes que están expuestos a la intemperie y no requieren pintura son:

- Acero ASTM A588.<sup>38</sup>
- Acero ASTM A242.<sup>38</sup>

Estas clases de acero mientras conserven la cascarilla de laminación, no tendrán un color uniforme.

Si estos aceros se limpian con un chorro de arena a presión hasta lograr eliminar la cascarilla (el metal queda casi blanco), el metal expuesto forma un revestimiento de óxido firmemente adherido (característico de este tipo de aceros), el cual con el tiempo tendrá un color uniforme.

### **2.13.4.2 Acero expuesto a la intemperie que requiere limpieza para pintura**

Donde los grados de acero con autoprotección ambiental no son apropiados, sólo sistemas de pintura de alta calidad deben especificarse para la protección de los puentes. Las recomendaciones de los sistemas de pintura cambian periódicamente, debido ante todo a la necesidad de considerar los impactos ambientales y a la salud.

---

<sup>38</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 1, pag. 2.14

#### *2.13.4.2.1 Preparación y limpieza de la superficie*

El acero que va a pintarse debe limpiarse por completo de cualquier cascarilla de laminación y óxidos sueltos, de suciedad y otras materias extrañas.

La limpieza de la superficie se la hace mediante los métodos de:

- Chorro de arena a presión.
- Limpieza con granalla.
- Decapado con ácido.
- Limpieza a mano (con cepillo).
- Limpieza con máquina.
- Limpieza con llama.

A menos que el fabricante hubiese especificado lo contrario, la limpieza del acero estructural se hace comúnmente con un cepillo de alambre.

Ya que la preparación de la superficie es el factor más importante de los que afectan el comportamiento de la pintura en las superficies del acero estructural, es común que se especifique limpieza con chorro de arena a presión como medio de eliminar toda la cascarilla de laminación para el acero que va a ser expuesto. La limpieza con chorro de arena a presión, es la manera preferida de preparar la superficie del acero expuesto.

La cascarilla de laminación que se forma sobre el acero estructural después del laminado en caliente, protege el acero de la corrosión pero solo mientras esta cascarilla permanezca intacta y adherida firmemente al acero. Sin embargo, esta cascarilla rara vez se encuentra intacta en razón del deterioro causado por las operaciones de fabricación.

El desprendimiento total o parcial de la cascarilla de laminación, ocasiona un tipo de falla en la pintura que provocará que el acero se empiece a corroer y desgastar.

#### 2.13.4.2.2 Sistemas de pintura

Los sistemas de pintura se clasifican dependiendo de si el elemento aglutinante contiene o no materiales orgánicos y son:

- Orgánicos.
- Inorgánicos.

Los sistemas de pintura contienen tres elementos principales que son:

- Pigmentos.
- Formadores de película o aglutinantes.
- Solventes.

Capa	Ambiente		
	Alta polución y costero	Clima suave	Clima suave y/o repintado de mantenimiento
<b>Imprimante</b>	Zinc inorgánico 3 [mm]	Zinc orgánico 3 [mm]	Aceite/Alkido 2 - 3 [mm]
<b>Capa Intermedia</b>	Epóxico 2 [mm] Imprimante de lavado de vinilo 0.3 – 0.5 [mm]	Epóxico 2 [mm] Imprimante de lavado de vinilo 0.3 – 0.5 [mm]	Aceite/Alkido 2 [mm]
<b>Capa</b>	Epóxico, vinilo o uretano 2 [mm]	Epóxico, vinilo o uretano 2 [mm]	Aceite/Alkido 2 [mm]
<b>Sistema total</b>	5.3 – 7 [mm]	5.3 – 7 [mm]	6 [mm]

**Tabla 2.4** Sistema de recubrimiento y pintura para puentes. <sup>39</sup>

<sup>39</sup> BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Ed. Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º edición, Tomo 2, pag. 10.73

Las pruebas han indicado que las pinturas de vinilo se comportan mucho mejor que las fenólicas en todas las superficies ensayadas.

Cuando se requiere pintura, se aplica en taller un recubrimiento que sirve como base para subsiguientes capas de recubrimiento aplicadas en la obra, esta primera capa está destinada a proteger el acero sólo durante un periodo corto de exposición.

#### **2.13.4.3 Drenaje y limpieza en general**

Para realizar estas labores se recomienda:

- Controlar el drenaje de la vía dirigiendo el drenaje de la calzada fuera de la estructura del puente.
- Limpiar los canales.
- Resellar las juntas del tablero.
- Dar mantenimiento a los sistemas de drenaje del tablero.
- Limpiar periódicamente el tablero y sus alrededores.
- Cuando sea necesario, repintar todo el acero.
- Remover regularmente toda la suciedad, desperdicios, vegetación y otras materias o depósitos que atrapen humedad y puedan impedir el secado natural de las superficies del acero.

#### **2.13.5 RECONSTRUCCIÓN O REEMPLAZO**

- Cuando un conjunto de elementos no trabaja eficientemente, tiene que procederse al arreglo parcial o total.
- Aunque no se realice el 100 % de intervenciones en las estructuras metálicas, se puede hablar de reconstrucción si se realiza un porcentaje alto de intervenciones.
- Las reconstrucciones cuando logran ser satisfactorias duran un tiempo relativamente largo, es decir, duran menos que el tiempo de vida útil de la estructura.

- Cuando el tiempo de vida de la estructura es muy corto, hay que analizar en términos técnicos y económicos de la reposición de la estructura.

## 2.14 COSTOS DEL MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

### 2.14.1 COSTO - BENEFICIO DEL MANTENIMIENTO

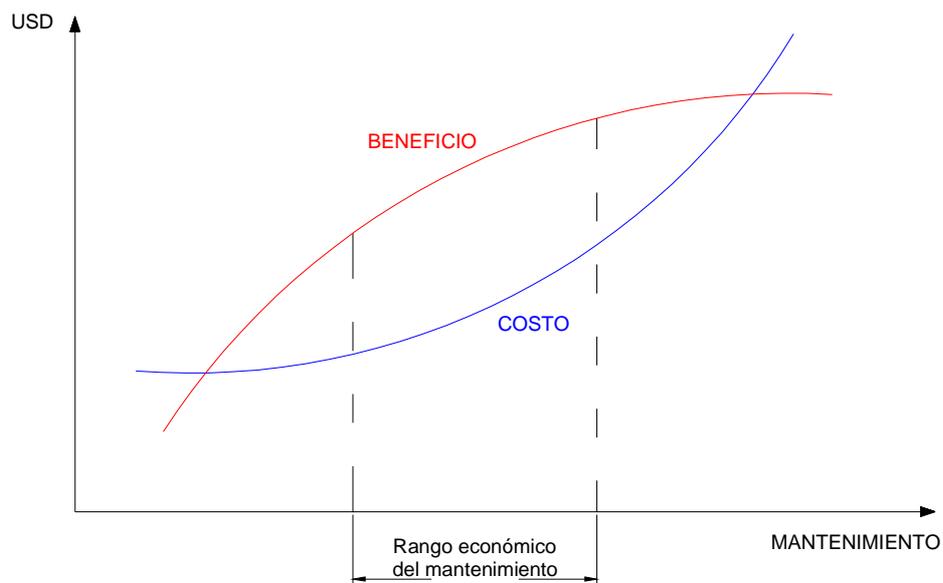


Figura 2.5 Costo - Beneficio del mantenimiento. <sup>40</sup>

### 2.14.2 COSTOS DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

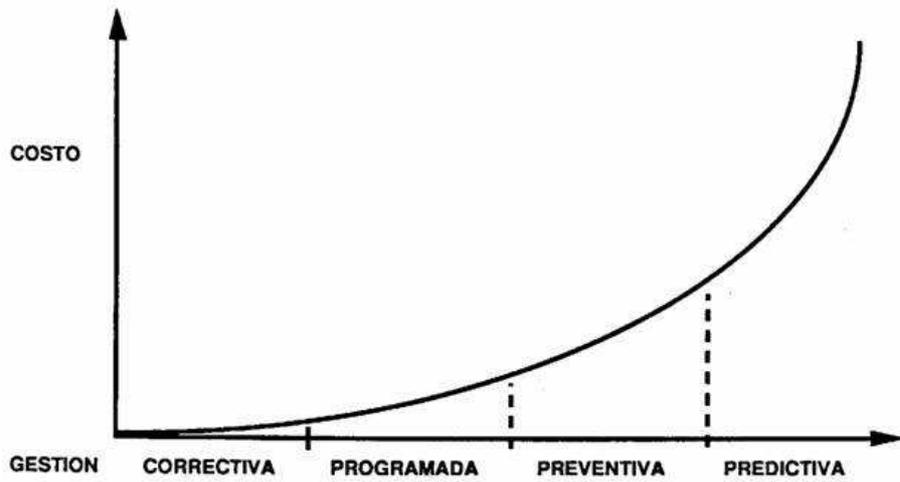


Figura 2.6 Costos de la gestión del mantenimiento.<sup>40</sup>

### 2.14.3 COSTOS NORMALES DEL MANTENIMIENTO

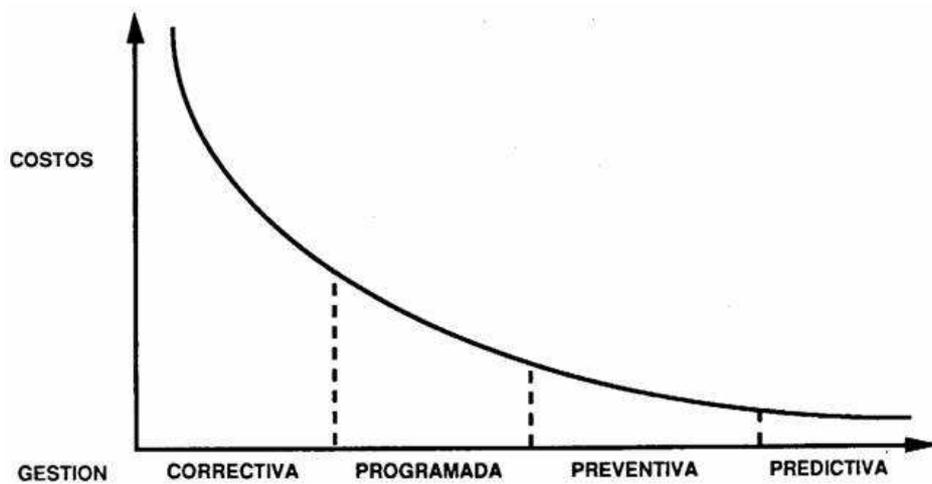


Figura 2.7 Costos normales del mantenimiento.<sup>40</sup>

### 2.14.4 COSTOS TOTALES DEL MANTENIMIENTO

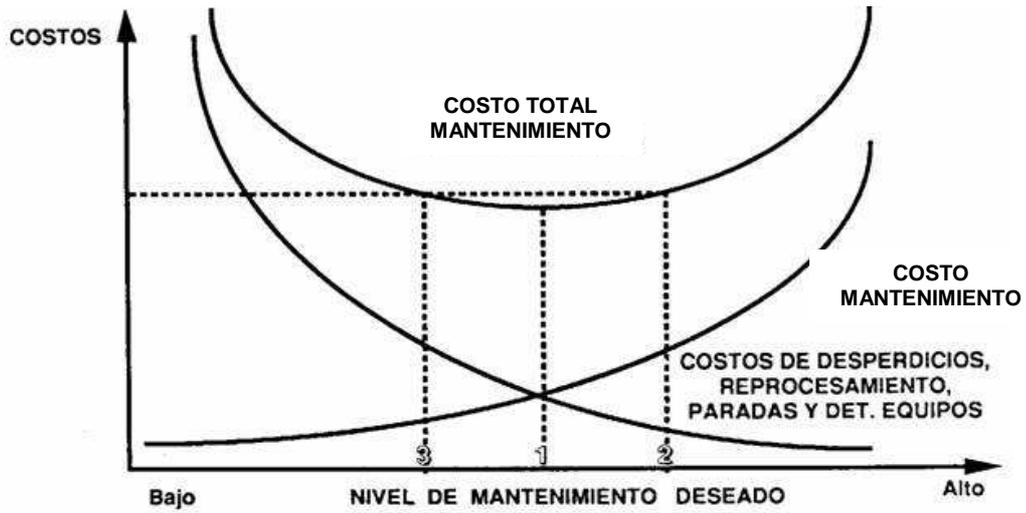


Figura 2.8 Costos totales del mantenimiento.<sup>40</sup>

### 2.14.5 NIVELES DE COSTOS

GESTION \ COSTOS	Materiales y Repuestos	Mano O. Directa	Mano O. Indirecta
	Correctiva	Alto: elevados inventarios y materiales imprevistos	Alto en mano de obra genérica y baja la especialización
Programada	Moderado ya que con antelación se sabe el nivel de uso	Media alta en la genérica y media baja especializada	Moderados ya que disminuyen imprevistos
Preventiva	Moderado bajo ya que hay más control	Baja la genérica Moderada especializada	Relativamente muy baja
Predictiva	Se reducen a su mínimo nivel	Mínima genérica Alta especializada	Mínima

Tabla 2.5 Niveles de costos.<sup>40</sup>

<sup>40</sup> Seminario de Administración del Mantenimiento; Escuela Politécnica Nacional; enero; 2006

## **2.15 UBICACIÓN DE ELEMENTOS Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.15.1 UBICACIÓN DE ELEMENTOS EN LOS PUENTES COLGANTES**

Se ha propuesto un sistema de ubicación de los elementos que consiste en:

1. Pararse al inicio del puente e indicar que ciudad está delante de él.
2. Numerar los elementos del lado izquierdo, de principio a fin y luego los elementos de la derecha de la misma forma.
3. El responsable, se regirá a los datos de la estructura del puente para dar una mayor precisión, como la ubicación de los elementos correspondiente a algún tramo en particular.

### **2.15.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL MANTENIMIENTO**

El cronograma de actividades consiste en dos partes, las cuales, se realizan de manera independiente y a diferentes tiempos. La ventaja de este sistema radica en que puede ser implantado en empresas públicas o privadas.

#### **2.15.2.1 Primera etapa**

La primera etapa del cronograma consta de:

- Inspección visual de cada elemento del puente, verificando así su estado y calificándolos según las hojas de inspección diseñadas en los Procedimientos de Mantenimiento de los Elementos Estructurales, Funcionales y de Seguridad de Puentes Colgantes con Estructura de Acero.

- Realizar ensayos no destructivos en los puntos claves de la estructura de acero y en los demás elementos que a criterio del ingeniero presenten dudas.
- Llenar el Resumen de Tareas a Ejecutar en el Proceso de Mantenimiento con los resultados obtenidos.

