

FUES  
1501  
C417V  
2000  
EJ-2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
INGENIERÍA CIVIL



**VULNERABILIDAD DE PUENTES EN EL SALVADOR  
APLICACIÓN CARRETERA (CA-1) SAN SALVADOR - EL AMATILLO**

PRESENTADO POR:

**GLORIA HAYDEÉ CERROS MOLINA  
CARLOS BIENVENIDO RAMÍREZ MORALES  
GUILLERMO ALBERTO TORRES GRANADOS**



PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

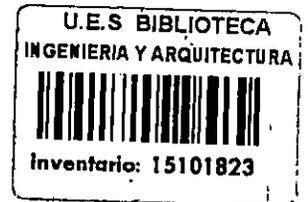
**INGENIERO CIVIL**

4944.  
15101823  
15101823

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2000

*Acordado el 12 de diciembre de 2000*

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**



RECTORA :

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :

Lcda. Lidia Margarita Muñoz Vela

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

Ing. Álvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO :

Ing. Saúl Alfonso Granados

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :

Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**VULNERABILIDAD DE PUENTES EN EL SALVADOR  
APLICACIÓN CARRETERA (CA-1) SAN SALVADOR - EL AMATILLO**

Presentado por :

**GLORIA HAYDEÉ CERROS MOLINA  
CARLOS BIENVENIDO RAMÍREZ MORALES  
GUILLERMO ALBERTO TORRES GRANADOS**

Trabajo de Graduación aprobado por :

Coordinador :

Dr. Ing. Edwin Edgardo Portillo García.

Asesor Externo:

Ing. Oscar Alfredo Díaz Cruz.

San Salvador, Diciembre de 2000

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinador :

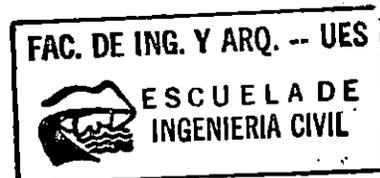


**Dr. Ing. Edwin Edgardo Portillo García**

Asesor Externo :



**Ing. Oscar Alfredo Díaz Cruz**



## AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Al Dr. Ing. Edwin Edgardo Portillo García, por su desinteresada colaboración en la conducción de este trabajo de graduación, por incentivarnos en todo momento a superarnos como personas y profesionales.

Al Ing. Oscar Alfredo Díaz Cruz, por su valiosa colaboración y tiempo brindado para la realización de este trabajo.

Al Señor Viceministro de Obras Publicas Ing. Carlos Mauricio Duque, por abrirnos las puertas del Ministerio de Obras Publicas

Al Ministerio de Obras Publicas, en especial a la Unidad de Planificación Vial, por su colaboración al proporcionar toda la información necesaria.

A la empresa Estructuristas Consultores S.A. de C.V. y a todo su personal, por su valioso apoyo y colaboración.

A la División de Información Geográfica de la Dirección General de Economía Agropecuaria (MAG), por la generación de los mapas utilizados en esta investigación.

## DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Agradezco en primer lugar a Dios, por iluminarme siempre y guiarme a lo largo de mi vida. A mi mamá Gloria de Cerros, mi primera maestra y quien me enseñó las primeras letras, a mi papá, Nomas Atilio Cerros por apoyarme siempre y en los momentos más difíciles, gracias.

A mis abuelos, Flayde de Cerros y Atilio Cerros (Q.D.D.G.) que desde pequeña me alentaron a estudiar y alcanzar mis metas; y en especial a Angelita Serrano que estuvo conmigo siempre, como una segunda madre, lamento tanto que Dios no te permitió estar unos meses mas conmigo para compartir nuestro triunfo.

A mis hermanos Nelson y Karina.

A David por su amor y apoyo incondicional, por ser mi mejor amigo y compañero, espero que estemos juntos toda la vida.

A mi bebita, Gabriela Alejandra, ese pedacito de ser que es mi razón más importante.

A mis tíos y primos por apoyarme siempre.

A mis amigos que a lo largo de los años me han apoyado y hemos compartido tantas etapas de la vida. A mis compañeros de tesis por su comprensión y porque juntos logramos nuestro objetivo.

Gloria Cerros.

A mis padres, José Concepción y María Isabel, por creer en mí y apoyar mi realización como profesional.

**BIENVENIDO**

A Dios, por darme la guía, serenidad y fortaleza para poder finalizar exitosamente esta y otras etapas en la vida.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento y respeto, a todas aquellas personas que de una u otra forma han influido en mi formación humana y profesional; principalmente a mi familia, mi papá *Guillermo Torres* por el apoyo incondicional en todo momento, pero especialmente por enseñarme que trabajar fuerte y constantemente es la base para tener éxito en la vida; mi mamá *Ermelinda Granados de Torres* por todo su amor, apoyo, consejos oportunos y un gran ejemplo de dedicación al estudio; mi hermano *Marco Antonio*, por su apoyo y comprensión, porque a pesar que es el menor, siempre ha sido un ejemplo de seriedad y dedicación; al mejor regalo que he recibido, mi hermanita *Angélica*, por su cariño, apoyo y alegría que siempre le caracteriza.

Mis abuelos, tíos y primos, en especial a mi abuelita *Maria Dolores*, tía *Angélica*, por su cariño, apoyo y mantenerse siempre pendientes de mí.

Compañeros de estudio, especialmente a los de este trabajo de graduación, por soportar mis caprichos, exigencias y malos ratos.

Como podría olvidar a mis verdaderos amigos, y amigas con quienes compartimos muchos momentos agradables y otros que no tanto, pero lo importante es que salimos adelante; entre ellos *Mario*, *Melvin*, *Bienvenido* y especialmente a *Gloria* por todo el cariño, apoyo y comprensión; también a una personita muy especial, mi ahijada y sobrinita *Ale*, que con su tierna sonrisa y pequeñas travesuras a cualquiera contagian de felicidad.

A mis maestros en todos los niveles de aprendizaje, por su esfuerzo y dedicación en formar personas útiles a la sociedad y al país.

Y a Ud. que lee este documento, gracias por tomarse el tiempo de hacerlo, espero que encuentre algo que sea de su interés y utilidad.

*Guillermo Alberto*

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I – GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Planteamiento del Problema.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.4 Alcances.....	8
1.5 Limitaciones.....	9
1.6 Justificaciones.....	10
CAPITULO II – TEORIA BASICA	
2.1 Introducción.....	12
2.2 Generalidades de puentes.....	13
2.2.1 Definiciones Básicas.....	13
2.2.2 Clasificación de los Puentes.....	14
2.3 Sistemas de Gestión de Puentes.....	16
2.3.1 Procedimiento de Inspección de Puentes.....	16
2.3.2 Registros de Inspección.....	18
2.3.3 Base de Datos.....	18
2.3.4 Valoración.....	18
2.3.5 Mantenimiento y Reparación.....	18
2.4 Vulnerabilidad de Puentes.....	18
CAPITULO III – INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE PUENTES	
3.1 Introducción.....	23
3.2 Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes (SIEP).....	24
3.2.1 Descripción del SIEP.....	24
3.2.2 Análisis del SIEP.....	25
3.3 Formatos de Inventario y Evaluación de Puentes.....	29
3.3.1 Formato de Inventario Básico de Puentes.....	30

3.3.2 Formato de Inspecciones Principales de Puentes (IPP).....	30
3.4 Enlace IPP-SIEP.....	40
3.5 Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural de Puentes.....	44
3.6 Parámetros de Evaluación de la vulnerabilidad.....	48
3.6.1 Vulnerabilidad Estructural (V).....	69
3.7 Métodos Alternativos de Evaluación de Puentes, cuando no se tienen planos ni memoria de cálculos.....	70
3.7.1 Sistemas de Identificación.....	70
3.7.2 Vulnerabilidad Proyectada.....	73