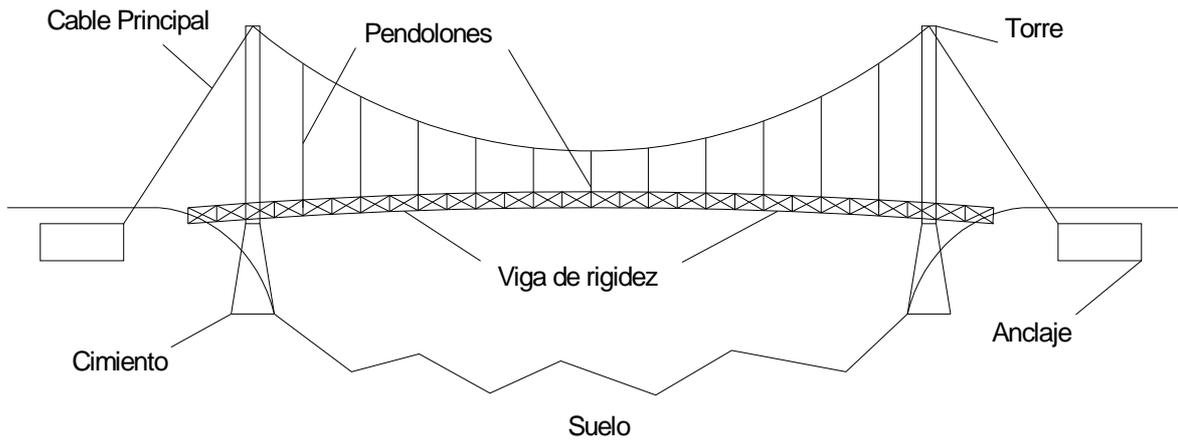
#### **2.15.2.2 Segunda etapa**

Esta etapa abarca la ejecución propiamente dicha del mantenimiento; partiendo del Resumen de Tareas a Ejecutar en el Proceso de Mantenimiento se realizará las labores especificadas en las Rutinas de los Procesos de Mantenimiento.

El tiempo entre etapas dependerá de las siguientes condiciones:

- Aprobación del presupuesto calculado de los resultados del Resumen de Tareas a Ejecutar en el Proceso de Mantenimiento.
- Entrega de los elementos de reemplazo, sean estos importados o fabricados en el Ecuador.
- Organización de los recursos humanos y materiales destinados a la ejecución del mantenimiento, como son: mano de obra, equipos, materiales, herramientas, etc.

## 2.16 PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES, FUNCIONALES Y DE SEGURIDAD DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO



**Figura 2.9** Partes constitutivas de un puente colgante con estructura de acero.

## **2.16.1 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE CABLES Y SILLETAS DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.16.1.1 Definición de cable de acero**

El cable es un elemento sometido a tracción, es flexible y está estructuralmente formado por varios hilos o alambres de acero entrelazados. El cable transfiere las cargas que soportan los pendolones, hacia las silletas.

### **2.16.1.2 Definición de silleta**

Son grandes elementos fundidos de acero en una pieza o soldados en partes para reducir peso. En estos elementos se anclan o apoyan los cables del puente y transmiten las cargas que soporta el cable, hacia las torres y anclajes.

### **2.16.1.3 Objetivos del procedimiento de mantenimiento de cables de acero y silletas**

- Disponer de un documento técnico y práctico para realizar un mantenimiento planificado e idóneo de cables de acero y silletas.
- Dar mantenimiento a estos elementos estructurales del puente colgante para permitirles que desarrollen su vida útil para la que fueron diseñados.
- Repotenciar la estructura del puente colgante para que incremente su vida útil.

### **2.16.1.4 Alcance del mantenimiento de cables de acero y silletas**

- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los cables de acero y a las silletas.
- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos conjugados con los cables de acero y con las silletas.

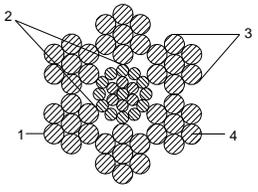
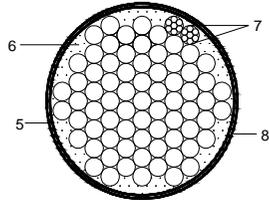
## MANTENIMIENTO DE CABLES DE ACERO Y SILLETAS DE Puentes COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### TIPOS DE CABLES DE ACERO (SECCIÓN TRANSVERSAL)

DESCUBIERTO				CUBIERTO			
	Nº	NOMBRE	FUNCIÓN		Nº	NOMBRE	FUNCIÓN
	1	Galvanizado	Protección anticorrosiva		5	Membrana sintética	Protección anticorrosiva
	2	Núcleo de acero	Resistencia estructural		6	Relleno sintético	Protección anticorrosiva
	3	Torón estructural	Resistencia estructural		7	Torón estructural, alambres o barras	Resistencia estructural
	4	Alambre o barra	Resistencia estructural		8	Cubierta sintética	Protección anticorrosiva

### PUNTOS DE INSPECCIÓN VISUAL DEL CABLE DE ACERO Y SILLETA

**SIMBOLOGÍA:** BUENO = BU, REGULAR = RE, MALO = MA, AMBIENTAL = AM, SOBRECARGA = SO, ENVEJECIMIENTO = EN

Nº	NOMBRE	CONDICIÓN ESTANDAR	ESTADO ACTUAL			FUENTE DEL DAÑO			RESPONSABLE	OBSERVACIONES
			BU	RE	MA	AM	SO	EN		
1	Galvanizado	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
2	Alambres o barras	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
3	Torones estructurales	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
4	Núcleo de acero	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
5	Cubierta sintética	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
6	Membrana sintética	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
7	Relleno sintético	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
8	Torones estructurales, alambres o barras	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
9	Sistemas de anclaje	Libres de corrosión, desgaste, grietas y fisuras							Ingeniero	
10	Silletas	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
11	Conexiones con las péndolas	Bien atornilladas, libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	

## **2.16.2 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE VIGAS DE RIGIDEZ O ARMADURAS DE RIGIDEZ DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.16.2.1 Definición de viga de rigidez y armadura de rigidez**

La viga de rigidez, como su nombre lo indica, es un elemento rígido sometido a compresión, la cual puede ser de alma llena (viga con forma de "I") o de celosía (armadura). La viga se localiza entre los bordes laterales del puente. Este elemento soporta todo el tráfico del puente y transfiere la carga a los pendolones.

### **2.16.2.2 Objetivos del procedimiento de mantenimiento de la viga de rigidez o armadura de rigidez**

- Disponer de un documento técnico y práctico para realizar un mantenimiento planificado e idóneo del elemento de rigidez.
- Dar mantenimiento a este elemento estructural del puente colgante para permitirle que desarrolle su vida útil para la que fue diseñado.
- Repotenciar la estructura del puente colgante para que incremente su vida útil.

### **2.16.2.3 Alcance del mantenimiento de la viga de rigidez o armadura de rigidez**

- Dar un mantenimiento planificado e idóneo al elemento de rigidez.
- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos conjugados con el elemento de rigidez.

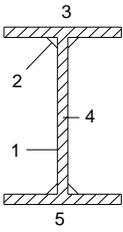
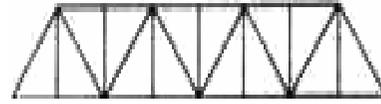
## MANTENIMIENTO DE VIGAS DE RIGIDEZ DE Puentes COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### TIPOS DE VIGAS DE RIGIDEZ

VIGA DE RIGIDEZ			ARMADURA DE RIGIDEZ				
	Nº	NOMBRE	FUNCIÓN		Nº	NOMBRE	FUNCIÓN
	1	Recubrimiento	Protección anticorrosiva		6	Recubrimiento	Protección anticorrosiva
	2	Soldaduras	Uniones estructurales		7	Miembros de alma	Resistencia estructural
	3	Patín superior	Resistencia estructural		8	Nudos	Uniones estructurales
	4	Alma	Resistencia estructural		9	Elementos longitudinales	Resistencia estructural
	5	Patín inferior	Resistencia estructural		10	Arriostramientos	Resistencia estructural
				11	Elementos transversales	Resistencia estructural	

### PUNTOS DE INSPECCIÓN VISUAL DE LA VIGA DE RIGIDEZ

**SIMBOLOGÍA:** BUENO = BU, REGULAR = RE, MALO = MA, AMBIENTAL = AM, SOBRECARGA = SO, ENVEJECIMIENTO = EN

Nº	NOMBRE	CONDICIÓN ESTANDAR	ESTADO ACTUAL			FUENTE DEL DAÑO			RESPONSABLE	OBSERVACIONES
			BU	RE	MA	AM	SO	EN		
1	Recubrimiento (viga o armadura)	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
2	Soldaduras	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
3	Perfil estructural	Espesor normal, libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
4	Miembros de alma	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
5	Nudos	Bien ajustados, libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
6	Elementos longitudinales	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
7	Arriostramientos	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
8	Elementos transversales	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
9	Apoyos en las torres	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	

## **2.16.3 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE PÉNDOLAS DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.16.3.1 Definición de péndolas**

Los pendolones son elementos sometidos a tracción y unen la calzada al cable de acero. Los pendolones transfieren las cargas que soporta la calzada, hacia el cable.

### **2.16.3.2 Objetivos del procedimiento de mantenimiento de los pendolones**

- Disponer de un documento técnico y práctico para realizar un mantenimiento planificado e idóneo de los pendolones.
- Dar mantenimiento a este elemento estructural del puente colgante para permitirle que desarrolle su vida útil para la que fue diseñado.
- Repotenciar la estructura del puente colgante para que incremente su vida útil.

### **2.16.3.3 Alcance del mantenimiento de los pendolones**

- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los pendolones.
- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos conjugados con los pendolones.

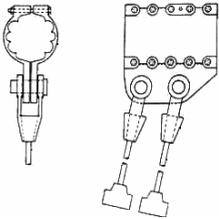
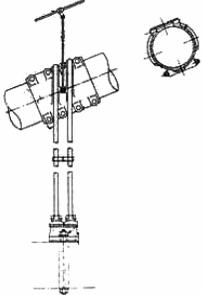
## MANTENIMIENTO DE PÉNDOLAS DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### TIPOS DE SISTEMAS DE PÉNDOLAS

ARREGLO Nº 1				ARREGLO Nº 2			
	Nº	NOMBRE	FUNCIÓN		Nº	NOMBRE	FUNCIÓN
	1	Recubrimiento	Protección anticorrosiva		8	Recubrimiento	Protección anticorrosiva
	2	Pernos de alta resistencia	Uniones estructurales		9	Cable y soporte pasamanos	Inspección
	3	Banda de cable	Resistencia estructural		10	Pernos de alta resistencia	Uniones estructurales
	4	Pasador	Uniones estructurales		11	Abrazadera del cable de acero	Resistencia estructural
	5	Casquillo estandar	Uniones estructurales		12	Torón estructural	Resistencia estructural
	6	Torón estructural	Resistencia estructural		13	Casquillo	Uniones estructurales
	7	Anclaje al elemento de rigidez	Uniones estructurales		14	Anclaje al elemento de rigidez	Uniones estructurales

### PUNTOS DE INSPECCIÓN VISUAL DE LAS PÉNDOLAS

**SIMBOLOGÍA:** BUENO = BU, REGULAR = RE, MALO = MA, AMBIENTAL = AM, SOBRECARGA = SO, ENVEJECIMIENTO = EN

Nº	NOMBRE	CONDICIÓN ESTANDAR	ESTADO ACTUAL			FUENTE DEL DAÑO			RESPONSABLE	OBSERVACIÓN
			BU	RE	MA	AM	SO	EN		
1	Recubrimiento (arreglo 1 o 2)	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
2	Pernos alta resistencia (arreglo 1 o 2)	Bien atornillados, libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
3	Bandas del cable	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
4	Pasadores	Bien ajustados, libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
5	Casquillos (arreglo 1 o 2)	Sin holguras, libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
6	Torones estructurales (arreglo 1 o 2)	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
7	Conexión viga de rigidez (arreglo 1 o 2)	Bien ajustados, libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
8	Cables y soportes pasamanos	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
9	Abrazaderas del cable de acero	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	

## **2.16.4 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE TORRES Y CIMIENTOS DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.16.4.1 Definición de torre**

Las torres son elementos rígidos, sometidos a compresión y sirven de apoyo para los cables, en la unión del cable con la torre (silletas) es donde se transfiere la carga. Las torres en determinados casos sirven de apoyo intermedio de la viga de rigidez y transmiten la carga a los cimientos.

### **2.16.4.2 Definición de cimientos**

Son las bases que se hallan empotradas en el suelo y es donde las torres se apoyan. Es el sitio final donde se transmiten las cargas que actúan sobre el puente.

### **2.16.4.3 Objetivos del procedimiento de mantenimiento de torres y cimientos**

- Disponer de un documento técnico y práctico para realizar un mantenimiento planificado e idóneo de las torres y cimientos.
- Dar mantenimiento a este elemento estructural del puente colgante para permitirle que desarrolle su vida útil para la que fue diseñado.
- Repotenciar la estructura del puente colgante para que incremente su vida útil.

### **2.16.4.4 Alcance del mantenimiento de torres y cimientos**

- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a las torres y cimientos.
- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos conjugados con las torres y cimientos.

## MANTENIMIENTO DE TORRES Y CIMIENTOS DE Puentes COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### TIPOS DE TORRES

DE ACERO				DE HORMIGÓN ARMADO			
	Nº	NOMBRE	FUNCIÓN		Nº	NOMBRE	FUNCIÓN
	1	Recubrimiento	Protección anticorrosiva		7	Columnas estructurales	Protección anticorrosiva
	2	Columnas estructurales	Resistencia estructural		8	Vigas estructurales	Resistencia estructural
	3	Conexiones empernadas	Uniones estructurales		9	Cimientos	Resistencia estructural
	4	Conexiones remachadas	Uniones estructurales				
	5	Arriostramientos	Resistencia estructural				
	6	Cimientos	Resistencia estructural				

### PUNTOS DE INSPECCIÓN VISUAL DE LAS TORRES

**SIMBOLOGÍA:** BUENO = BU, REGULAR = RE, MALO = MA, AMBIENTAL = AM, SOBRECARGA = SO, ENVEJECIMIENTO = EN

Nº	NOMBRE	CONDICIÓN ESTANDAR	ESTADO ACTUAL			FUENTE DEL DAÑO			RESPONSABLE	OBSERVACIÓN
			BU	RE	MA	AM	SO	EN		
1	Recubrimiento	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
2	Columnas estructurales (acero)	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
3	Conexiones empernadas	Bien atornilladas, libres de grietas y fisuras							Ingeniero	
4	Conexiones remachadas	Bien ajustadas, libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
5	Arriostramientos	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
6	Cimientos (para acero u hormigón)	Libres de corrosión, desgaste, grietas y fisuras							Ingeniero	
7	Columnas estructurales (hormigón)	Libres de grietas y fisuras							Ingeniero	
8	Vigas estructurales	Libres de grietas y fisuras							Ingeniero	
9	Cimientos con pernos de anclaje (acero)	Bien empotrados, ajustados y libres de corrosión							Ingeniero	

## **2.16.5 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DEL ANCLAJE Y APOYO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.16.5.1 Definición de sistema de anclaje**

Sistema que une los extremos del cable a la roca natural o artificial. Este anclaje puede hacerse en la viga de rigidez en los puentes autoanclados. Sobre los anclajes se transfiere parte de la carga que soporta el cable del puente.

### **2.16.5.2 Definición de apoyos**

Los puentes son diseñados de modo que puedan tener cierto grado de movimiento, para ello se utilizan juntas de expansión. Para controlar los movimientos, se requiere por lo menos un apoyo fijo en cada luz simple.

### **2.16.5.3 Objetivos del procedimiento de mantenimiento del sistema de anclaje y apoyos**

- Disponer de un documento técnico y práctico para realizar un mantenimiento planificado e idóneo del sistema de anclaje y apoyos.
- Dar mantenimiento a este elemento estructural del puente colgante para permitirle que desarrolle su vida útil para la que fue diseñado.
- Repotenciar la estructura del puente colgante para que incremente su vida útil.

### **2.16.5.4 Alcance del mantenimiento del sistema de anclaje y apoyos**

- Dar un mantenimiento planificado e idóneo al sistema de anclaje y apoyos.
- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos conjugados con el sistema de anclaje.

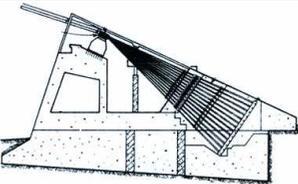
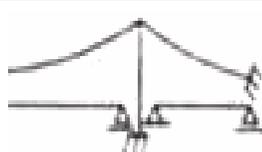
**MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ANCLAJE Y APOYO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

**SISTEMA DE ANCLAJE Y APOYO**

SISTEMA DE ANCLAJE				APOYOS			
	Nº	NOMBRE	FUNCIÓN		Nº	NOMBRE	FUNCIÓN
	1	Silleta del cable	Unión estructural		6	Cimentación	Resistencia estructural
	2	Barras con ojales	Unión estructural		7	Neoprenos	Amortiguación estructural
	3	Viga de anclaje	Unión estructural		8	Conexiones articuladas	Uniones estructurales
	4	Hormigón armado	Resistencia estructural		9	Conexiones de rodillo	Uniones estructurales
	5	Barras de anclaje	Unión estructural		11	Cuerpo de hormigón armado	Resistencia estructural

**PUNTOS DE INSPECCIÓN VISUAL DEL SISTEMA DE ANCLAJE Y APOYOS**

**SIMBOLOGÍA:** BUENO = BU, REGULAR = RE, MALO = MA, AMBIENTAL = AM, SOBRECARGA = SO, ENVEJECIMIENTO = EN

Nº	NOMBRE	CONDICIÓN ESTANDAR	ESTADO ACTUAL			FUENTE DEL DAÑO			RESPONSABLE	OBSERVACIONES
			BU	RE	MA	AM	SO	EN		
1	Silleta del cable	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
2	Barras con ojales	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
3	Viga de anclaje	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
4	Hormigón armado	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
5	Barras de anclaje	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
6	Cimentación	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
7	Neoprenos	Libre de desgaste y grietas							Ingeniero	
8	Conexiones articuladas	Neoprenos libres de desgaste y grietas							Ingeniero	
9	Conexiones de rodillos	Neopreno, pistón y cápsula libres de desgaste y grietas							Ingeniero	
10	Cuerpo de hormigón armado	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	

## **2.16.6 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE NEOPRENOS DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.16.6.1 Definición de neopreno**

Son apoyos hechos parcial o totalmente de material elastomérico. Se usan para transmitir las cargas de un miembro estructural a un apoyo, permitiendo movimientos entre el puente y el apoyo.

### **2.16.6.2 Objetivos del procedimiento de mantenimiento de los neoprenos**

- Disponer de un documento técnico y práctico para realizar un mantenimiento planificado e idóneo de los neoprenos.
- Dar mantenimiento a este elemento estructural del puente colgante para permitirle que desarrolle su vida útil para la que fue diseñado.
- Repotenciar la estructura del puente colgante para que incremente su vida útil.

### **2.16.6.3 Alcance del mantenimiento de los neoprenos**

- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los neoprenos.
- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos conjugados con los neoprenos.

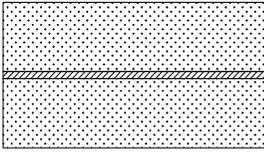
## MANTENIMIENTO DE NEOPRENOS DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### ESPESORES DE NEOPRENOS

≤ 25 [mm]				> 25 [mm]			
	Nº	NOMBRE	FUNCIÓN		Nº	NOMBRE	FUNCIÓN
	1	Material elastomérico	Amortiguación estructural		4	Material elastomérico	Amortiguación estructural
	2	Bordes redondeados	Resistencia funcional		5	Láminas de acero dúctil	Resistencia estructural
	3	Esquinas redondeadas	Resistencia funcional		6	Ligante sintético	Unión estructural
					7	Bordes redondeados	Resistencia funcional
				8	Esquinas redondeadas	Resistencia funcional	

### PUNTOS DE INSPECCIÓN VISUAL DE NEOPRENOS

**SIMBOLOGÍA:** BUENO = BU, REGULAR = RE, MALO = MA, AMBIENTAL = AM, SOBRECARGA = SO, ENVEJECIMIENTO = EN

Nº	NOMBRE	CONDICIÓN ESTANDAR	ESTADO ACTUAL			FUENTE DEL DAÑO			RESPONSABLE	OBSERVACIONES
			BU	RE	MA	AM	SO	EN		
1	Material elastomérico (≤ 25 [mm])	Libre de desgaste y grietas							Ingeniero	
2	Bordes redondeados (≤ 25 [mm])	Libre de desgaste y grietas							Ingeniero	
3	Material elastomérico (> 25 [mm])	Libre de desgaste y grietas							Ingeniero	
4	Láminas de acero dúctil	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
5	Ligante sintético	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
6	Bordes redondeados (> 25 [mm])	Libre de desgaste y grietas							Ingeniero	
7	Esquinas redondeadas (≤ 25 [mm])	Libre de desgaste y grietas							Ingeniero	
8	Esquinas redondeadas (> 25 [mm])	Libre de desgaste y grietas							Ingeniero	

## **2.16.7 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DEL TABLERO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.16.7.1 Definición de tablero**

El tablero es un elemento estructural que se localiza sobre la viga de rigidez, es el responsable de soportar directamente las cargas aplicadas sobre el y transferirlas hacia la viga de rigidez.

### **2.16.7.2 Objetivos del procedimiento de mantenimiento del tablero**

- Disponer de un documento técnico y práctico para realizar un mantenimiento planificado e idóneo del tablero.
- Dar mantenimiento a este elemento funcional del puente colgante para permitirle que desarrolle su vida útil para la que fue diseñado.
- Repotenciar la estructura del puente colgante para que incremente su vida útil.

### **2.16.7.3 Alcance del mantenimiento del tablero**

- Dar un mantenimiento planificado e idóneo al tablero.
- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos conjugados con el tablero.

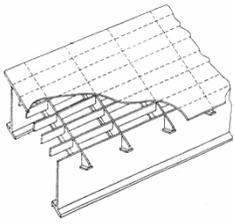
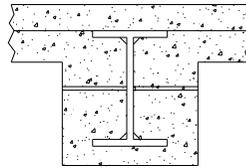
## MANTENIMIENTO DE TABLEROS DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### TIPOS DE TABLEROS

DE ACERO				DE HORMIGÓN ARMADO Y MIXTO (ACERO Y HORMIGÓN)			
	Nº	NOMBRE	FUNCIÓN		Nº	NOMBRE	FUNCIÓN
	1	Recubrimiento	Protección anticorrosiva		8	Asfalto u hormigón aligerado	Superficie de rodadura
	2	Vigas principales	Resistencia estructural		9	Vigas de piso	Resistencia estructural
	3	Placa de tablero	Resistencia funcional		10	Relleno de concreto	Resistencia estructural
	4	Costillas	Resistencia estructural		11	Acero de refuerzo	Resistencia estructural
	5	Vigas de piso	Resistencia estructural		12	Costillas	Resistencia estructural
	6	Conexiones emperradas	Uniones estructurales				
	7	Conexiones remachadas	Uniones estructurales				

### PUNTOS DE INSPECCIÓN VISUAL DEL TABLERO

**SIMBOLOGÍA:** BUENO = BU, REGULAR = RE, MALO = MA, AMBIENTAL = AM, SOBRECARGA = SO, ENVEJECIMIENTO = EN

Nº	NOMBRE	CONDICIÓN ESTANDAR	ESTADO ACTUAL			FUENTE DEL DAÑO			RESPONSABLE	OBSERVACIONES
			BU	RE	MA	AM	SO	EN		
1	Recubrimiento	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
2	Vigas principales	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
3	Placa de tablero	Libre de corrosión, fisuras y deformación							Ingeniero	
4	Costillas (tablero de acero)	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
5	Vigas de piso (tablero de acero)	Libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
6	Conexiones emperradas y remachadas	Bien ajustadas, libres de corrosión y desgaste							Ingeniero	
7	Asfalto u hormigón aligerado	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
8	Relleno de concreto	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
9	Acero de refuerzo	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	

## **2.16.8 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

### **2.16.8.1 Definición de elementos de seguridad**

Son todos aquellos elementos que aseguran el correcto y adecuado servicio de la estructura y procuran evitar los accidentes mediante el uso de: barandas, bordillos, aceras, señalización, barreras de seguridad, elementos de protección, estabilización de taludes del lecho, estabilización de taludes del cauce y postes de iluminación.

### **2.16.8.2 Objetivos del procedimiento de mantenimiento de los elementos de seguridad**

- Disponer de un documento técnico y práctico para realizar un mantenimiento planificado e idóneo de los elementos de seguridad.
- Dar mantenimiento a este elemento estructural del puente colgante para permitirle que desarrolle su vida útil para la que fue diseñado.
- Repotenciar la estructura del puente colgante para que incremente su vida útil.

### **2.16.8.3 Alcance del mantenimiento de los elementos de seguridad**

- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos de seguridad.
- Dar un mantenimiento planificado e idóneo a los elementos conjugados con los elementos de seguridad.

## MANTENIMIENTO DE SEGURIDADES DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### TIPOS DE SEGURIDADES

Nº	NOMBRE	FUNCIÓN	Nº	NOMBRE	FUNCIÓN
1	Barandas	Protección peatonal	6	Elementos de protección	Protección peatonal
2	Bordillos	Protección peatonal	7	Estabilización de taludes del lecho	Protección del puente
3	Aceras	Protección peatonal	8	Estabilización de taludes del cauce	Protección del puente
4	Señales de tránsito	Guía el tráfico vehicular y peatonal	9	Barreras de seguridad	Protección vehicular
5	Postes de Iluminación	Iluminación			

### PUNTOS DE INSPECCIÓN VISUAL DE SEGURIDADES

**SIMBOLOGÍA:** BUENO = BU, REGULAR = RE, MALO = MA, AMBIENTAL = AM, SOBRECARGA = SO, ENVEJECIMIENTO = EN

Nº	NOMBRE	CONDICIÓN ESTANDAR	ESTADO ACTUAL			FUENTE DEL DAÑO			RESPONSABLE	OBSERVACIONES
			BU	RE	MA	AM	SO	EN		
1	Barandas	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
2	Bordillos	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
3	Aceras	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
4	Señales de tránsito	Legibles y sin deterioro							Ingeniero	
5	Elementos de protección	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
6	Estabilización de taludes del lecho	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
7	Estabilización de taludes del cauce	Libre de grietas y fisuras							Ingeniero	
8	Barreras de seguridad	Libre de corrosión y desgaste							Ingeniero	
9	Postes de Iluminación	Libre de suciedad y corrosión							Ingeniero	

## MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**SIMBOLOGÍA:** VISUAL = VI, TINTAS PENETRANTES = TP, ULTRASÓNICO = UL, RADIOGRÁFICO = RA, EQUIPO ESPECÍFICO = EE, HERRAMIENTAS ESPECIFICAS = HE, MATERIALES ESPECÍFICOS = ME, EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL = EPP

#### PRUEBAS: MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LA ESTRUCTURA

ACTIVIDADES	MÉTODO				EQUIPO	HERRAMIENTAS	MATERIALES	SEGURIDAD	FRECUENCIA	RESPONSABLE	OBSERVAC.
	VI	TP	UL	RA							
Evaluar cubierta cable de acero								EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar cable de acero					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar viga de rigidez					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar pendolones					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar torre de acero					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar torre de hormigón								EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar sistema de anclaje								EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar cimientos								EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar silletas					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar tablero de acero					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar tablero mixto					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar tablero de hormigón								EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar neoprenos								EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar conexiones con pernos					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar conexiones remachadas					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar conexiones soldadas					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar conexiones combinadas					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar apoyos								EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	
Evaluar seguridades								EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Ingeniero	

**MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

MÉTODO	EQUIPO ESPECÍFICO (EE)	HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS (HE)	MATERIALES ESPECÍFICOS (ME)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)	PROCESO	NORMA
<b>TINTAS PENETRANTES</b>		Cepillo de alambre. Equipo ultrasónico.	Líquido limpiador. Líquido penetrante. Líquido revelador. Líquido removedor Detergentes. Solventes. Vapor desengrasante. Material absorbente limpio	Casco. Gafas transparentes y opacas. Mascarilla para polvo. Overol. Botas de protección industrial. Guantes de cuero y lana.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dejar superficie libre de grasa y óxido.</li> <li>2. Aplicar líquido limpiador y esperar 1 minuto</li> <li>3. Aplicar líquido penetrante y esperar 5 minutos.</li> <li>4. Aplicar líquido revelador y esperar 1 minuto.</li> <li>5. Emitir informe.</li> <li>6. Aplicar líquido removedor y limpiar.</li> </ol>	ASTM E165
<b>ULTRASÓNICO</b>	Equipo compacto de ultrasonido.	Cepillo de alambre. Equipo ultrasónico.	Grasa común industrial. Detergentes. Solventes. Vapor desengrasante. Material absorbente limpio.	Casco. Gafas transparentes y opacas. Mascarilla para polvo. Overol. Botas de protección industrial. Guantes de cuero y lana.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dejar superficie libre de grasa y óxido.</li> <li>2. Aplicar grasa industrial en la punta del equipo ultrasónico.</li> <li>3. Emitir informe.</li> </ol>	AWS D 1.1 AWS D 1.5

**MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

MÉTODO	EQUIPO ESPECÍFICO (EE)	HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS (HE)	MATERIALES ESPECÍFICOS (ME)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)	PROCESO	NORMA
<b>RADIOGRÁFICO</b>	Equipo compacto emisor de rayos X. Películas para la impresión. Plantillas de plomo.	Cepillo de alambre. Equipo ultrasónico.	Detergentes. Solventes. Vapor desengrasante. Material absorbente limpio.	Casco. Gafas transparentes y opacas. Mascarilla para polvo. Overol. Botas de protección industrial. Guantes de cuero y lana.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dejar la superficie libre de grasa y óxido.</li> <li>2. Colocar película detrás del elemento a examinar.</li> <li>3. Activar equipo de rayos X.</li> <li>4. Revelar la película.</li> <li>5. Emitir informe.</li> </ol>	AWS D 1.1 AWS D 1.5 API 1104 ASTM E94  <b>Nota:</b> Tiempo, distancia de exposición y tiempo de revelado se calculan según lo especificado en la Norma.