**CAPITULO IV – APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE  
PUENTES EN EL SALVADOR**

4.1 Puente Don Luis de Moscoso.....	76
4.1.1 Descripción.....	76
4.1.2 Inspección.....	76
4.1.3 Evaluación de Vulnerabilidad.....	85
4.2 Puente La Mascota.....	92
4.2.1 Descripción.....	92
4.1.3 Evaluación de Vulnerabilidad.....	92
4.3 Puente Arenal de Monserrat.....	100
4.2.1 Descripción.....	100
4.2.2 Evaluación de Vulnerabilidad.....	100
4.4 Puente Av. Cuba y 8ª y 10ª Av. Sur.....	108
4.4.1 Descripción.....	108
4.4.2 Evaluación de Vulnerabilidad.....	109
4.5 Resultado del Procedimiento de Inspecciones.....	116
4.5.1 Generalidades.....	116
4.5.2 Daños mas Frecuentes.....	117
4.5.3 Principales Causas que Originan los Daños.....	121
4.5.4 Reparaciones mas Frecuentes.....	121
4.5.5 Evaluación de Vulnerabilidad Proyectada para los puentes ubicados en la Carretera CA-1.....	122

## CAPITULO V - BASE DE DATOS VIP-UES VULNERABILIDAD E INVENTARIO DE PUENTES

5.1	Introducción.....	129
5.2	Sistema Vulnerabilidad e Inventario de Puentes (VIP-UES).....	130
5.3	Panel de Control Principal .....	130
5.3.1	Inspecciones de Puentes .....	131
5.3.1.1	Agregar Registros de Inspección .....	131
5.3.1.1.1	Formato Básico .....	132
5.3.1.1.2	Formato de Inspección Principal.....	135
5.3.1.1.3	Fotografías.....	139
5.3.1.1.4	Menú Anterior .....	140
5.3.1.2	Consultar Registros de Inspecciones .....	140
5.3.1.2.1	Consultar por ubicación .....	141
5.3.1.2.2	Consultar por mapa.....	141
5.3.1.3	Menú Principal.....	142
5.3.2	Analizar Índices de Vulnerabilidad.....	142
5.3.2.1	Ductilidad ofrecida de una columna circular .....	143
5.3.3	Análisis de Resultados .....	147
5.3.4	Salir.....	149
5.4	Requerimientos del Sistema.....	149
5.5	Solución de Problemas .....	149

## CAPITULO VI - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones .....	152
6.2	Recomendaciones.....	154

## ANEXOS

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO III

3.1 Inventario Básico de Puentes (SIEP) .....	26
3.2 Inventario Complementario de Puentes (SIEP) .....	27
3.3 Formato básico de puentes.....	31
3.4 Formato de inspecciones principal de puentes.....	33
3.5 Índice de Zona de Inundación.....	50
3.6 Carga de Tráfico .....	52
- 3.7 Factor de Clasificación de Red Vial .....	54
3.8 Índice de Norma Usada para el Diseño.....	55
3.9 Importancia de Componentes de la Estructura .....	56
3.10 Valoración de Factor de Superestructura .....	57
3.11 Valoración de Factor de Subestructura.....	58
3.12 Valoración de Condiciones de Apoyo.....	59
3.13 Deflexión Permitida.....	59
3.14 Factor de Deflexión.....	60
3.15 Factor de Longitud de Apoyo .....	62
3.16 Índice de Ductilidad.....	68
3.17 Interpretación de Índice de Vulnerabilidad .....	70
3.18 Constante para el Cálculo de $V_p$ .....	74

### CAPITULO IV

4.1 Resumen de Evaluación de Vulnerabilidad del Puente Don Luis de Moscoso.....	91
4.2 Resumen de Evaluación de Vulnerabilidad del Puente La Mascota .....	99
4.3 Resumen de Evaluación de Vulnerabilidad del Puente Arenal de Monserrat.....	107
4.4 Resumen de Evaluación de Vulnerabilidad del Puente Av. Cuba y 8ª y 10ª Av. Sur ....	115
4.5 Resumen de Evaluación de Vulnerabilidad Proyectada de Puentes en la Carretera CA-1 .....	123

### ANEXOS

- A-1.1 Códigos de Municipios	
A-2.1 Evaluación de Capa de Rodamiento	

- A-2.2 Evaluación de Juntas de Expansión
- A-2.3 Evaluación de Aparatos de Apoyo
- A-2.4 Tipo de Sistema Estructural
- A-2.5 Tipo de Condición de Apoyo
- A-2.6 Evaluación de Elementos Longitudinales de Superestructura
- A-2.7 Evaluación de Elementos de Diafragma de Superestructura
- A-2.8 Evaluación de Tablero
- A-2.9 Tipo de Sistema Estructural
- A-2.10 Evaluación de Capitel de los Estribos
- A-2.11 Evaluación de Muro Frontal y Muro Lateral de Estribos
- A-2.12 Evaluación de Pedestal de Mampostería
- A-2.13 Evaluación de Capitel de Pilas
- A-2.14 Evaluación de Fuste de Pilas
- A-2.15 Evaluación de Pedestal de Pilas
- A-2.16 Evaluación de Fundaciones
- A-2.17 Evaluación de Rampa en Accesos
- A-2.18 Evaluación de Recubrimiento en Accesos
- A-2.19 Evaluación de Terraplén en Accesos
- A-2.20 Evaluación de Aceras
- A-2.21 Evaluación de Barandas
- A-2.22 Evaluación de Drenajes
- A-2.23 Evaluación de Protecciones
- A-2.24 Evaluación de Obras de Protección
- A-2.25 Evaluación de Taludes
- A-2.26 Evaluación de Vegetación

## INDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

2.1. Esquema de componentes de un Sistema de Gestión de Puentes .....	16
---	----

### CAPÍTULO III

3.1 Diagrama de Utilización de Manual IPP .....	30
3.2 Diagrama de Condición para Enlace IPP-SIEP .....	40
3.3 Diagrama de Condición de Enlace IPP-SIEP .....	41
3.4 Excavación y Protección de Columnas Cortas .....	47
3.5 Mapa de Zonificación Sísmica y Zona de Inundación .....	51
3.6 Peso nominal de vehículos .....	53
3.7 Configuración de Superestructura .....	57
3.8 Tipos de Subestructura .....	58
3.9 Tipos de Apoyo .....	58
3.10 Parámetros de Longitud de Apoyo Mínima Permitida .....	61
3.11 Respuesta sísmica de una estructura simple .....	65
3.12 Diagrama momento-curvatura real e idealizado .....	66
3.13 Desplazamiento lateral último y al ocurrir la primera fluencia .....	67
3.14 Métodos utilizados cuando no se tienen planos ni memoria de calculo .....	72

### CAPÍTULO IV

4.1 Tipos de Puentes .....	116
4.2 Ubicación de Puentes por Zona .....	116
4.3 Ubicación de Puentes por Departamento .....	117
4.4 Frecuencia de Daños en Elementos de Concreto .....	117
4.5 Frecuencia de Daños en Elementos de Acero .....	119
4.6 Frecuencia de Daños en Elementos de Mampostería .....	119