- Nota:**
1. Realizar los Ensayos No Destructivos según lo especificado en la Norma AWS D 1.1 que se encuentra en el Anexo 2.
  2. Realizar los informes de los resultados de Ensayos No Destructivos de ultrasonido y radiografía según lo especificado en el Anexo 3.

**MANTENIMIENTO DE VIGAS DE RIGIDEZ DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**SIMBOLOGÍA:** LIMPIEZA = LI, PINTURA = PI, REEMPLAZO O RECONSTRUCCIÓN = RE

**RESUMEN DE TAREAS A EJECUTAR EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO**

ELEMENTO	UBICACIÓN	TAREAS			CANTIDAD	TAMAÑO	ULTIMA REVISIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
		LI	PI	RE						
Cubierta del cable acero									Ingeniero	
Cable de acero									Ingeniero	
Viga de rigidez									Ingeniero	
Pendolones									Ingeniero	
Torre de acero									Ingeniero	
Torre de hormigón									Ingeniero	
Sistema de anclaje									Ingeniero	
Cimientos									Ingeniero	
Silletas									Ingeniero	

**MANTENIMIENTO DE VIGAS DE RIGIDEZ DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**SIMBOLOGÍA:** LIMPIEZA = LI, PINTURA = PI, REEMPLAZO O RECONSTRUCCIÓN = RE

**RESUMEN DE TAREAS A EJECUTAR EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO**

ELEMENTO	UBICACIÓN	TAREAS			CANTIDAD	TAMAÑO	ULTIMA REVISION	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
		LI	PI	RE						
Tablero de acero									Ingeniero	
Tablero mixto									Ingeniero	
Tablero de hormigón									Ingeniero	
Neoprenos									Ingeniero	
Conexiones con pernos									Ingeniero	
Conexiones remachadas									Ingeniero	
Conexiones soldadas									Ingeniero	
Conexiones combinadas									Ingeniero	
Apoyos									Ingeniero	
Seguridades									Ingeniero	

## MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Segunda

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**SIMBOLOGÍA:** EQUIPO ESPECÍFICO = EE, HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS = HE, MATERIALES ESPECÍFICOS = ME, EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL = EPP

#### RUTINA Nº 1: LIMPIEZA GENERAL DE LA ESTRUCTURA. PROCESO MANUAL

ACTIVIDADES	EQUIPO	HERRAMIENTAS	MATERIALES	SEGURIDADES	FRECUENCIA	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
Eliminar la corrosión		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la cascarilla de laminación		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la vegetación		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar los químicos depositados		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la basura		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar depósitos con humedad		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar toda clase de suciedad		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	

#### RUTINA Nº 2: LIMPIEZA GENERAL DE LA ESTRUCTURA. PROCESO MECÁNICO

ACTIVIDADES	EQUIPO	HERRAMIENTAS	MATERIALES	SEGURIDADES	FRECUENCIA	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
Eliminar la corrosión	EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la cascarilla de laminación	EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la vegetación		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar químicos depositados		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la basura		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar depósitos con humedad		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar toda clase de suciedad		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	

**MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Segunda

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**SIMBOLOGÍA:** EQUIPO ESPECÍFICO = EE, HERRAMIENTAS ESPECIFICAS = HE, MATERIALES ESPECÍFICOS = ME, EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL = EPP

**RUTINA Nº 3: LIMPIEZA GENERAL DE LA ESTRUCTURA. PROCESO CALÓRICO**

ACTIVIDADES	EQUIPO	HERRAMIENTAS	MATERIALES	SEGURIDADES	FRECUENCIA	RESPONSABLE	OBSERVACIÓN
Eliminar la corrosión	EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la cascarilla de laminación	EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la vegetación		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar los químicos depositados		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar la basura		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar depósitos con humedad		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Eliminar toda clase de suciedad		HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	

## MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Segunda

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**SIMBOLOGÍA:** CORROSIVO = CO, ALTA POLUCIÓN Y COSTERO = PC, SUAVE = SU, REPINTADO = RP, EQUIPO ESPECÍFICO = EE, HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS = HE, MATERIALES ESPECÍFICOS = ME, EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL = EPP

#### RUTINA Nº 4: PINTURA O RECUBRIMIENTO GENERAL DE LA ESTRUCTURA. PROCESO MANUAL

ACTIVIDADES	AMBIENTE				EQUIPO	HERRAMIENTAS	MATERIALES	SEGURIDAD	FRECUENCIA	RESPONS.	OBSERVAC.
	CO	PC	SU	RP							
Pintar cable de acero						HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar viga de rigidez						HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar torres de acero						HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar pendolones						HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar tablero de acero						HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar conexiones y apoyos						HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar elementos hormigón						HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	

#### RUTINA Nº 5: PINTURA O RECUBRIMIENTO GENERAL DE LA ESTRUCTURA. PROCESO MECÁNICO

ACTIVIDADES	AMBIENTE				EQUIPO	HERRAMIENTAS	MATERIALES	SEGURIDAD	FRECUENCIA	RESPONS.	OBSERVAC.
	CO	PC	SU	RP							
Pintar el cable de acero					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar la viga de rigidez					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar las torres de acero					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar los pendolones					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar el tablero de acero					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar conexiones y apoyos					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pintar elementos hormigón					EE	HE	ME	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	

**MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Segunda

RUTINA	EQUIPO ESPECÍFICO (EE)	HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS (HE)	MATERIALES ESPECÍFICOS (ME)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)	PROCESO	NORMA
<b>LIMPIEZA MANUAL</b>	Grúa.	Espátula. Escobas. Cepillo de alambre. Palas. Canecas.	Franelas. Material absorbente limpio. Lijas. Fundas de basura. Detergentes. Solventes. Vapor desengrasante. Neutralizadores químicos.	Casco. Gafas transparentes y opacas. Mascarilla para polvo. Camisa y pantalón para protección. Botas de protección industrial. Guantes de cuero y lana.	1. Dejar superficie libre de grasa y óxido.	ASSTHO
<b>LIMPIEZA MECÁNICA</b>	Grúa. Compresor. Amoladora. Motogenerador.	Manguera. Soplete para arena. Destornilladores. Juego de llaves de boca. Dados. Alicate. Extensiones eléctricas. Herramienta menor.	Arena común. Fundas de basura. Neutralizadores químicos. Discos de cerdas metálicas para moladora. Combustible. Franelas. Material absorbente limpio. Lijas. Fundas de basura. Detergentes. Solventes. Vapor desengrasante.	Casco. Gafas transparentes y opacas. Mascarilla para polvo. Camisa y pantalón para protección. Botas de protección industrial. Guantes de cuero y lana.	1. Retirar todo tipo de suciedad. 2. Armar el sistema con la precaución de que no exista fugas. 3. Usar sistema de chorro de arena para limpiar el óxido. 4. Usar la moladora en las secciones donde todavía exista remanente de óxido.	ASSTHO

**MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Segunda

RUTINA	EQUIPO ESPECÍFICO (EE)	HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS (HE)	MATERIALES ESPECÍFICOS (ME)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)	PROCESO	NORMA
<b>LIMPIEZA CALÓRICA</b>	Grúa. Tanque de oxígeno. Tanque de acetileno. Válvulas.	Manguera. Boquilla oxiacetilénica para limpieza. Destornilladores. Juego de llaves de boca. Dados. Herramienta menor.	Oxígeno. Acetileno. Fundas de basura. Neutralizadores químicos.	Casco. Gafas transparentes y opacas. Mascarilla para polvo. Camisa y pantalón para protección. Botas de protección industrial. Guantes de cuero y lana.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retirar todo tipo de suciedad.</li> <li>2. Eliminar todo resto de solvente.</li> <li>3. Armar el sistema con la precaución de que no exista fugas.</li> <li>4. Calibrar las válvulas para una relación O/A mayor que 1.</li> <li>5. Aplicar la llama a una velocidad en la que la superficie quede seca y sin suciedad, cascarilla y óxido.</li> <li>6. Limpiar con cepillo de alambre de ser necesario.</li> </ol>	ASSTHO

**MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Segunda

RUTINA	EQUIPO ESPECÍFICO (EE)	HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS (HE)	MATERIALES ESPECÍFICOS (ME)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)	PROCESO	NORMA
<b>PINTURA MANUAL</b>	Grúa.	Brochas. Rodillos. Canecas. Extensiones para rodillos.	Recubrimiento específico, según el tipo de ambiente. Material absorbente limpio.	Casco. Gafas transparentes y opacas. Mascarilla para polvo. Camisa y pantalón para protección. Botas de protección industrial. Guantes de cuero y lana.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prepare el recubrimiento según la capa a aplicar y las especificaciones del fabricante.</li> <li>2. Aplicar las capas según el tiempo, condiciones ambientales y espesor recomendados por la Norma.</li> </ol>	ASSTHO
<b>PINTURA MECÁNICA</b>	Grúa. Compresor. Motogenerador.	Manguera. Soplete para pintura. Destornilladores. Juego de llaves de boca. Dados. Alicate. Extensiones eléctricas. Herramienta menor.	Recubrimiento específico, según el tipo de ambiente. Combustible. Franelas. Material absorbente limpio.	Casco. Gafas transparentes y opacas. Mascarilla para polvo. Camisa y pantalón para protección. Botas de protección industrial. Guantes de cuero y lana.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prepare el recubrimiento según la capa a aplicar y las especificaciones del fabricante.</li> <li>2. Aplicar las capas según el tiempo, condiciones ambientales y espesor recomendados por la Norma.</li> </ol>	ASSTHO

**Nota:** 1. Aplicar la primera capa de pintura el mismo día que se realizó la limpieza de la Estructura de Acero.  
2. Aplicar las capas de pintura según lo especificado en el Anexo 4.

**MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Segunda

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**SIMBOLOGÍA:** EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL = EPP

**REEMPLAZO Y RECONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS CON FALLAS PUNTUALES EN SU ESTRUCTURA**

ACTIVIDADES	EQUIPO	HERRAMIENTAS	MATERIALES	SEGURIDAD	FRECUENCIA	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
Cubierta cable acero	Rutina de pintura	Rutina de pintura	Rutina de pintura	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Viga de rigidez	Grúa	Llaves y dados	ASTM A36	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Pendolones	Grúa	Llaves y dados	Pendolón común	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Torre de hormigón	Grúa	Relleno específico	Relleno específico	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Sistema de anclaje	Mezcladora	Relleno específico	Relleno específico	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Cimientos	Mezcladora	Relleno específico	Relleno específico	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Tablero de acero	Torcómetro	Llaves y dados	ASTM A36	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Tablero mixto	Mezcladora	Relleno específico	Relleno específico	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Tablero de hormigón	Mezcladora	Relleno específico	Relleno específico	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Neoprenos	Gatos hidráulicos	Palancas	ASTM D412 grado 60/70	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Conexión con perno	Torcómetro	Llaves y dados	ASTM A325/409	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Conexión con remache	Pistola Neumática	Llaves y dados	ASTM A141/125/502	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Conexión soldada	Soldadora	Llaves y dados	ASTM A233/316	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Conexión combinada	Soldadora	Llaves y dados	ASTM A233/316	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Apoyos	Mezcladora	Relleno específico	Relleno específico	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	
Seguridades	Torcómetro	Llaves y dados	Relleno específico y ASTM A36	EPP, arnés y cuerda	Cada 5 años	Fiscalizador	

**Nota:** 1. WPS de las soldaduras en campo realizarlos según lo especificado en el Anexo 5.

2. Aplicar los rellenos específicos para elementos de hormigón armado según lo especificado en el Anexo 6.

# CAPÍTULO III

## COSTOS UNITARIOS

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se cita la forma de cuantificar las tarifas del mantenimiento de puentes colgantes con estructura de acero.

Para el análisis de costos unitarios se tomará la información y los métodos más aceptados por las empresas constructoras del país, como es el caso del MOP.

Las tarifas que se consideraran para cuantificar los costos unitarios del mantenimiento de puentes colgantes con estructura de acero son:

- **Costos directos:**

1. Mano de obra.
2. Equipos.
3. Materiales (consumibles incluidos).
4. Fabricación e importación (elementos de reemplazo).
5. Transporte.
6. Montaje (elementos de reemplazo).
7. Personal.

- **Costos indirectos:**

1. Administrativos.
2. Imprevistos.
3. Financieros.
4. Impuestos.
5. Gastos generales.
6. Utilidades.
7. Fiscalización.

## **3.2 COSTOS DIRECTOS**

### **3.2.1 COSTO DE MANO DE OBRA**

El Ecuador tiene un déficit de mano de obra calificada, ya que los trabajadores capacitados han emigrado a otros países en busca de mejores oportunidades de trabajo.

El costo de este tipo de personal se encuentra con una tendencia de crecimiento, lo cual afecta directamente a las empresas y personas que se dedican a dar mantenimiento a estructuras de acero y en nuestro caso de manera más directa, pues toda la ingeniería de puentes requiere en gran medida de mecánicos y soldadores calificados de acuerdo a las Normas AWS y API.

Normalmente la referencia que se toma para la cuantificación del costo de mano de obra es el estudio del salario real diario para trabajadores de la construcción, que es un suplemento del Registro Oficial referente a los componentes salariales. La remuneración salarial de aquellos trabajadores es muy baja por lo que esto se autorregula mediante la ley de la oferta y la demanda.

### **3.2.2 COSTO DE EQUIPOS**

Para cuantificar el costo de los equipos es necesario establecer el tiempo de vida útil del equipo que depende de la calidad del mismo y las condiciones de trabajo y operación a las cuales estarán sometidos en este periodo de tiempo.

El tiempo de vida útil es aquel en el que los servicios del equipo son efectivos, uniformes y calculables, posteriormente a la conclusión de este periodo, el equipo puede ser retirado de servicio o puede ser revendido si se le ha dado un mantenimiento efectivo. Es recomendable establecer el periodo de vida útil en horas o años.

Los costos horarios de los equipos se los suele dividir en tres tipos:

- Costo de propiedad.
- Costo de operación.

- Costo de mantenimiento.

La duración en horas está determinada aproximadamente por el fabricante para las diferentes condiciones de operación.

### **3.2.3 COSTO DE MATERIALES Y CONSUMIBLES**

El costo predominante de los materiales es el correspondiente al acero estructural para puentes, cuyo mercado a nivel nacional es escaso y por lo tanto en muchos proyectos define el éxito o fracaso del mismo.

En los consumibles, el costo predominante es el correspondiente a los electrodos, por su gran variedad en marcas, calidad y precios. La buena selección de ellos optimiza el rendimiento y los costos.

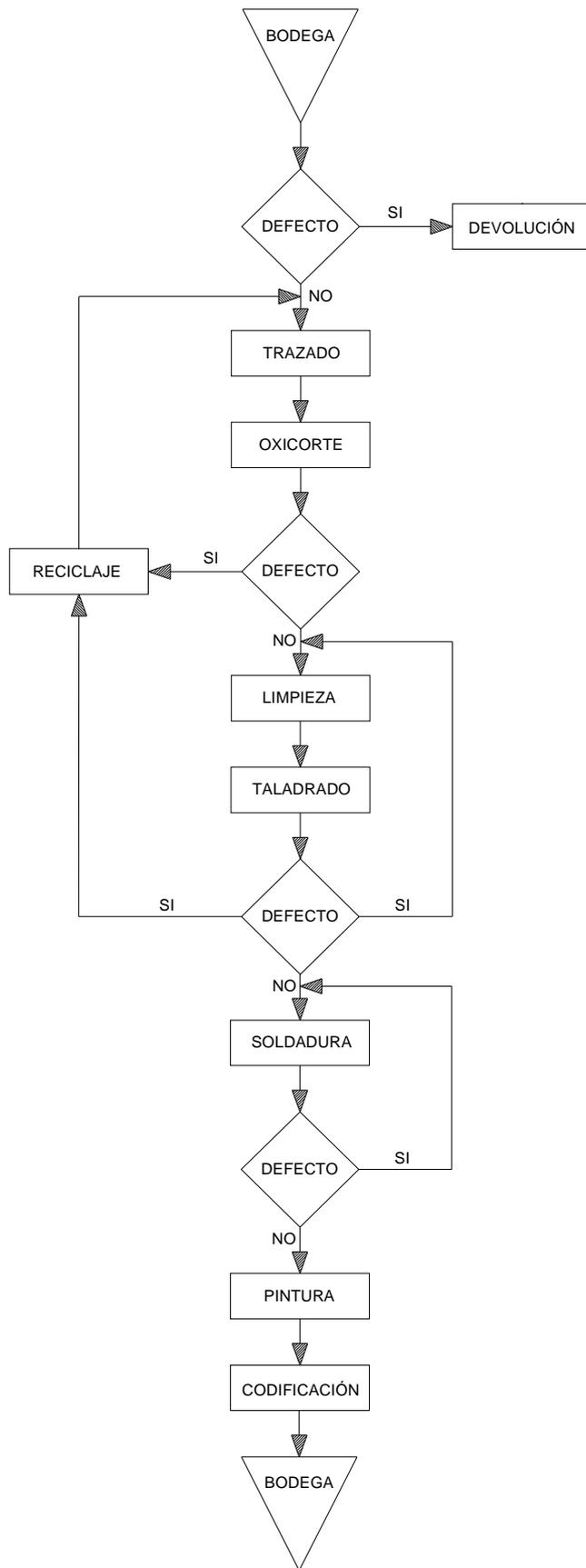
Para la selección entre las diferentes marcas y tipos de materiales e insumos debemos cuantificar los factores más importantes que van a incidir en nuestra toma de decisión. Estos factores son ponderados según la importancia y son:

- Costo.
- Marca.
- Forma de pago.
- Tiempo de entrega.

### **3.2.4 COSTOS DE FABRICACIÓN**

En la ejecución del mantenimiento de puentes colgantes con estructura de acero, eventualmente tendrán que ser reemplazados ciertos elementos o partes del mismo, para lo cual se tiene que dar la orden de fabricación de los mismos.

La adquisición de materiales es muy importante, ya que una demora en la misma daría lugar a la paralización de los trabajos y por lo tanto un retraso en el programa de mantenimiento.



**Figura 3.1** Proceso de fabricación

Establecidos los materiales a utilizarse, se debe tener en cuenta que las adquisiciones deben realizarse a nivel local.

Se debe tener una lista de proveedores calificados antes de que inicie el proceso de fabricación, con ello se podrá optimizar todo el proceso.

La calificación de los proveedores debe realizarse de acuerdo a:

- Tiempos de entrega.
- Formas de pago.
- Calidad del material que ofrecen.

### **3.2.5 COSTOS DE TRANSPORTE**

Una vez contruidos los reemplazos de los elementos del puente colgante de acero, se los transporta desde la planta o taller donde fueron fabricados hasta el lugar donde van a ser colocados.

Estos elementos son transportados en camiones de carga mediante el uso de:

- Grúas.
- Montacargas.
- Pórticos de izaje.
- Tecles.

### **3.2.6 COSTOS DE MONTAJE**

Luego de las etapas de fabricación de los elementos de reemplazo, se realiza el ensamble de los mismos en su posición definitiva.

Lo más importante que se debe considerar al llevar a cabo estas operaciones, es la seguridad de los trabajadores, equipos y materiales, así como la economía y el tiempo empleado en el montaje.

Existen varios métodos de montaje que dependen de factores como:

- Tipo y tamaño del puente.

- Condiciones del lugar.
- Disponibilidad de los equipos.
- Experiencia del ingeniero.

Es necesario realizar un programa de montaje que facilite la ejecución del trabajo en campo.

### **3.2.7 COSTOS DE PERSONAL**

Para todas las operaciones descritas anteriormente, es necesario contar con la participación de personal altamente calificado y para ciertos casos específicos, se necesita de mano de obra calificada y semicalificada.

Brevemente describimos el personal necesario para realizar los trabajos y procesos mencionados anteriormente:

- Jefe de planta (ingeniero de mantenimiento).
- Operario de montacargas o grúa.
- Cortador.
- Armador.
- Soldador.
- Ayudante.

### **3.3 COSTOS INDIRECTOS**

Son todos aquellos costos que no se toman en cuenta dentro del análisis directo de precios unitarios, como son:

- **Costos operacionales:**
  1. De producción.
  2. De administración.

La Asociación Americana de Ingeniería de Costos define los costos indirectos como “Todos los costos que no llegan a ser una parte final de la instalación, pero que son requeridos para ello y que pueden incluirse en forma no limitada a la administración de campo, supervisión directa, herramientas mayúsculas, costos de arranque, cuotas, seguros, impuestos, etc. En este rubro se tienen costos inmediatos y diferidos contabilizados en partidas que posteriormente se prorratan a las obras y frentes de acuerdo a criterios particulares de cada empresa. Son los gastos generalmente requeridos por la organización de campo y de la oficina central, además no pueden ser imputables en forma directa a una unidad de obra.”

Las áreas más significativas de los costos indirectos son:

- Administración central.
- Administración de campo.
- Imprevistos.
- Costo financiero.
- Impuestos
- Gastos generales
- Utilidades
- Fiscalización

Los costos indirectos son todos aquellos valores correspondientes a un porcentaje del precio unitario que van en relación al:

- Tipo y tamaño del proyecto.
- Cultura y tamaño de la empresa.
- Impuestos a los colegios de profesionales.
- Tasas de fiscalización e imprevistos.

Todos estos valores deben ser considerados para la cuantificación del precio unitario de los diferentes rubros del proyecto.

### **3.3.1 FORMA DE CUANTIFICACIÓN DE GASTOS GENERALES, UTILIDADES Y FISCALIZACIÓN**

#### **3.3.1.1 Gastos generales**

La forma de determinar el porcentaje correspondiente a gastos generales y costos indirectos que afectan a los proyectos de una empresa de mantenimiento en un periodo específico de tiempo, se lo hace calculando los costos fijos de la empresa en un determinado periodo y a este valor se lo divide para la estimación del volumen total de dinero que se manejará en este periodo.

#### **3.3.1.2 Utilidades**

El porcentaje destinado a utilidades se lo fija en función de las expectativas de ganancias de la empresa y de los accionistas.

#### **3.3.1.3 Fiscalización**

El porcentaje que se destina para fiscalización es fijo y depende de la empresa estatal con la que se trabaje.

En el caso del MOP, este valor es del 4 % del monto total del mantenimiento.

### **3.4 ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS**

#### **3.4.1 RUBROS DEL MANTENIMIENTO DE PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO:**

- **Proceso de limpieza:**
  1. Manual.
  2. Mecánico.

3. Calórico.

- **Métodos de ensayos no destructivos:**

1. Visual.
2. Tintas penetrantes.
3. Ultrasonido.
4. Radiografía.

- **Proceso de pintado:**

1. Manual.
2. Mecánico.

- **Proceso de reemplazo de elementos:**

1. Suministro de acero estructural ASTM A36.
2. Suministro de madera para el tablero mixto.
3. Fabricación.
4. Transporte.
5. Montaje.

### 3.4.2 RENDIMIENTO

El rendimiento se lo expresa en unidades [kg, m, u] por unidad de tiempo, el cual establece el constructor en función de los recursos con los que va a contar como son:

- ¿Qué cantidad y tipo de equipos?
- ¿Qué cantidad y tipo de mano de obra?
- ¿Qué cantidad y calidad de materiales e insumos?
- ¿Qué forma de fabricación, transporte y montaje?

Los rendimientos a los que se hace mención en el análisis posterior de un proyecto tipo, serán proporcionados por el equipo de mantenimiento de puentes colgantes con estructura de acero en el país.

### 3.4.3 FORMATO DE ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

#### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Rubro:	Unidad:
Código:	Rendimiento (R):

#### Equipos:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
			Parcial: (M)	0.00	0.00

#### Mano de obra:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
			Parcial: (N)	0.00	0.00

#### Materiales:

Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Unitario (B)	Costo Unitario (C)=(A*B)	%
			Parcial: (O)	0.00	0.00

#### Transporte:

Descripción	Unidad	Distancia (A)	Cantidad (B)	Tarifa (C)	Costo Unitario (C)=(A*B*C)	%
			Parcial: (P)	0.00	0.00	

Total Costos Directos:	(Q)=(M+N+O+P)	0.00	0.00
Costos Indirectos:			

#### Lugar y Fecha:

(R) Gastos Generales:	5%*(Q)	0.00
(S) Utilidades:	10%*(Q+R)	0.00
(T) Fiscalización:	5%*(Q+R+S)	0.00
(U) Impuestos:	3%*(Q+R+S+T)	0.00

#### Ing. Responsable

Precio Unitario Total:	0.00
Valor Propuesto:	0.00

**Tabla 3.1** Análisis de precios unitarios.

**3.4.4 DESGLOSE DE COSTOS DIRECTOS (USD)**

Rubro	Unidad	Cantidad	Equipo	Mano de obra	Material	Transporte	Total
		<b>TOTAL</b>					<b>0.00</b>

**Tabla 3.2** Desglose de costos directos.

**3.4.5 CRONOGRAMA VALORADO DE TRABAJOS (USD)**

Código	Unidad	Cantidad Total	P. Unit. USD	P. Total USD	TIEMPO EN DIAS											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			<b>TOTAL</b>													
<b>TOTAL PARCIAL</b>																
<b>TOTAL ACUMULADO</b>																
<b>% PARCIAL</b>																
<b>% ACUMULADO</b>																

**Tabla 3.3** Cronograma valorado de trabajos.

## **CAPITULO IV**

# **APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS A UN PUENTE TIPO**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Este capítulo presenta el cálculo para el presupuesto de mantenimiento de un Puente Colgante Tipo con Estructura de Acero, con los Procedimientos de Mantenimiento desarrollados en el Capítulo II y se realizará el análisis de costos unitarios desarrollados en el Capítulo III.

Dicho análisis está basado en el sistema de cálculo de precios unitarios por unidad de kilogramo de acero del puente.

Este puente en particular es analizado debido a que las dimensiones son las promediales en los puentes colgantes existentes en el Ecuador.

El análisis de costos del Puente Tipo toma en cuenta los siguientes rubros:

- Ensayos no destructivos.
- Limpieza de la estructura.
- Pintura de la estructura.
- Reemplazo de elementos.

El puente tipo escogido ha sido el de la ciudad del Tena, sobre el río Anzu, cuyas especificaciones y datos técnicos se detallan en el Anexo 7.