### CAPÍTULO V

5.1 Estructura Modular del VIP-UES .....	130
5.2 Menú principal del VIP-UES .....	131

5.3 Datos de ubicación del formato básico de inspección.....	132
5.4 Segunda parte del formato básico de inspecciones.....	134
5.5 Tercera parte del formato básico de inspecciones.....	134
5.6 Datos básicos para la identificación del puente y tres primeras tablas del formato de inspección principal.....	137
5.7 Tabla de subestructura del formato de inspección principal.....	138
5.8 Formato de fotografías de puentes.....	140
5.9 Barra de desplazamiento de registros.....	141
5.10 Ventanas de consulta por mapa.....	142
5.11 Ventana para el análisis de los índices de vulnerabilidad.....	143
5.12 Flujograma para el cálculo de la ductilidad ofrecida de una columna circular.....	144
5.13 Continuación del flujograma para el cálculo de la ductilidad ofrecida de una columna circular .....	145
5.14 Continuación del flujograma para el cálculo de la ductilidad ofrecida de una columna circular .....	146
5.15 Máscara de entrada de datos para el calculo de la ductilidad ofrecida.....	147
5.16 Ejemplo de informe generado por la aplicación.....	148

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

### CAPITULO IV

4.1 Puente Don Luis de Moscoso .....	91
4.2 Puente La Mascota.....	99
4.3 Puente Arenal de Monserrat.....	107
4.4 Puente Av. Cuba y 8ª y 10ª Av. Sur.....	115
4.5 Acero de Refuerzo Expuesto en Tablero de Concreto.....	118
4.6 Agrietamiento y Perdida de Material en Elementos de Concreto .....	118
4.7 Pandeo y Corrosión en Elementos de Acero .....	119
4.8 Agrietamiento en Estribos de Mampostería .....	120
4.9 Agrietamiento y Pérdidas de Elementos de Mampostería .....	120

## INTRODUCCION

Los puentes son elementos principales de la red vial de un país. Para poder garantizar su adecuado funcionamiento, y más aún para prevenir fallamientos inesperados, es importante mantener un control periódico de su estado funcional y estructural. A este respecto, la implementación de sistemas de monitoreo y la formación de bases de datos de las inspecciones de campo ha demostrado ser una herramienta útil en otros países. Un aspecto de primordial importancia para la conservación de puentes, es poder evaluar su estado estructural a partir de las inspecciones de campo y tomando en cuenta las diversas solicitaciones a que se ve sometida la estructura.

En El Salvador, hasta la fecha no se lleva un registro sistemático del estado, tipo, ubicación y magnitud de los daños que presentan las obras de paso. Este hecho, hace difícil la implementación de cualquier sistema de administración de puentes y por supuesto la estimación temprana de medidas correctivas. La implementación de un programa de conservación de las obras de paso exige de una base de datos de inspecciones periódicas que permitan monitorear, conocer y evaluar, estas estructuras; en dicha evaluación es importante incluir los parámetros que contribuyen de manera decisiva al deterioro de éstas. El termino Vulnerabilidad se entiende generalmente asociado con la evaluación del Riesgo. El riesgo es definido como la multiplicación del factor peligrosidad con el factor de vulnerabilidad y el factor costos. Dentro de este contexto, la peligrosidad es asociada con la amenaza externa producto de las acciones del entorno, la vulnerabilidad estructural es el factor que corresponde al comportamiento propio del sistema. Por tanto su evaluación involucra la cuantificación del estado estructural y su respuesta ante la acción de un determinado nivel de carga. En el capítulo I y II del presente trabajo, se discutirán los aspectos más relevantes en un Sistema de Gestión de Puentes, generalidades de estos y de la vulnerabilidad de los mismos. En el tercer capítulo se expondrá el Sistema de Inspección y Evaluación de Puentes, que posee el Ministerio de Obras Públicas el cual tiene por objeto crear y mantener un inventario de puentes, recopilar las características geométricas, de ubicación e información sobre las condiciones actuales de los puentes; se expondrá también un procedimiento desarrollado para evaluar la vulnerabilidad de los puentes en El Salvador. Este procedimiento se basa fundamentalmente en la inspección visual de los puentes. La información de campo es complementada con cálculos estructurales para cuantificar la respuesta sísmica, haciendo énfasis en la determinación del nivel de ductilidad, deflexiones y periodos de vibración. Esta valoración es asociada a una escala de vulnerabilidad (que varía entre 1 y 10) donde 1 representa un puente que no presenta daños significativos y no es vulnerable ante los parámetros establecidos y 10 representa una estructura con el mayor grado de vulnerabilidad. La metodología es aplicada a casos particulares y sus resultados se discuten en relación a la extensión hacia otros casos

similares. Posteriormente, en el capítulo cuatro, se presentan ejemplos de aplicación en casos concretos y se efectúa una breve clasificación y discusión de las causas de los daños observados.

Para almacenar la información obtenida de las inspecciones de campo realizadas a los puentes en estudio, se presenta en el capítulo V la creación de una base de datos "Vulnerabilidad e Inventario de Puentes" en Microsoft Access, la cual recopila la información proveniente de inspecciones de campo; efectúa el cálculo de los parámetros de vulnerabilidad y presenta reportes de los resultados de la evaluación de puentes.

El capítulo final, lo constituyen las conclusiones y recomendaciones del término de la investigación.

**CAPITULO I**  
**GENERALIDADES**

## 1.1 ANTECEDENTES

Desde los años 50 y 60 a nivel mundial la población de puentes creció notablemente, pero fue a mediados de la década de los 70 que tuvo su máximo crecimiento.

Terremotos recientes como los de San Francisco en 1971, Loma Prieta en 1989, Northridge 1994 y Kobe en 1995; han demostrado que los puentes son vulnerables a daños sísmicos. Basándose en estas lecciones y a partir de estudios e investigaciones se han establecido procedimientos para determinar la vulnerabilidad estructural de éstos.

En países de avanzada tecnología y recursos financieros grandes como los Estados Unidos de América y Japón, se cuenta con un inventario nacional de puentes. Por ejemplo, en Estados Unidos, se han venido realizando desde 1970 inspecciones regulares y sistemáticas de los puentes nacionales, utilizando para este propósito hasta el año de 1990, el formato de Estándares para la Inspección de Puentes Nacionales de los Estados Unidos (NBIS). Es importante mencionar que en cada uno de estos países existen normas especializadas para estos propósitos. En 1992 se completó el desarrollo de la primera versión del Sistema para Administración de Puentes (BMS) que luego adquirió el nombre de PONTIS.

En España se tiene un sistema de inventario de puentes; este tiene por objeto el mantenimiento y conservación de puentes carreteros. Este sistema de gestión considera los siguientes aspectos: inventario, inspección, valoración de información y control.

En diversos países europeos, se han desarrollado metodologías para la evaluación estructural de puentes. Por ejemplo en España, se ha propuesto un procedimiento para la evaluación del comportamiento funcional y de la seguridad estructural de puentes de concreto reforzado y pretensado, en el cual se predetermina un índice de fiabilidad (o probabilidad de fallo) para un puente existente a través de un tratamiento estadístico de información básica, como son los datos de geometría de los elementos, propiedades mecánicas de los materiales, sobrecarga de tráfico y respuesta seccional de puentes.

Se han realizado en nuestro país, algunas investigaciones en materia de puentes, específicamente en las áreas de: construcción de puentes específicos, guías para el diseño de puentes, acción del agua sobre las estructuras, análisis de las respuestas sísmicas de los puentes, aplicación de las normas al cálculo y diseño estructural de puentes.

En noviembre de 1994, el Ministerio de Obras Públicas (M.O.P.) realizó el Inventario de Puentes y Obras de Drenaje Mayor, en el cual se observó pocos aspectos de estas estructuras, únicamente se obtuvo, el tipo de obra de paso, el nombre, su ubicación según la carretera y el estacionamiento, longitud total en metros, una calificación cualitativa del estado de la estructura y el tipo de estructura de acuerdo a los materiales empleados en su construcción. En este inventario, los puentes se encuentran agrupados por el

departamento al que pertenecen y es necesario mencionar, que no todos en la red nacional de carreteras han sido inventariados.

El mismo año se desarrolló un sistema computarizado denominado Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes (S.I.E.P.) el cual tiene por objeto crear y mantener un inventario de puentes, éste recopila las características geométricas, ubicación e información sobre las condiciones reales de los puentes, entre otros. El S.I.E.P. está elaborado en formato Microsoft Access.

Actualmente se realizan esfuerzos para inventariar los puentes de la red vial del país, logrando hasta el momento tener un inventario de los puentes que se encuentran en la carretera CA-2, con un total de 98 estructuras. La información se obtuvo en base a los formatos que utiliza el Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes (S.I.E.P.), para registrar la información. Los tipos de puentes se clasifican de acuerdo al miembro principal de la superestructura, así: 31% tipo mixto (puentes cuyo elemento principal es la viga metálica de alma llena y tablero de concreto), 33% tipo VICON (el elemento principal es la viga de concreto armado), 19% tipo losa (el elemento principal es la losa de concreto y al mismo tiempo sirve de tablero), 4% tipo VIPRES (el elemento principal es la viga de concreto preesforzado); 7% tipo CERCHA (son puentes cuyo elemento principal es una estructura metálica reticular), 6% tipo compuesto (puentes que presentan combinaciones de diferentes tipos de estructuras). Con número de vanos que varían desde 1 hasta 5, con porcentajes respectivos de 50%, 26%, 18%, 2% y 3%, también se presenta un solo puente con ocho vanos. Se encontró que el 55% de los puentes posee una longitud total menor de 25 m, el 42% se ubica entre 25 m y 100 m, y solamente un 3% supera los 100 m.

El S.I.E.P. prioriza los puentes basándose en sus condiciones reales, esta priorización se consigue obteniendo un índice de prioridad (IP). Una característica importante de mencionar, es que el S.I.E.P. se alimenta únicamente de información proveniente de inspecciones visuales y calificaciones cualitativas de los aspectos que se observan en los puentes; con esta información el S.I.E.P. es capaz de realizar la priorización de ellos; este sistema no incorpora datos de análisis estructural para los puentes inventariados.

En el M.O.P. no se cuenta con los planos constructivos ni memoria de cálculo de la mayoría de los puentes existentes. Muchos de los puentes actuales tienen más de treinta años de construido, por lo que seguramente han experimentado al menos un evento sísmico de considerable tamaño. Es de esperar que éstos hayan experimentado cierto nivel de deterioro estructural, por tanto, la evaluación y establecimiento de la vulnerabilidad de los puentes es de vital importancia.

Por la poca investigación que se ha realizado en el área de puentes en nuestro país, aún no se cuenta con una normativa particular para el diseño y evaluación de puentes, ni para su mantenimiento y rehabilitación.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchos países del mundo, como los Estados Unidos, Japón, España, Nueva Zelanda entre otros, se han implementado y se están implementando programas o Sistemas de Administración de Puentes, basados en la evaluación de puentes existentes, para lo cual se desarrollan metodologías de inspecciones periódicas, programadas sistemáticamente en conjunto con una evaluación del puente, a través de métodos de análisis estructural; en la mayoría de los casos utilizando como herramienta programas de computadoras elaborados para dicho propósito.

El Salvador, está expuesto a muchos fenómenos atmosféricos y climatológicos, además de que aproximadamente, la mitad de nuestro territorio está expuesto a un alto riesgo sísmico. La zona sísmica que corre paralelo a las costas de nuestro país es una de las más activas del mundo, resultando que con frecuencia se sufren efectos destructivos de temblores de intensidades elevadas. Es de esperar que estos fenómenos sean frecuentes en nuestro país. Aún con los avances tecnológicos que la ciencia ha logrado hasta ahora, no es posible predecir cuando ocurrirá un fenómeno natural de gran tamaño, ejemplo de esto es el terremoto de Octubre de 1986 y el huracán Mitch, fenómenos naturales más recientes y significativos que sirvieron para poner de manifiesto la vulnerabilidad de las estructuras de nuestro país. Después de ocurrir estos fenómenos, se requiere la participación de ingenieros, arquitectos y técnicos, en la realización de evaluaciones sobre la seguridad de las estructuras.

Desde esta perspectiva, la necesidad de programas nacionales de conservación de puentes es evidente. En este contexto, conocer la vulnerabilidad de los puentes, como los factores que inciden en ella, y el nivel de daño que la estructura sufrirá; conducirá a definir prioridades de mantenimiento, rehabilitación y/o sustitución, considerando el estado estructural de éstos. La inspección, documentación, evaluación estructural e inventariado del estado estructural de los puentes, es la base fundamental para impulsar dichos programas. Entendiendo por inspección un conjunto de actividades técnicas, realizadas en forma sistemática, que facilitan la obtención de datos necesarios, para conocer o determinar en un instante dado el estado estructural de un puente.

Es importante, desarrollar un procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad estructural de puentes, el cual permitirá establecer su factibilidad de mantenimiento, rehabilitación y/o sustitución.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de puentes en El Salvador.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer una escala que represente el nivel de vulnerabilidad estructural de los puentes carreteros en El Salvador.
- Realizar propuestas para la implementación de inspecciones sistemáticas de puentes en El Salvador.
- Aplicar el procedimiento a casos particulares.
- Incorporar la información necesaria, para calcular los índices de vulnerabilidad, al Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes (S.I.E.P.) que el MOP ha implementado.
- Definir áreas de investigación futuras.

#### **1.4 ALCANCES**

El procedimiento de inspección se aplicará a los puentes ubicados en el tramo de la Carretera Panamericana (CA-1). Sin embargo la aplicación de la metodología de evaluación de vulnerabilidad, se ejemplificará sobre los puentes que cuenten con planos constructivos y/o memorias de cálculo.

Para aquellos puentes que no posean planos estructurales y/o memorias de cálculo se propondrá una forma especial de evaluación estructural utilizando sistemas de identificación.

Para determinar el estado estructural en los puentes carreteros, será necesario realizar inspecciones a cada uno de los puentes comprendidos en el tramo de carretera en estudio, siguiendo un procedimiento sistemático previamente establecido.

En este trabajo la vulnerabilidad estructural se determinará por medio de índices, éstos representan características propias de la estructura. Dichas características se determinarán de las inspecciones y de un análisis estructural dinámico no lineal.

Con la información recolectada de las inspecciones de campo sobre los puentes en estudio, se creará un Banco de Datos, que contenga la información necesaria para la evaluación estructural de éstos. La finalidad de este banco de datos es llevar un registro de las diferentes inspecciones realizadas y poder generar una hoja de vida de cada puente, a partir de lo anterior se puede realizar una planificación adecuada de los presupuestos de obras públicas, para la conservación y rehabilitación de puentes, que lo necesiten, basándose en criterios de importancia, ubicación, grado de vulnerabilidad, entre otros; los cuales estarán registrados en el banco de datos. Para la creación de este banco de datos se tomará como base el Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes (S.I.E.P.) propiedad del Ministerio de Obras Públicas.

## 1.5 LIMITACIONES

- El desarrollo de la investigación se basará en la aplicación de las normas de la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (AASHTO).
- No se realizará estudios hidrológicos de las cuencas donde se localicen los puentes a considerar en la investigación.
- No se realizará estudio de suelos.