## MANTENIMIENTO DE VIGAS DE RIGIDEZ DE Puentes COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE Puentes COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**SIMBOLOGÍA:** LIMPIEZA = LI, PINTURA = PI, REEMPLAZO O RECONSTRUCCIÓN = RE

#### RESUMEN DE TAREAS A EJECUTAR EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO

ELEMENTO	UBICACIÓN	TAREAS			CANTIDAD (LI, PI)	TAMAÑO (RE)	ULTIMA REVISIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
		LI	PI	RE						
Cubierta del cable acero								Ingeniero		
Cable de acero	Cable: 1, 2	√	√		470 m		Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Viga de rigidez	Tramo: 1	√	√	√	400 m	48 m	Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Pendolones	Tramo 1: 17-20, 31-34	√	√	√	440 m	4 x 1.28 m 4 x 1.66 m	Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Torre de acero	Columnas: 1, 2, 3, 4	√	√		15 m <sup>2</sup>		Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Torre de hormigón										
Sistema de anclaje	Anclajes: 1, 2, 3, 4	√			10 m <sup>2</sup>		Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Cimientos	Cimientos: 1, 2	√			30 m <sup>2</sup>		Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Silletas	Silletas: 1, 2, 3, 4	√	√				Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	

## MANTENIMIENTO DE VIGAS DE RIGIDEZ DE Puentes COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**ELABORADO POR:** GARCÉS – ZALDUMBIDE

**FECHA:** Marzo / 2006

**ETAPA:** Primera

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE Puentes COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO

**SIMBOLOGÍA:** LIMPIEZA = LI, PINTURA = PI, REEMPLAZO O RECONSTRUCCIÓN = RE

#### RESUMEN DE TAREAS A EJECUTAR EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO

ELEMENTO	UBICACIÓN	TAREAS			CANTIDAD (LI, PI)	TAMAÑO (RE)	ULTIMA REVISIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
		LI	PI	RE						
Tablero de acero									Ingeniero	
Tablero mixto	Tramo: 1	√	√	√	700 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>	Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Tablero de hormigón									Ingeniero	
Conexiones con pernos	Tramo: 1	√	√	√		40 x ¼ A325 T1	Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Conexiones remachadas y combinadas										
Conexiones soldadas	Tramo: 1	√	√	√		30 kg E6010 E7018	Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	
Neoprenos				√		0.04 m <sup>3</sup>			Ingeniero	
Apoyos										
Seguridades	Tramo: 1	√	√	√	Total		Abril, 2006	Abril, 2011	Ingeniero	

#### 4.2 DESGLOSE DE COSTOS DIRECTOS (USD)

Rubro	Unidad	Cantidad	Equipo	Mano de obra	Material	Transporte	Total
Ensayos no destructivos	global	1.000	1240.000	4700.000	20.511	200.000	6160.511
Limpieza de estructura de acero	kg	75000	6300.000	1500.000	2475.000	450.000	10725.000
Pintura de estructura de acero	kg	65000	4615.000	1300.000	3185.000	390.000	9490.000
Reemplazo de elementos	kg	10000	11630.000	7200.000	20720.000	640.000	40190.000
<b>TOTAL</b>			<b>23785.000</b>	<b>14700.000</b>	<b>26400.511</b>	<b>1680.000</b>	<b>66565.511</b>

#### 4.3 COSTOS INDIRECTOS (USD)

<b>Total Costos Directos:</b>	<b>(Q)</b>	<b>66565.511</b>	<b>100 %</b>
<b>Costos Indirectos:</b>			

Lugar y Fecha:

<b>(R) Gastos Generales:</b>	<b>5%*(Q)</b>	<b>3328.276</b>
<b>(S) Utilidades:</b>	<b>10%*(Q+R)</b>	<b>6989.379</b>
<b>(T) Fiscalización:</b>	<b>5%*(Q+R+S)</b>	<b>3844.158</b>
<b>(U) Impuestos:</b>	<b>3%*(Q+R+S+T)</b>	<b>2421.820</b>

Ing. Responsable

<b>Precio Unitario Total:</b>	<b>83149.143</b>
<b>Valor Propuesto:</b>	<b>83150.000</b>

#### 4.4 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

##### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

<b>Rubro:</b> Ensayos no destructivos	<b>Unidad:</b> Global
<b>Código:</b> GZ-001	<b>Rendimiento (R):</b> 0.010

##### Equipos:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
Equipo de ultrasonido	2.000	3.000	6.000	600.000	9.739
Herramienta menor	2.000	1.000	2.000	200.000	3.246
Amoladora	2.000	1.200	2.400	240.000	3.896
Escalera	2.000	1.000	2.000	200.000	3.246
<b>Parcial: (M)</b>				<b>1240.000</b>	<b>20.128</b>

##### Mano de obra:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
Ingeniero de E.N.D.	2.000	22.000	44.000	4400.000	71.423
Ayudante de mecánica	2.000	1.500	3.000	300.000	4.870
<b>Parcial: (M)</b>				<b>4700.000</b>	<b>76.292</b>

**Materiales:**

Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Unitario (B)	Costo Unitario (C)=(A*B)	%
Grasa industrial	Kg	2.000	6.250	12.500	0.203
Detergentes	Kg	2.000	2.000	4.000	0.065
Material absorbente limpio	Kg	2.000	2.000	4.000	0.065
Discos de cerdas metálicas para amoladora	1	0.003	3.500	0.011	0.001
<b>Parcial: (O)</b>				<b>20.511</b>	<b>0.333</b>

**Transporte:**

Descripción	Unidad	Distancia (A)	Cantidad (B)	Tarifa (C)	Costo Unitario (C)=(A*B*C)	%
General	kg	20.000	62.500	0.160	200.000	3.246
<b>Parcial: (P)</b>					<b>200.000</b>	<b>3.246</b>

<b>Total Costos Directos:</b>	<b>(Q)=(M+N+O+P)</b>	<b>6160.511</b>	<b>100.00</b>
<b>Costos Indirectos:</b>			

**Lugar y Fecha:**

<b>(R) Gastos Generales:</b>	<b>5%*(Q)</b>	<b>298.026</b>
<b>(S) Utilidades:</b>	<b>10%*(Q+R)</b>	<b>625.854</b>
<b>(T) Fiscalización:</b>	<b>5%*(Q+R+S)</b>	<b>344.220</b>
<b>(U) Impuestos:</b>	<b>3%*(Q+R+S+T)</b>	<b>216.859</b>

**Ing. Responsable**

<b>Precio Unitario Total:</b>	<b>7445.476</b>
<b>Valor Propuesto:</b>	<b>7446.000</b>

#### 4.5 LIMPIEZA DE LA ESTRUCTURA DE ACERO

##### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

<b>Rubro:</b> Limpieza general	<b>Unidad:</b> kg
<b>Código:</b> GZ-002	<b>Rendimiento (R):</b> 450.000

##### Equipos:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
Equipo de chorro de arena a presión	1.000	6.708	6.708	0.015	10.490
Equipo de secado	1.000	1.500	1.500	0.003	2.098
Compresor de 125 hp	1.000	14.770	14.770	0.066	46.154
<b>Parcial: (M)</b>				<b>0.084</b>	<b>58.741</b>

##### Mano de obra:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
Cuadrilla I	2	1.728	3.456	0.008	5.594
Cuadrilla II	1	1.751	1.751	0.004	2.797
Cuadrilla III	1	1.804	1.804	0.004	2.797
Grupo de operarios	1	1.696	1.696	0.004	2.797
<b>Parcial: (M)</b>				<b>0.020</b>	<b>13.986</b>

**Materiales:**

Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Unitario (B)	Costo Unitario (C)=(A*B)	%
Diluyente	Gl	0.002	7.920	0.012	8.392
Andamios	global	0.002	0.700	0.001	0.699
Agregado fino	m <sup>3</sup>	0.002	10.000	0.020	13.986
<b>Parcial: (O)</b>				<b>0.033</b>	<b>23.077</b>

**Transporte:**

Descripción	Unidad	Distancia (A)	Cantidad (B)	Tarifa (C)	Costo Unitario (C)=(A*B*C)	%
General	kg	20.000	0.002	0.160	0.006	4.196
<b>Parcial: (P)</b>					<b>0.006</b>	<b>4.196</b>

<b>Total Costos Directos:</b>	<b>(Q)=(M+N+O+P)</b>	<b>0.143</b>	<b>100.00</b>
<b>Costos Indirectos:</b>			

**Lugar y Fecha:**

<b>(R) Gastos Generales:</b>	<b>5%*(Q)</b>	<b>0.007</b>
<b>(S) Utilidades:</b>	<b>10%*(Q+R)</b>	<b>0.015</b>
<b>(T) Fiscalización:</b>	<b>5%*(Q+R+S)</b>	<b>0.008</b>
<b>(U) Impuestos:</b>	<b>3%*(Q+R+S+T)</b>	<b>0.005</b>

**Ing. Responsable**

<b>Precio Unitario Total:</b>	<b>0.179</b>
<b>Valor Propuesto:</b>	<b>0.180</b>

#### 4.6 PINTURA DE LA ESTRUCTURA DE ACERO

##### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

<b>Rubro:</b> Pintura general	<b>Unidad:</b> kg
<b>Código:</b> GZ-003	<b>Rendimiento (R):</b> 450.000

##### Equipos:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
Compresor de aire de 125 hp	1.000	14.770	14.770	0.066	45.205
Equipo de pintura	1.000	1.000	1.000	0.002	1.370
Equipo de secado	1.000	1.500	1.500	0.003	2.055
<b>Parcial: (M)</b>				<b>0.071</b>	<b>48.630</b>

##### Mano de obra:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
Cuadrilla I	2	1.728	3.456	0.008	5.479
Cuadrilla II	1	1.751	1.751	0.004	2.740
Cuadrilla III	1	1.804	1.804	0.004	2.740
Grupo de operarios	1	1.696	1.696	0.004	2.740
<b>Parcial: (M)</b>				<b>0.020</b>	<b>13.699</b>

**Materiales:**

Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Unitario (B)	Costo Unitario (C)=(A*B)	%
Pintura anticorrosiva	gl	0.001	13.640	0.007	4.795
Pintura de aluminio	gl	0.001	11.990	0.010	6.849
Diluyente	gl	0.002	7.920	0.012	8.219
Andamios	global	0.002	0.700	0.020	13.699
<b>Parcial: (O)</b>				<b>0.049</b>	<b>33.562</b>

**Transporte:**

Descripción	Unidad	Distancia (A)	Cantidad (B)	Tarifa (C)	Costo Unitario (C)=(A*B*C)	%
General	kg	20.000	0.002	0.160	0.006	4.110
<b>Parcial: (P)</b>					<b>0.006</b>	<b>4.110</b>

<b>Total Costos Directos:</b>	<b>(Q)=(M+N+O+P)</b>	<b>0.146</b>	<b>100.00</b>
<b>Costos Indirectos:</b>			

**Lugar y Fecha:**

<b>(R) Gastos Generales:</b>	<b>5%*(Q)</b>	<b>0.007</b>
<b>(S) Utilidades:</b>	<b>10%*(Q+R)</b>	<b>0.015</b>
<b>(T) Fiscalización:</b>	<b>5%*(Q+R+S)</b>	<b>0.008</b>
<b>(U) Impuestos:</b>	<b>3%*(Q+R+S+T)</b>	<b>0.005</b>

**Ing. Responsable**

<b>Precio Unitario Total:</b>	<b>0.182</b>
<b>Valor Propuesto:</b>	<b>0.190</b>

## 4.7 REEMPLAZO DE ELEMENTOS

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

<b>Rubro:</b> Reemplazo	<b>Unidad:</b> kg
<b>Código:</b> GZ-004	<b>Rendimiento (R):</b> 50.000

#### Equipos:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
Soldadora 500 A	1.000	8.000	8.000	0.160	3.981
Herramienta menor	3.000	1.000	3.000	0.060	1.493
Amoladora	2.000	1.200	2.400	0.048	1.194
Compresor de 125 hp	1.000	14.770	14.770	0.295	7.340
Grúa	1.000	30.000	30.000	0.600	14.929
<b>Parcial: (M)</b>				<b>1.163</b>	<b>28.938</b>

#### Mano de obra:

Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo Hora (C)=(A*B)	Costo Unitario (D)=(C/R)	%
Ingeniero de montaje	1.000	22.000	22.000	0.440	10.948
Ayudante de mecánica	2.000	1.500	3.000	0.060	1.493
Soldador ASME	1.000	8.000	8.000	0.160	3.981
Operario de grúa	1.000	3.000	3.000	0.060	1.493
<b>Parcial: (M)</b>				<b>0.720</b>	<b>17.915</b>

**Materiales:**

Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Unitario (B)	Costo Unitario (C)=(A*B)	%
Acero estructural	Kg	1.050	1.150	1.201	29.883
Electrodos E6010	Kg	0.020	5.000	0.100	2.488
Electrodos E7018	Kg	0.010	5.000	0.050	1.244
Discos de cerdas metálicas para amoladora	1	0.003	3.500	0.011	0.274
Oxígeno-acetileno	Kg	0.002	5.000	0.010	0.249
Madera tratada	m <sup>3</sup>	0.030	23.000	0.690	17.168
Placas caucho vulcanizado	m <sup>2</sup>	0.00003	250.000	0.008	0.199
Láminas Ac. ASTM A36 (0.3x0.4x0.001 m.)	1	0.000023	30.000	0.001	0.025
Adhesivo Cianocrilato	1	0.000025	8.000	0.001	0.025
<b>Parcial: (O)</b>				<b>2.072</b>	<b>51.555</b>

**Transporte:**

Descripción	Unidad	Distancia (A)	Cantidad (B)	Tarifa (C)	Costo Unitario (C)=(A*B*C)	%
General	kg	20.000	0.020	0.160	0.064	1.592
<b>Parcial: (P)</b>					<b>0.064</b>	<b>1.592</b>

<b>Total Costos Directos:</b>	<b>(Q)=(M+N+O+P)</b>	<b>4.019</b>	<b>100.00</b>
<b>Costos Indirectos:</b>			

**Lugar y Fecha:**

<b>(R) Gastos Generales:</b>	<b>5%*(Q)</b>	<b>0.198</b>
<b>(S) Utilidades:</b>	<b>10%*(Q+R)</b>	<b>0.416</b>
<b>(T) Fiscalización:</b>	<b>5%*(Q+R+S)</b>	<b>0.229</b>
<b>(U) Impuestos:</b>	<b>3%*(Q+R+S+T)</b>	<b>0.144</b>

**Ing. Responsable**

<b>Precio Unitario Total:</b>	<b>4.948</b>
<b>Valor Propuesto:</b>	<b>4.950</b>

#### 4.8 CRONOGRAMA VALORADO DE TRABAJOS (USD)

Código	Unidad	Cantidad Total	P. Unit.	P. Total	TIEMPO EN DIAS											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GZ-001	global	1.000	6160.511	6160.511												
GZ-002	kg	75000	0.143	10725.000												
GZ-003	kg	65000	0.146	9490.000												
GZ-004	kg	10000	4.019	40190.000												
			<b>P. TOTAL</b>	<b>66565.511</b>												
<b>TOTAL PARCIAL</b>					6160.511			8043.750			19846.250			32515.000		
<b>TOTAL ACUMULADO</b>					6160.511			14204.261			34050.511			66565.511		
<b>% PARCIAL</b>					9.255			12.084			29.815			48.847		
<b>% ACUMULADO</b>					9.255			21.339			51.153			100.000		

#### **4.9 COSTO FINAL DEL MANTENIMIENTO DEL PUENTE TIPO**

Después de la ejecución de todas las tareas de mantenimiento, como se muestra en las tablas anteriores, el costo final del Proceso de Mantenimiento es de **83150.00 USD**.

Este costo es susceptible a las siguientes variables:

- Recursos humanos y tecnológicos de la empresa, sea ésta privada o pública.
- Eficiencia de la empresa en la ejecución del trabajo.
- Condición del puente, como:
  1. Ubicación.
  2. Ambiente.
  3. Deterioro del mismo, etc.
- Diseño de la estructura del puente, como:
  1. Accesibilidad.
  2. Material de los elementos estructurales del puente.
- Proveedores de la materia prima para el mantenimiento del puente.