## 1.6 JUSTIFICACIONES

Las redes de comunicación vial forman parte de los patrimonios más importantes con que cuenta un país y dentro de éstas, los puentes son considerados como componentes vitales e imprescindibles, para cuya construcción se debe invertir grandes recursos, es necesario preservar estas estructuras, no solo por el valor económico, sino por las repercusiones que se derivan de su mal funcionamiento o de su fallamiento total o parcial.

La falta de información que se tiene acerca de los puentes de nuestro país, el desconocimiento del estado estructural actual de éstos, así como su posible comportamiento estructural ante fuerzas o fenómenos que no fueron contemplados en su diseño, tales como sismos de gran intensidad y fenómenos climatológicos, hace necesario efectuar un análisis de la vulnerabilidad que poseen. La investigación proporcionará los datos estructurales, que podrán ser utilizados como base en el desarrollo de un sistema de gestión integral de puentes, para lo cual habrá que realizar investigaciones futuras en otras áreas, relacionadas con puentes.

El Salvador se encuentra localizado en una zona de alto riesgo sísmico, como consecuencia los puentes se ven amenazados constantemente por movimientos sísmicos.

De acuerdo a la información recopilada por el M.O.P., se tiene que la mayoría de los puentes fueron construidos hace más de cuarenta años, por lo que es de esperar que hallan sufrido al menos un evento sísmico de mediana intensidad. Se observa entonces la necesidad de realizar un estudio del nivel de daños que presentan éstos.

Nuestro país no cuenta con un sistema de administración de puentes que considere el estado estructural de ellos, por lo que el establecimiento de una metodología de evaluación de vulnerabilidad será un aporte importante para la administración de puentes en nuestro país.

Con la realización de un estudio a los puentes carreteros de El Salvador, en el cual se incluya un análisis estructural, su conformación geométrica, su importancia de acuerdo a la carretera donde se localice, las cargas de servicio para las que fue diseñado y las de funcionamiento; es posible determinar el grado de vulnerabilidad.

**CAPITULO II**  
**TEORIA BASICA**

## 2.1 INTRODUCCIÓN

La función más primitiva de un puente es la de salvar un obstáculo que se encontrara en el paso de un camino. Así, los puentes más antiguos, probablemente, fueron troncos de árboles derribados que permitían el paso de un lado a otro de un arroyo, río o abismo. Considerando que estos permitían solamente el paso de personas, tales estructuras eran simples pasarelas que funcionaban como vigas y que posteriormente, dieron origen a los puentes de madera.

Se conoce, que pueblos primitivos construyeron pasarelas colgantes, fabricadas con cuerdas y bejucos con las que podían pasar a través de mayores claros; éste puente dio origen al puente colgante. Otro tipo de construcción de los antiguos puentes era en voladizo, el cual se utilizaba cuando era imposible la construcción de apoyos intermedios, y además, la longitud de los troncos era menor que la longitud del tramo que se quería cruzar; entonces se partía desde ambos extremos en voladizo, hasta lograr que la distancia entre ambos se pudiera salvar con un solo tronco. Los romanos impregnaban la madera de construcción con aceites y resinas. También sabían distinguir calidades según la finalidad de aplicación y, especialmente elegir maderas de duración particularmente elevadas, para las fundaciones con pilotes.

Los romanos utilizaron puentes de arco, los cuales fueron hechos de madera apoyados en pilas de piedra o de ladrillo, lo que dio origen a la mampostería; posteriormente, todo el puente fue hecho de este material. Al estudiar la historia de los puentes, se observa puentes de vigas de piedra natural desde tiempos muy antiguos. Luego, con los conocimientos alcanzados en materiales de construcción, así como en el análisis estructural, surgieron los puentes metálicos a fines del siglo XVIII que presentaba muchas ventajas técnicas, como disminución de peso de la construcción, debido al aprovechamiento del material, claros mayores, construcción más rápida y montaje más sencillo.

El uso del concreto y concreto armado siguieron al acero unos 50 años más tarde, hacia fines del siglo XIX. La estructura de estos se concebía a imitación de los puentes de piedra.

Se conoce que desde la antigüedad ya existían esfuerzos orientados a que éstas estructuras fuesen más resistentes antes fenómenos naturales, tales como sismos e inundaciones. Los procesos constructivos y materiales fueron evolucionando hasta obtener estructuras más fuertes y duraderas. En la actualidad esto ha tomado una atención especial, mejorando métodos de análisis estructurales para su diseño y evaluación; para ello se utilizan programas computacionales en los cuales se analizan y priorizan dichas estructuras con el propósito de conocer el estado actual de cada uno de estos puentes.

Recientemente el terremoto de Loma Prieta en octubre de 1989, dieciocho años después del terremoto de San Fernando, evidenció la vulnerabilidad de los puentes ante sismos de cierta consideración. Algunos años más tarde, los sismos de Northridge en enero de 1994 y el Hyogoken Nambu en Kobe en enero de

1995 despertaron la alerta mundial acerca del diseño sísmico de puentes. En pocos años se ha realizado una amplia investigación en materia del diseño sísmico, así como en el área de evaluación de puentes.

En nuestro país se estima que gran cantidad de los puentes actuales fueron construidos hace más de cuarenta años. Dichos puentes, se diseñaron y construyeron con calidades de materiales diferentes a las actuales, modelos de carga de tráfico insuficientes para los requerimientos actuales, distintos coeficientes de seguridad, en suma, normativas de diseño y evaluación distintas a las actuales. Lo anterior evidencia la necesidad de una metodología de evaluación de la vulnerabilidad de puentes, que sea parte de un Sistema de Gestión de Puentes.

En este capítulo se exponen los conceptos y definiciones introductorios, necesarios para el entendimiento del procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad de puentes, tales como: el puente, sus elementos, clasificación; Sistema de Gestión de Puentes; Vulnerabilidad, factores que la definen y su incidencia en la salud del puente.

## **2.2 GENERALIDADES DE PUENTES**

### **2.2.1 DEFINICIONES BASICAS**

Un puente es una obra construida con el propósito de salvar un claro.

Un viaducto es un puente que cruza a gran altura una brecha, o que se compone de mas de un vano.

Claro, es la distancia entre dos puntos de apoyo consecutivos.

En general los puentes constan de los siguientes elementos básicos:

- a) Superestructura
- b) Aparatos de apoyo.
- c) Subestructura
- d) Cimentaciones y Obras de Protección.

Los primeros reciben, y a su vez transmiten a los segundos y terceros, las cargas a que se ve sometido un puente en su vida útil, para que estos los distribuyan a través de las cimentaciones hacia el suelo donde se asienta la obra.

*Superestructura:*

**Barandal :** es la estructura ubicada generalmente en los bordes de la cubierta de un puente, cuya función principal es proteger a vehículos y/o peatones.

**Capa de rodamiento:** es la capa superficial del puente que absorbe el desgaste producido por automóviles y peatones, y que a la vez protege al tablero. Puede ser de asfalto, concreto.

**Tablero:** es la parte horizontal, del puente, que recibe directamente las cargas de tráfico.

**Vigas longitudinales:** son vigas que se encargan de transmitir las cargas de la superestructura a la subestructura y que siguen la dirección del tráfico del puente.

**Diafragmas:** son los elementos transversales que unen a las vigas longitudinales entre sí y que contribuyen a rigidizar la superestructura, de manera tal, que ésta trabaja como un todo y controlan el pandeo lateral de las vigas longitudinales (principalmente vigas esbeltas o de acero)

**Aparatos de apoyo:**

Es el elemento que se coloca entre los elementos principales ( vigas) y la superficie sobre la que se apoyan.

**Subestructura:**

**Estribos :** son los soportes de la superestructura que se encuentran en los extremos y que, generalmente, tienen la función adicional de actuar como muros de retención.

**Pilas :** son los soportes intermedios de la superestructura de un puente, cuando éste posee mas de un claro.

**Cimentaciones y Obras de Protección:**

Las obras de protección, pueden ser taludes, muros, emplantillados, que protegen de la erosión y de impactos.

## 2.2.2 CLASIFICACION DE LOS PUENTES.

Existe una gran variedad de clasificaciones de puentes, en función de determinadas categorías y/o características. Estos pueden clasificarse de la siguiente forma:

- a) Según la naturaleza de la vía soportada. Se tienen puentes de ferrocarril, de carreteras, pasos acueductos y los puentes canal.
- b) Según el tipo de tablero. Los puentes pueden ser fijos o móviles.  
Los puentes móviles son aquellos que deben permitir el paso por la vía que atraviesan.
- c) Según el material principal constitutivo. Pueden ser de madera, fundición, de mampostería, de hierro, de acero, de concreto armado o de concreto preesforzado, según la naturaleza del material constitutivo de los elementos portantes principales.
- d) En función de la distribución de los tramos. Simples, independientes, continuos y en voladizo.
- e) Según su geometría en planta. Pueden ser curvos, esviajados o rectos con respecto al eje longitudinal de la carretera. Se define al ángulo de esviaje como el valor en grados del ángulo formado por el eje longitudinal de la obra y las líneas de apoyo transversales.

- f) Según su funcionamiento mecánico. Se clasifican en tres grandes categorías, según la disposición de sus elementos portantes principales:
1. Puentes de vigas. Vigas cajón, losas, etc.
  2. Puentes de arco.
  3. Puentes colgantes.
- g) Según su posición respecto a la vía considerada. Se clasifican en pasos superiores y pasos inferiores dependiendo de si están situados por encima o por debajo de la vía de comunicación existente.
- h) De acuerdo al tiempo de vida previsto. Pueden dividirse en definitivos o provisionales.

En nuestro país, el Ministerio de Obras Públicas, tiene la siguiente clasificación de los tipos de puentes, que será la que utilizaremos en el desarrollo del presente trabajo.

VICON	Puente cuyo elemento principal es la viga de concreto armado.
VIPRES	Puente cuyo elemento principal es la viga de concreto preesforzado.
BOVEDA	Son puentes construidos en forma de bóveda, pueden ser de concreto o mampostería como ladrillos, piedra u otro material, se debe especificar el elemento predominante del cual esté fabricado.
SUPER-SPAN	Son puentes tipo bóveda cuya estructura es una lámina metálica y sobre la cual se construye un relleno.
CAJA	Son puentes tipo cajón cuya estructura es una figura geométrica rectangular cerrada y hecha en la mayoría de casos de concreto.
ARCO	Son puentes cuyo elemento principal es un arco que sirve de sustentación a los otros elementos.
CERCHA	Son puentes cuyo elemento principal es una estructura metálica reticular.
COLGANTE	Son puentes cuyos elementos principales son los cables a los cuales se sujetan otros elementos.
MADERA	Son puentes cuyo elemento principal es la viga de madera.
MIXTO	Son puentes cuyo elemento principal es la viga metálica de alma llena y tablero de concreto.
LOSA	Son puentes cuyo elemento principal es la losa de concreto y sirve de tablero al mismo tiempo.
VICAJON	Son puentes cuyo elemento principal es la viga cajón.
BAILEY	Son puentes modulares prefabricados

### 2.3 SISTEMAS DE GESTION DE PUENTES

Un Sistema de Gestión de Puentes es un conjunto de actividades orientadas a la administración, planificación y una política de mantenimiento y rehabilitación de las estructuras de puentes, basándose en información obtenida a través de inspecciones sistemáticas, minuciosamente programadas, realizadas periódicamente, la cual es almacenada en un banco de datos. Esta información refleja las condiciones funcionales y estructurales en base a las cuales se determina la prioridad de reparación o reemplazo del puente y las asignaciones presupuestarias para estos fines.

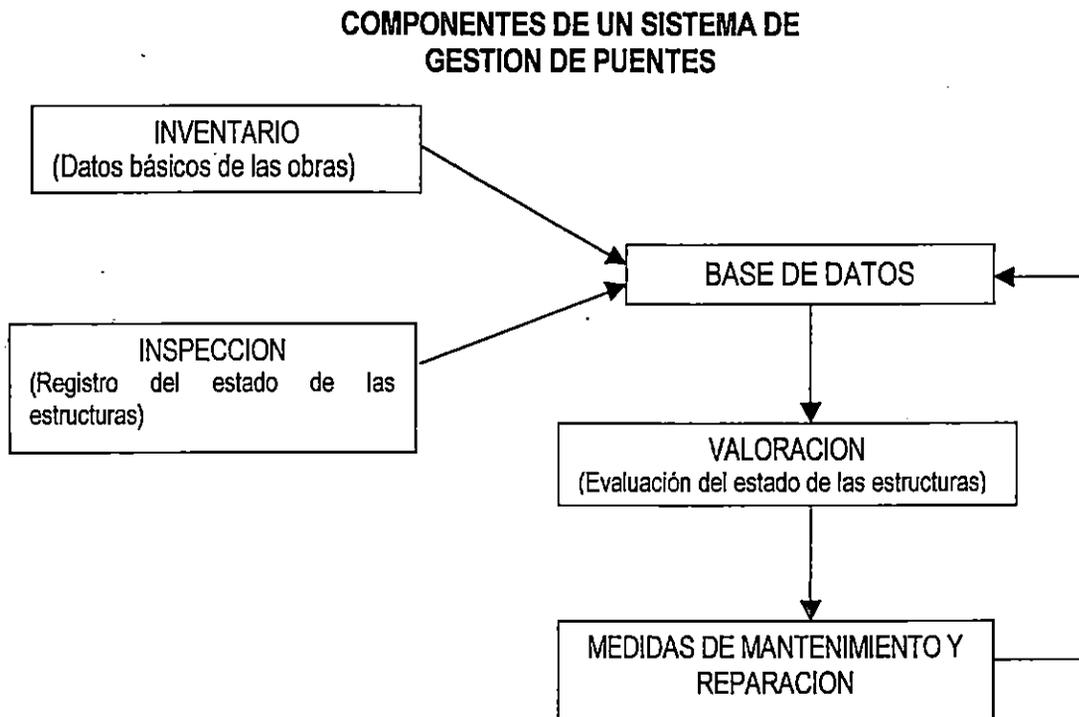


Figura 2.1 Esquema de componentes de un Sistema de Gestión de Puentes

#### 2.3.1 PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE PUENTES

Una inspección de puentes es un conjunto de actividades técnicas, realizadas en forma sistemática, que facilitan los datos necesarios para conocer o determinar en un instante dado el estado de un puente.

En general se pueden definir tres tipos de inspecciones según la profundidad con que se realicen.

##### 1. INSPECCIONES RUTINARIAS.

Estas son inspecciones generales amplias, realizadas rápidamente y frecuentemente por ingenieros que realizan el mantenimiento de los puentes, aunque no necesariamente con una especialización o

conocimiento sobresaliente en el diseño de detalles o problemas especiales de construcción de algún puente en particular. Su objetivo es detectar lo antes posible, todos aquellos daños que de no ser corregidos oportunamente, provocarían problemas estructurales o funcionales. Estas son realizadas con la misma frecuencia con que se efectúan los trabajos de mantenimiento de la red vial.