# **CAPÍTULO V**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- 1.** Las empresas estatales ecuatorianas no tienen conciencia de la importancia de ejecutar mantenimientos preventivos periódicos a sus obras de ingeniería, en especial, a las estructuras metálicas. Tampoco aplican nuevos criterios en cuanto al mejoramiento administrativo y operativo.
- 2.** Hasta ahora las empresas del estado e incluso algunas privadas, aplican únicamente programas de mantenimiento correctivo, lo cual no sólo reduce la vida útil de las estructuras, sino que también se pierden los recursos de la empresa debido a reparaciones mayores, inclusive puede desencadenar en la pérdida total de la infraestructura.
- 3.** Procedimientos de Mantenimiento como los aquí propuestos, se justifican ya que teniendo un carácter preventivo ahorran prácticamente todas las reparaciones mayores, típicas de un mantenimiento correctivo. Y además buscan repotenciar e incluso alargar la vida útil de las estructuras de acero.
- 4.** Los logros en la implantación del Mantenimiento Preventivo son: cero tiempo de paradas no programadas, un trabajo de alta calidad, optimización de los recursos de la empresa tanto humanos como materiales, mantiene altos estándares de seguridad y orden afectando de manera positiva a la moral del equipo de trabajo. Se debe recalcar

que pequeñas mejoras de cada persona pueden producir al final grandes ahorros.

5. La planificación y por ende el costo de ejecución de un programa de mantenimiento, son función de: la ubicación del puente, las condiciones en las que este se encuentre, los recursos humanos y tecnológicos de la empresa, ya sea ésta pública o privada y el material de los elementos estructurales del puente.
6. Los procedimientos del Mantenimiento Preventivo aquí propuestos cumplen con las normas de: la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM), el Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC), la Sociedad Americana de Soldadura (AWS), el Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI) y por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales (AASHTO).
7. El análisis de precios unitarios proporciona una estimación del costo real del programa de Mantenimiento Preventivo porque toma en cuenta el peso de la estructura de acero y las áreas que recibirán atención. La eficiencia del equipo muestra la verdadera situación de trabajo de los mismos y el cuanto se está aportando a la generación de valor agregado.
8. En el presente trabajo se propuso una metodología que probó ser efectiva ya que su desarrollo permitió resolver varios problemas que surgieron antes y durante la ejecución del Mantenimiento Preventivo del Puente Tipo, dándose así las soluciones para aplicaciones posteriores, por lo tanto ningún problema debe ser pasado por alto.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- 1** El correcto diagnóstico del estado del puente es un factor clave en la planificación y ejecución del Mantenimiento Preventivo, por lo que se recomienda que se guarde un criterio previsorio al momento de evaluar los elementos del Puente.
  
- 2** Dado que la tecnología avanza a pasos agigantados, se exige la capacitación y entrenamiento continuo del equipo de trabajo sobre nuevas y diferentes tecnologías. Los costos de Mantenimiento se reducen, pues dicha capacitación permite involucrar y asignar tareas a los operadores que antes no podía hacerlas, por lo que se requería de personal especializado.
  
- 3** Se recomienda la utilización de programas informáticos de mantenimiento ya que poseen una metodología simple y mediante el uso de registros serios y exactos, los Mantenimientos posteriores se realizarán basados en un historial confiable que permitirá a nuevos equipos de trabajo adaptarse a las condiciones del puente, consiguiendo de esta manera uniformidad en los procesos.
  
- 4** Para empresas estatales como es el Ministerio de Obras Públicas (MOP), se recomienda no sólo la aplicación de los Procedimientos de Mantenimiento diseñados en esta tesis, sino también la implantación de programas con un mayor alcance como es el Mantenimiento Productivo Total (TPM).

## BIBLIOGRAFÍA

- Norma de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales (AASHTO).
- Norma de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS).
- Norma de la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM)
- Norma del Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN).
- BORIS; LIN T.; SCALZI JOHN, Diseño de Estructuras de Acero, Editorial Limusa, México, 1997, 2º Edición.
- BROCKENBROUGH ROGER; MERRITT FREDERICK, Diseño de Estructuras de Acero, Editorial Mc Graw Hill, Colombia, 1997, 2º Edición.
- Ministerio de Obras Públicas; Departamento de Planificación.
- Ministerio de Obras Públicas; Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes; Plan Maestro de la Red Vial del Ecuador.
- Seminario de Administración del Mantenimiento; EPN; enero; 2006
- [www.ceroaverias.com](http://www.ceroaverias.com).
- [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com).

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1**

**INVENTARIO DE PUENTES COLGANTES EN EL  
ECUADOR**

**1. PUENTE DE LA VÍA PUYO-MACAS SOBRE EL RÍO PASTAZA.**

• **IDENTIFICACIÓN:**

<b>PROVINCIA:</b>	MORONA SANTIAGO	<b>ZONA:</b>	5	<b>ÁREA:</b>	MACAS
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>		PUYO-MACAS	<b>TRAMO:</b>	RÍO PASTAZA-MACAS	
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>		CAMINO PRIMARIO			
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>		3	<b>NOMBRE DE RIO:</b> PASTAZA		
<b>PUENTE Nº:</b>	791	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b> 59 + 200		<b>INICIO:</b> RÍO PASTAZA ABSCISADO	

• **DATOS DE LA ESTRUCTURA:**

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>	2	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>	3
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>	130-10.8-16.2	<b>LONGITUD TOTAL:</b>	157.00
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>	10.00	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>	8.50
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>	2	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>	1
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b> 0	
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>	12.70	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>	0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>	2.00		
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>	1	<b>RADIO:</b> 0	<b>PERALTE:</b> 0



**FOTOGRAFÍA Nº 1** FRONTAL DEL PUENTE DE TRAMO RÍO PASTAZA-MACAS  
SOBRE EL RÍO PASTAZA



**FOTOGRAFÍA Nº 2** LATERAL DEL PUENTE DE TRAMO RÍO PASTAZA-MACAS  
SOBRE EL RÍO PASTAZA

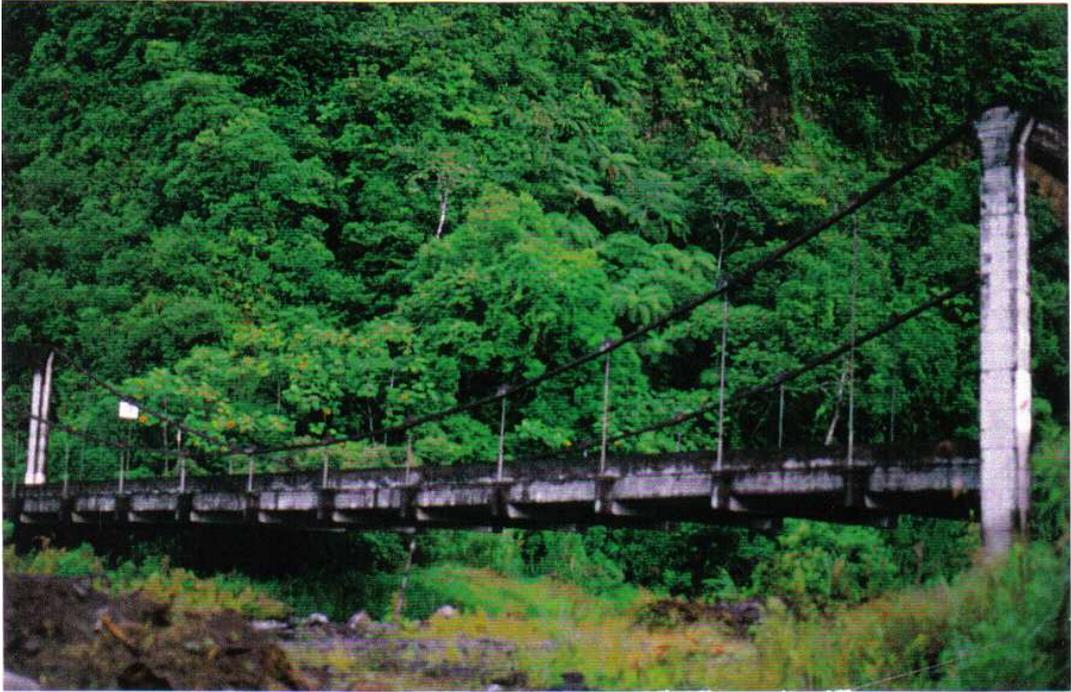
2. **PUENTE DE LA VÍA PUYO-MACAS SOBRE EL RÍO COPUENO**

• **IDENTIFICACIÓN:**

<b>PROVINCIA:</b>	MORONA SANTIAGO	<b>ZONA:</b>	5	<b>ÁREA:</b>	MACAS
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>	PUYO-MACAS		<b>TRAMO:</b>	RÍO PASTAZA-MACAS	
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>	CAMINO PRIMARIO				
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>	3			<b>NOMBRE DE RIO:</b>	COPUENO
<b>PUENTE N:</b>	792	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b>	60 + 500		<b>INICIO:</b> RÍO PASTAZA ABSCISADO

• **DATOS DE LA ESTRUCTURA:**

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>	2	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>	6
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>	8-2X10-77-2X14	<b>LONGITUD TOTAL:</b>	133.00
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>	9.00	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>	8.50
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>	3	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>	1
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b>	0
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>	5.50	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>	0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>	1.20		
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>	1	<b>RADIO:</b>	0
		<b>PERALTE:</b>	0



**FOTOGRAFÍA Nº 3** LATERAL DEL PUENTE DE TRAMO RÍO PASTAZA-MACAS  
SOBRE EL RÍO COPUENO



**FOTOGRAFÍA Nº 4** CIMIENTOS DEL PUENTE DE TRAMO RÍO PASTAZA-MACAS  
SOBRE EL RÍO COPUENO

### 3. PUENTE DE LA VÍA TENA PUYO SOBRE EL RÍO NAPO

- IDENTIFICACIÓN:

<b>PROVINCIA:</b>	NAPO	<b>ZONA:</b>	1	<b>ÁREA:</b>	TENA
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>		TENA-PUYO	<b>TRAMO:</b>	PUERTO NAPO	
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>		CAMINO PRIMARIO			
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>		3	<b>NOMBRE DE RIO:</b> NAPO		
<b>PUENTE N:</b>	738	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b> 5 + 200		<b>INICIO:</b>	TENA ABSCISADO

- DATOS DE LA ESTRUCTURA:

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>		2	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>		3
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>		6-24-50	<b>LONGITUD TOTAL:</b>		180.00
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>		5.55	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>		3.75
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>		4	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>		1
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b> 0			
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>		22.35	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>		0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>			0.40		
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>		3	<b>RADIO:</b> 0 <b>PERALTE:</b> 0		



**FOTOGRAFÍA Nº 5** LATERAL DEL PUENTE DE TRAMO TENA-PUERTO NAPO  
SOBRE EL RÍO NAPO



**FOTOGRAFÍA Nº 6** ESTRUCTURA INFERIOR DEL PUENTE DE TRAMO TENA-  
PUERTO NAPO SOBRE EL RÍO NAPO

**4. PUENTE DE LA VÍA SAN MATEO-LA TOLA, SOBRE EL RÍO SAN MATEO**

**• IDENTIFICACIÓN:**

<b>PROVINCIA:</b>	ESMERALDAS	<b>ZONA:</b>	9	<b>ÁREA:</b>	ESMERALDAS
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>	SAN MATEO- LA TOLA		<b>TRAMO:</b>	SAN MATEO- TACHINA	
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>	CAMINO SECUNDARIO				
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>	3			<b>NOMBRE DE RIO:</b>	PASTAZA
<b>PUENTE N:</b>	23	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b>	0.800		<b>INICIO:</b> SAN MATEO ABSCISADO

**• DATOS DE LA ESTRUCTURA:**

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>	1	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>	1
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>	201.00	<b>LONGITUD TOTAL:</b>	201.00
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>	8.30	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>	7.30
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>	4	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>	1
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b>	0
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>	10.70	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>	0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>	2.40		
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>	1	<b>RADIO:</b>	0
		<b>PERALTE:</b>	0



**FOTOGRAFÍA N° 7** FRONTAL DEL PUENTE DE TRAMO SAN MATEO-TACHINA  
SOBRE EL RÍO SAN MATEO



**FOTOGRAFÍA N.12.-** LATERAL SUPERIOR DEL PUENTE DE TRAMO SAN MATEO-  
TACHINA SOBRE EL RÍO SAN MATEO

5. **PUENTE DE LA VÍA PATRICIA PILAR-SANTA MARÍA SOBRE EL RÍO BABA**

• **IDENTIFICACIÓN:**

<b>PROVINCIA:</b>	LOS RÍOS	<b>ZONA:</b>	10	<b>ÁREA:</b>	QUEVEDO
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>	PATRICIA-STA. MARÍA	<b>TRAMO:</b>		PATRICIA-STA. MARÍA	
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>	CAMINO TERCARIO				
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>	3	<b>NOMBRE DE RÍO:</b>	BABA (LOS RÍOS)		
<b>PUENTE N:</b>	159	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b>	1 + 200	<b>INICIO:</b>	PATRICIA PILAR ABSCISADO

• **DATOS DE LA ESTRUCTURA:**

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>	1	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>	1
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>	71.00	<b>LONGITUD TOTAL:</b>	71.00
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>	5.80	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>	5.80
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>	3	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>	3
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b>	0
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>	18.40	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>	0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>			0.00
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>	3	<b>RADIO:</b>	0
		<b>PERALTE:</b>	0



**FOTOGRAFÍA Nº 9** FRONTAL ANVERSO DEL PUENTE DE TRAMO PATRICIA P.-  
STA. MARÍA SOBRE EL RÍO BABA



**FOTOGRAFÍA Nº 10** LATERAL DEL PUENTE DE TRAMO PATRICIA P.-STA. MARÍA  
SOBRE EL RÍO BABA

**6. PUENTE DE LA VÍA EMPALME-NOBOL-GUAYAQUIL SOBRE EL RÍO DAULE**

**• IDENTIFICACIÓN:**

<b>PROVINCIA:</b>	GUAYAS	<b>ZONA:</b>	7	<b>ÁREA:</b>	PEDRO CARBO
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>	EMPALME-NOBOL	<b>TRAMO:</b>		EMPALME-NOBOL	
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>	CAMINO PRIMARIO				
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>	3			<b>NOMBRE DE RÍO:</b>	RÍO DAULE (GUAYAS)
<b>PUENTE N:</b>	276	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b>	125 + 700	<b>INICIO:</b>	EMPALME ABSCISADO

**• DATOS DE LA ESTRUCTURA:**

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>	2	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>	3
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>	16-201-16	<b>LONGITUD TOTAL:</b>	233.00
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>	9.00	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>	8.00
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>	4	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>	1
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b> 0	
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>	24.20	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>	0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>	0.60		
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>	1	<b>RADIO:</b>	0
		<b>PERALTE:</b>	0