## 2. *INSPECCIONES DETALLADAS.*

Este tipo de inspecciones son de dos categorías: general y principal, definidas por la frecuencia e intensidad de inspección, respectivamente.

*Inspección General:* debe ser realizada en intervalos de un año, y estas deben cubrir todos los elementos de la estructura. Principalmente es una inspección visual realizada con la ayuda de instrumentos estándar. Los resultados de esta inspección deben ser presentados en un reporte.

*Inspección Principal:* deben ser mucho más intensivas y requiere un examen detallado de todos los elementos del puente. Son, fundamentalmente, inspecciones visuales, sin utilización de aparatos especiales.

Se realiza por personal especializado, bajo la supervisión de un ingeniero.

El intervalo entre dos inspecciones principales, se recomienda que sea entre dos y tres años, período que podría ser mayor o menor, en función de la existencia de anomalías detectadas en inspecciones precedentes.

Este tipo de inspecciones es siempre objeto de un informe escrito con ayuda de fichas-tipo (formatos de inspección), para dejar constancia del estado del puente.

La primera inspección principal deberá efectuarse antes de la puesta en servicio del puente. La importancia de esta inspección se deriva de que sirve como estado de referencia o "punto cero" para todas las inspecciones periódicas que se realizarán a lo largo de la vida del puente.

## 3. *INSPECCIONES ESPECIALES.*

Se efectúan como consecuencia de situaciones singulares tales como, aparición de fisuras o deformaciones importantes, paso de transportes especiales, después de un sismo, un incendio o una crecida excepcional, o como resultado de una decisión tomada del análisis del informe de una inspección detallada. Este tipo de inspección no tiene carácter de sistemático o periódico, porque no corresponde a una estrategia estudiada con anterioridad.

La realización de una inspección principal, aparte de una pre inspección visual de todos los elementos del puente, supone llevar a cabo un número de ensayos complementarios que requieren la utilización de técnicas y equipos especiales. Ello implica, necesariamente, la presencia de técnicos especialistas de diferentes campos.

### 2.3.2 REGISTROS DE INSPECCION

Un registro de inspección puentes debe contener la historia completa de la estructura, incluyendo los daños sufridos y todos los reforzamientos y reparaciones efectuados en el puente. Este registro también debe proveer información sobre la capacidad real de la estructura, incluyendo la memoria de cálculo.

La información sobre cada puente puede ser dividida en tres categorías:

1. Datos básicos, que normalmente no están sujetos a variación
2. Datos que son actualizados periódicamente mediante inspecciones de campo
3. Datos que son obtenidos de los datos básicos y de las inspecciones de campo.

Formatos de Inspección:

Los formatos son la herramienta principal para alimentar la base de datos.

La implementación de los formatos de inspección, tienen como propósito establecer un estándar en el proceso de recolección de datos, además de proporcionar uniformidad en los procedimientos para determinar la condición física, mantenimiento necesario y capacidad de carga de los puentes carreteros en El Salvador.

### 2.3.3 BASE DE DATOS

Es un sistema donde se recopila la información que se posee de una estructura, proveniente de memorias de calculo, planos, especificaciones técnicas, inspecciones e inventarios, informes de reparación y mantenimiento; con la finalidad de poseer una hoja de vida de la estructura.

### 2.3.4 VALORACION

Con el análisis y cuantificación de la información que se posee de la estructura, se procede a la determinación de las soluciones y planificación de trabajos de mantenimiento y reparación necesarios tomando como base los daños y características de cada estructura en particular.

### 2.3.5 MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

Es la implementación de las medidas correctivas determinadas en el proceso de valoración de los daños.

## 2.4 VULNERABILIDAD DE PUENTES

Un aspecto importante para la conservación de puentes, es poder evaluar su estado estructural a partir de las inspecciones de campo y tomando en cuenta las diversas solicitaciones a que se ve sometida la estructura. Es evidente que no todas las estructuras responden igual ante las mismas condiciones de carga. Su respuesta y eventualmente los daños que experimentan, están condicionados tanto por las condiciones externas como por sus características estructurales particulares. El término Vulnerabilidad se

entiende generalmente asociado con la evaluación de Riesgo. En el caso de Riesgo Sísmico, este es definido como la multiplicación del factor Peligrosidad con el factor de Vulnerabilidad y el factor de Costos.

$$\text{Riesgo} = \text{Peligrosidad} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Costo}$$

Donde la Peligrosidad está asociada con la amenaza externa, producto de las condiciones del entorno y la Vulnerabilidad estructural es el factor que corresponde al comportamiento propio del sistema. Por tanto su evaluación involucra la cuantificación del estado estructural y su respuesta ante la acción de un determinado nivel de carga. Entre los factores que inciden en la Vulnerabilidad estructural se encuentra la resistencia, la durabilidad (asociada con la calidad), la ductilidad y los aspectos funcionales, tales como la geometría, accesos y drenajes, por lo que éstos pueden mejorar o agravar su comportamiento estructural, por deterioro o inducción de un incremento en las cargas. La reducción de la vulnerabilidad estructural puede lograrse en casos concretos de puentes existentes, mediante la incorporación de reforzamientos o mejoras funcionales. Así mismo, en el ámbito institucional la actualización de reglamentos de diseño y construcción pueden incidir positivamente en la disminución de la Vulnerabilidad en obras futuras. Para tal efecto el conocimiento de los daños frecuentes se la vuelve un factor de especial importancia.

*Vulnerabilidad* es una medida de la potencialidad a sufrir deterioro o daño ante la acción de un determinado tipo y nivel de carga en función de las propiedades estructurales del sistema. El daño por tanto puede ser total, cuando un sistema colapsa ante la acción de procesos que exceden su capacidad. Se divide la vulnerabilidad en tres áreas, en base a los factores que inciden en ella.

*Vulnerabilidad física:* es la potencialidad a sufrir deterioro o daño ante los procesos físicos. El daño puede ser total, cuando un sistema colapsa ante la acción de procesos que exceden su capacidad de resistencia. Otros factores que determinan la vulnerabilidad física, además de la resistencia, son la durabilidad, la rigidez, ductilidad, etc.

La vulnerabilidad es, en gran medida, el resultado de los estándares de diseño y construcción empleados, del mantenimiento preventivo que se dé a las estructuras, etc.

*Vulnerabilidad Funcional:* esta depende no solamente de la vulnerabilidad física, sino también de otros factores y propiedades de un sistema, considerado, en conjunto como una red de componentes. La vulnerabilidad física y funcional puede ser reducida utilizando medidas estructurales, estas medidas incluyen readecuación, reubicación y/o construcción de nueva infraestructura.

*Vulnerabilidad Institucional:* se basa en un análisis de fortalezas y debilidades con referencia a estándares operacionales mínimos necesarios para responder a las demandas que crean los eventos potencialmente desastrosos.

La reducción de esta vulnerabilidad se logra con medidas como la revisión y actualización de códigos y reglamentos de diseño y construcción, así como la preparación de planes de contingencia.

En nuestro país, la alta sismicidad es un factor determinante en el incremento de la vulnerabilidad de las estructuras; un ejemplo de elevados daños ocasionados por un terremoto mediano a pequeño, fue el caso del sismo de San Salvador del 10 de octubre de 1986.