**FOTOGRAFÍA Nº 11** LATERAL DEL PUENTE DE TRAMO EMPALME-NOBOL SOBRE EL RÍO DAULE



**FOTOGRAFÍA Nº 12** FRONTAL ANVERSO DEL PUENTE DE TRAMO EMPALME-NOBOL SOBRE EL RÍO DAULE

**7. PUENTE DE LA VÍA RÍO PINDO-EL PACHE-PACCHA SOBRE EL RÍO PINDO**

**• IDENTIFICACIÓN:**

<b>PROVINCIA:</b>	EL ORO	<b>ZONA:</b>	11	<b>ÁREA:</b>	PIÑAS
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>	RÍO PINDO-EL PACHE	<b>TRAMO:</b>	RÍO PINDO-PORTOVELO		
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>	CAMINO TERCARIO				
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>	3	<b>NOMBRE DE RÍO:</b>	PINDO		
<b>PUENTE N:</b>	876	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b>	0+ 000	<b>INICIO:</b>	RÍO PINDO ABSCISADO

**• DATOS DE LA ESTRUCTURA:**

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>	1	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>	1
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>	31.5	<b>LONGITUD TOTAL:</b>	31.50
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>	4.00	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>	3.60
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>	4	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>	3
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b>	0
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>	3.80	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>	0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>			0.50
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>	3	<b>RADIO:</b>	0
		<b>PERALTE:</b>	0



**FOTOGRAFÍA Nº 13** FRONTAL DEL PUENTE DE TRAMO RÍO PINDO-PORTOVELO  
SOBRE EL RÍO PINDO



**FOTOGRAFÍA Nº 14** LATERAL DEL PUENTE DE TRAMO RÍO PINDO-PORTOVELO  
SOBRE EL RÍO PINDO

**8. PUENTE DE LA VÍA BUENA VISTA SOBRE EL RÍO BABA**

• **IDENTIFICACIÓN:**

<b>PROVINCIA:</b>	PICHINCHA	<b>ZONA:</b>	2	<b>ÁREA:</b>	NANEGAL
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>	km 19 BUENAVISTA	<b>TRAMO:</b>	km 19-EL ESFUERZO		
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>	CAMINO TERCARIO				
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>	3	<b>NOMBRE DE RÍO:</b>	BABA		
<b>PUENTE N:</b>	49	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b>	3 + 300	<b>INICIO:</b>	km 19

• **DATOS DE LA ESTRUCTURA:**

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>	2	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>	3
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>	15.20-60.00-15.55	<b>LONGITUD TOTAL:</b>	233.00
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>	3.90	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>	3.35
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>	4	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>	1
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b>	0
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>	8.95	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>	0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>			
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>	3	<b>RADIO:</b>	0
		<b>PERALTE:</b>	0



**FOTOGRAFÍA Nº 15** LATERAL DERECHA DEL PUENTE DE TRAMO RÍO km 19 EL ESFUERZO SOBRE EL RÍO BABA



**FOTOGRAFÍA Nº 16** LATERAL IZQUIERDA DEL PUENTE DE TRAMO RÍO km 19 EL ESFUERZO SOBRE EL RÍO BABA

9. **PUENTE DE LA VÍA ALAMOR-PUYANGO SOBRE EL RÍO PUYANDO VIEJO**

• **IDENTIFICACIÓN:**

<b>PROVINCIA:</b>	LOJA	<b>ZONA:</b>	6	<b>ÁREA:</b>	LOJA
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>		ALAMOR-PUYANGO	<b>TRAMO:</b>	PUYANGO-PUYANGO VI	
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>		CAMINO PRIMARIO			
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>		3	<b>NOMBRE DE RÍO:</b> PUYANGO VIEJO		
<b>PUENTE N:</b>	916	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b> 3 + 200		<b>INICIO:</b> PUYANGO ABSCISADO	

• **DATOS DE LA ESTRUCTURA:**

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>		1	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>		1
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>		61.02	<b>LONGITUD TOTAL:</b>		61.02
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>		4.66	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>		4.30
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>		3	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>		3
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>			<b>ANGULO APROXIMADO:</b> 0		
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>		10.30	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>		0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>			10.00		
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>		3	<b>RADIO:</b> 0 <b>PERALTE:</b> 0		



**FOTOGRAFÍA Nº 17** FRONTAL DEL PUENTE DE TRAMO PUYANGO-PUYANGO VI  
SOBRE EL RÍO PUYANGO VIEJO



**FOTOGRAFÍA Nº 18** CABLE PRINCIPAL DEL PUENTE DE TRAMO PUYANGO-  
PUYANGO VI SOBRE EL RÍO PUYANGO VIEJO

10. PUENTE DE LA VÍA PATRICIA-14 DE ENERO SOBRE EL RÍO BABA

• IDENTIFICACIÓN:

<b>PROVINCIA:</b>	PICHINCHA	<b>ZONA:</b>	2	<b>ÁREA:</b> STO. DOMINGO
<b>NOMBRE DE LA VÍA:</b>	PATRICIA-14 ENERO	<b>DE</b>	<b>TRAMO:</b>	PATRICIA-COOP. 14 DE ENERO
<b>CLASIFICACIÓN DE LA VÍA:</b>	CAMINO TERCARIO			
<b>OBSTÁCULO DE CRUCE:</b>	3	<b>NOMBRE DE RÍO:</b> RÍO BABA		
<b>PUENTE N:</b>	409	<b>ABSCISA UBICACIÓN:</b>	INICIO: PATRICIA PILAR ABSCISADO	
		0 + 900		

• DATOS DE LA ESTRUCTURA:

<b>TIPO DE ESTRUCTURA:</b>	1	<b>NUMERO DE TRAMOS:</b>	1
<b>LONGITUD DE LOS TRAMOS:</b>	71.00	<b>LONGITUD TOTAL:</b>	71.00
<b>ANCHO TOTAL DEL TABLERO:</b>	6.00	<b>ANCHO ENTRE VEREDAS:</b>	4.20
<b>TIPO DE PROTECCIÓN LATERAL:</b>	4	<b>SISTEMA DRENAJE:</b>	3
<b>ESVIAJAMIENTO:</b>		<b>ANGULO APROXIMADO:</b> 0	
<b>ALTURA DEL TABLERO SOBRE EL CAUCE:</b>	7.95	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL:</b>	0
<b>ALTURA DE LA ESTRUCTURA BAJO EL TABLERO:</b>	0.30		
<b>CLASE DE ESTRUCTURA:</b>	3	<b>RADIO:</b> 0	<b>PERALTE:</b> 0



**FOTOGRAFÍA Nº 19** FRONTAL DEL PUENTE DE TRAMO PATRICIA- COOP. 14 DE ABRIL SOBRE EL RÍO BABA



**FOTOGRAFÍA Nº 20** LATERAL INFERIOR DERECHA DEL PUENTE DE TRAMO PATRICIA- COOP. 14 DE ABRIL SOBRE EL RÍO BABA

**ANEXO N° 2**

**NORMA AWS D1.1/D1.1M:2002**

**CAPÍTULO DE INSPECCIÓN**

**ANEXO N° 3**

**FORMATOS PARA INFORMES DE PRUEBAS  
ULTRASÓNICAS Y RADIOGRÁFICAS**

## **ANEXO N° 4**

# **SISTEMAS DE RECUBRIMIENTOS Y PINTURA PARA PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

**1. SISTEMAS DE RECUBRIMIENTOS Y PINTURA PARA  
PUENTES COLGANTES CON ESTRUCTURA DE ACERO**

<b>Capa</b>	<b>Ambiente</b>		
	<b>Alta polución y costero</b>	<b>Clima suave</b>	<b>Clima suave y/o repintado de mantenimiento</b>
<b>Imprimante</b>	Zinc inorgánico 3 [mm]	Zinc orgánico 3 [mm]	Aceite/Alkido 2 – 3 [mm]
<b>Capa Intermedia</b>	Epóxico 2 [mm] Imprimante de lavado de vinilo 0.3 – 0.5 [mm]	Epóxico 2 [mm] Imprimante de lavado de vinilo 0.3 – 0.5 [mm]	Aceite/Alkido 2 [mm]
<b>Capa</b>	Epóxico, vinilo o uretano 2 [mm]	Epóxico, vinilo o uretano 2 [mm]	Aceite/Alkido 2 [mm]
<b>Sistema total</b>	5.3 – 7 [mm]	5.3 – 7 [mm]	6 [mm]

**ANEXO N° 5**

**FORMATOS DE ESPECIFICACIONES DE  
PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA (WPS)**

## **ANEXO N° 6**

### **TIPOS Y USOS DEL HORMIGÓN ARMADO EN UN PUENTE COLGANTE CON ESTRUCTURA DE ACERO**

## 1. TIPOS Y USOS DEL HORMIGÓN ARMADO

Clase	Tipo de hormigón	Relación agua/cemento	Uso general
<b>A</b>	Estructura especial	0.44	Puentes
<b>B</b>	Estructural	0.58	Losas, columnas, estribos y muros
<b>C</b>	Para elementos que trabajan a tracción	0.46	Pavimentos rígidos
<b>D</b>	Para compactar con rodillo o con pavimentadora	0.36	Pavimentos
<b>E</b>	No estructural	0.65	Bordillos y contrapisos
<b>F</b>	Ciclópeo	0.70	Muros, estribos y plintos no estructurales
<b>G</b>	Relleno fluido	-	Rellenos para nivelación, zanjas y excavaciones. Bases de pavimentos

El hormigón de Cemento Portland que se utiliza en las estructuras es el Clase A, a menos que se señale otra cosa en las especificaciones respectivas.

## 2. AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN

Árido (agregado)	Tipo
<b>Árido grueso</b>	Sus partículas son retenidas por el tamiz INEN 4.75 [mm] (Nº 4)
<b>Árido fino</b>	Sus partículas atraviesan el tamiz INEN 4.75 [mm] y son retenidas por el tamiz INEN 75 [mm] (Nº 200)

Son materiales granulares que resultan de la disgregación y desgaste de las rocas o que se obtienen mediante la trituración de las mismas.

La mezcla del hormigón debe ser de 1 parte de cemento y 2 partes de arena o agregado aproximadamente.

### **3. ADITIVOS PARA EL HORMIGÓN**

Son materiales que modifican las propiedades del hormigón cuando este se encuentra en estado fresco, de fraguado y endurecido.

Según el efecto en la mezcla, se tienen los siguientes tipos de aditivos:

- Acelerante.
- Retardantes de fraguado.
- Reductores de agua.
- Reductores de agua de alto rango.
- Reductores de agua y acelerantes.
- Reductores de agua y retardantes.
- Reductores de agua de alto rango y retardantes.
- Inclusores de aire.
- Impermeabilizantes.

### **4. TORRES Y ELEMENTOS DE HORMIGÓN FUNDIDOS EN SITIO**

Por lo general las torres moldeadas en el lugar de la obra serán construidas empleando encofrado metálico, el mismo que quedará permanentemente en el sitio de la obra.

El hormigón debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Debe tener una trabajabilidad adecuada para garantizar una absoluta continuidad en su ejecución, aún si se emplean moldes recuperables.

- Debe presentar una adecuada resistencia al ataque químico del terreno circundante, para lo cual se exigirá el empleo de cemento Portland resistente a los sulfatos.
- Proteger los moldes que permanezcan enterrados y sean fijos.

## 5. **VACIADO DEL HORMIGÓN**

Las consideraciones para en vaciado del hormigón son:

- Colocar y sostener los encofrados. Estos soportes se los retira después de que el hormigón ha fraguado.
- Limpiar previamente el interior de los encofrados y eliminar toda clase de desechos.
- El vaciado solo debe hacerse en horas del día y solo con la autorización del fiscalizador se puede realizar en horas de la noche, siempre y cuando la iluminación sea la adecuada.
- El hormigón de debe colocar de manera que se obtenga una masa densa y uniforme, evitando las filtraciones.
- El hormigón debe vaciarse lo más exactamente posible en su posición definitiva.
- El hormigón no puede caer libremente más de 1.2 [m] y ser lanzado por más de 1.5 [m].
- Las capas no deberán exceder de 15 a 20 [cm] de espesor para miembros reforzados y de 45 [cm] para trabajos en masa. Cada capa se compactará antes de que la anterior haya fraguado.
- El hormigón fresco deberá ser vibrado para que el vertido sea homogéneo, el número de equipos vibradores debe ser el adecuado y deben estar dentro de la capa fresca. Las vibraciones deben tener una frecuencia mayor a 4500 impulsos por minuto.
- La temperatura del hormigón colocado en sitio no debe exceder los 29 °C, para formaciones monolíticas, no debe exceder los 24 °C.
- El hormigón debe ser depositado empezando en el centro de la luz y terminar en los extremos.

- En vigas, el hormigón será colocado en capas uniformes, horizontales y continuas a lo largo de toda su longitud.
- El fondo de las cimentaciones bajo ningún concepto debe contener agua.

## **6. CORRECCIÓN DE FISURAS SUPERFICIALES EN EL HORMIGÓN**

Para corregir estas fisuras se debe hacer lo siguiente:

- Eliminar las causas que produjeron estas fisuras.
- Eliminar todo el hormigón que este dañado.
- Limpiar la fisura con un chorro de aire a presión si es pequeña y si es grande esto se lo hace con métodos especiales.
- Antes de ser corregida la falla, el hormigón debe estar totalmente seco.
- El relleno de la fisura se lo hace con resinas epóxicas mediante inyección.
- Cuando se prevé que el elemento va ha estar sometido a deformaciones con cierta continuidad, se rellenan las fisuras con productos plásticos que permiten pequeños movimientos del hormigón sin que se rompa. La aplicación de estos productos puede hacerse en frío o caliente y son una mezcla de caucho y asfalto.
- Se puede rellenar una fisura con mortero (1 parte de cemento Portland y 2.5 partes de arena que pasa por el tamiz de 1.18 [mm]). La ligación del mortero con el hormigón se mejora con el empleo de resinas epóxicas y látex.
- Las fisuras mayores se pueden rellenar con mortero epóxico (resina y arena normalizada en proporciones de 1 a 3).

## **7. CORRECCIÓN DE HUECOS SUPERFICIALES EN EL HORMIGÓN**

Para corregir estos huecos se debe hacer lo siguiente:

- Humedecer la superficie del hueco.
- Rellenar el hueco con mortero de consistencia seca (1 parte de cemento y 2 partes de arena que pasa por el tamiz de 1.18 [mm]). Después se hace el curado del cemento y se recomienda usar cemento blanco.

## **8. ACERO DE REFUERZO**

El acero de refuerzo para el hormigón armado debe ser:

- Laminado en caliente.
- Torcido en frío

**ANEXO N° 7**

**PLANOS DEL PUENTE COLGANTE TIPO CON  
ESTRUCTURA DE ACERO**