Definiéndose Riesgo Sísmico como la probabilidad de una pérdida (humana, económica, etc.) causada por un sismo durante un tiempo definido. Esta probabilidad de pérdida depende de dos factores: la peligrosidad sísmica como factor natural y la vulnerabilidad que refleja las características de la intervención humana. La probabilidad de que ocurran movimientos sísmicos en una zona determinada, refleja características de la naturaleza que no pueden ser modificadas. En cambio, la vulnerabilidad o capacidad de resistencia de las estructuras expuestas a estos movimientos, como factor que refleja la intervención humana, sí puede ser modificada. Es una práctica común definir la peligrosidad sísmica como la aceleración del terreno con una probabilidad del 90% de no ser excedida durante un periodo de 50 años, que corresponden a la vida útil de una estructura normal

El Salvador posee dos fuentes principales de actividad sísmica, sismos locales de la cadena volcánica y la fosa de subducción del Océano Pacífico, que corre paralela a las costas del Pacífico de Centro América a una distancia aproximada de 50 Km. Los terremotos de la cadena volcánica no alcanzan magnitudes de 6.5 en la escala de Richter, pero son la principal fuente de destrucción en El Salvador. Los intervalos entre los sismos locales destructores de la cadena volcánica han variado entre los dos a cincuenta años, con un promedio de 30 años. Es de esperar que una estructura sufra al menos un evento sísmico durante su vida útil. Los sismos generados en la fosa de subducción pueden alcanzar magnitudes de hasta 8.0 en la escala de Richter., éstos terremotos aunque sacuden un área muy amplia, no alcanzan niveles altos de intensidad en el territorio, debido a la lejanía de la fuente de liberación de energía sísmica. No obstante, una amenaza asociada a los terremotos de la fosa de subducción son los maremotos que ocurren cuando la ruptura de una falla en el suelo oceánico llega a la superficie del lecho marino, desplazando súbitamente una gran cantidad de agua, afectando poblaciones y/o estructuras cercanas a la costa.

En este contexto, al realizarse investigaciones después de un evento sísmico; en países de alta sismicidad y que poseen Sistemas de Gestión de Puentes, por ejemplo en Kobe, se presentó el atenuante de que muchos de los puentes dañados habían sido identificados en inspecciones previas como estructuras potenciales a sufrir daños o colapsar, algunos de ellos se encontraban en lista aguardando recursos para su refuerzo o rehabilitación. Otros fueron diseñados con reglamentos caducos y otros presentaban problemas adicionales. Por ejemplo en el caso de la vía Hanshin en Kobe el colapso pudo

deberse a una conjunción de factores que van no sólo desde la falla del traslape de fusión o soldadura en el armado longitudinal, sino a problemas de microagrietamiento por fallas de control de calidad en el colado de columnas tan masivas a finales de la década de los sesentas y deterioro por reacciones alcalinas en el concreto mal reparadas, a su rigidez, a su porcentaje tan bajo de armado, a la insuficiencia de refuerzo transversal, etc. aunque probablemente la razón principal por la que sufrió tantos daños, fue debido a su construcción antes del desarrollo de reglamentos y detalles sismorresistentes y por tanto no estaban preparados para soportar las cargas que le impuso el terremoto, siendo extremadamente vulnerable a sismos. En Northridge los daños fueron bien identificados y como conclusiones los efectos no fueron sorprendidos a la luz del conocimiento de la época en que sucedió el sismo. En éste sismo, muchos de los colapsos de los puentes fueron asociados con el bajo o mal desempeño de columnas críticas a cortante, apoyos de asientos cortos, problemas identificados en sismos previos. Este sismo demostró la vulnerabilidad potencial de infraestructura diseñada y construida en la década de los setenta pero reforzó el progreso evidente en la práctica del diseño en puentes modernos o reforzados. Se descubrió que los reglamentos pasados y actuales no representaban una distribución adecuada de las fuerzas sísmicas en puentes largos o de multimarcos, que el choque en juntas articuladas pueden incrementar significativamente las fuerzas y las demandas inelásticas en, marcos muy rígidos que no se consideraban en los métodos de análisis de esos años. Como en otros tipos de construcción, se dieron casos en que los cambios estructurales ocurridos durante la construcción y el mantenimiento invalidaban supuestos de diseño que no se revisaron. Es importante verificar las condiciones de la construcción final con los supuestos de diseño y no sólo en planos. El daño mayor en puentes multicolumnas indicaron que la fiabilidad asociada con la redundancia no es suficiente para evitar el colapso. Hubo daños a estribos y accesos de acercamiento, a puentes esviajados y a puentes curvos. Los daños más aparatosos ocurrieron en rotulaciones plásticas en columnas que fallaron a cortante antes y después de haber desarrollado demandas inelásticas significativas. La mayoría por un inadecuado uso del refuerzo transversal, aunque algunas fallas en las partes superiores de las columnas bien armadas pueden atribuirse a una rigidez relativamente mayor, a una reducción de la calidad del concreto en la parte de arriba, a las deformaciones y rotaciones ocasionadas por falla de otras columnas o por degradación a cortante de la sección. Durante el sismo de Kobe otras estructuras sufrieron daños, por ejemplo, en la vía de Harbor donde se presentaron problemas por licuación, movimiento excesivo de la subestructura, de pilas y columnas y en juntas de expansión.

Debido a lo anterior es evidente la necesidad de implementar un sistema de inventario y evaluación de la vulnerabilidad de puentes en El Salvador.

## **CAPITULO III**

# **INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE PUENTES**

### 3.1 INTRODUCCION

En El Salvador el Ministerio de Obras Públicas es la institución gubernamental, encargada de planificar la construcción, mantenimiento y reparación de la infraestructura vial. Por lo que para el M.O.P. se hace necesario disponer de información de cada una de estas obras.

En 1994, se creó para este propósito el Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes (SIEP), en el cual, se mantiene un registro de las condiciones generales de cada puente en particular, como también la información referente al estado de la estructura, la que es almacenada en el Inventario Básico de Puentes (IBP) y el Inventario Complementario de Puentes(ICP), respectivamente. Dicha información es obtenida utilizando procedimientos de inspecciones de campo, por lo que se utilizan formatos de inspección diseñados para este propósito.

En el procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad de puentes en El Salvador, es necesario determinar el estado estructural de un puente, por medio de una metodología de inspecciones, en las que se realice una evaluación detallada y minuciosa, elemento por elemento; para lo cual se hace imprescindible, diseñar formatos de inspección que cumplan con dicho objetivo.

Con la finalidad de proporcionar al Ministerio de Obras Públicas, un procedimiento que le permita evaluar los puentes, de una forma más detallada y precisa, se plantea en este trabajo la incorporación de los resultados obtenidos de las inspecciones de campo, utilizando el Formato de Inspecciones Principales de Puentes (IPP) desarrollado en el contexto de este trabajo de graduación, al Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes; acoplado dicho formato de tal manera que sea funcional, sin alterar el sistema de priorización, con que el SIEP trabaja.

En este capítulo se plantea una metodología de evaluación de la vulnerabilidad de puentes, la cual considera características particulares de la estructura, tales como ubicación, norma de diseño, periodo de vibración, ductilidad, factores funcionales y otros, estos factores contribuyen en la determinación del valor de vulnerabilidad de la estructura, asociado a una escala que representa el nivel de daño que ella posee. Además un procedimiento de inspección principal de puentes, que tiene por objeto establecer el nivel de daño actual de la estructura y proporcionar información para la evaluación de otros parámetros que inciden en la vulnerabilidad. Se incluyen los formatos de inspección de campo. Se define una escala de vulnerabilidad que será utilizada en el proceso de priorización. Finalmente, se presentan métodos de evaluación de puentes alternativos, cuando no se tengan planos ni memoria de cálculos, siendo estos los Sistemas de Identificación y la Vulnerabilidad Proyectada.

## 3.2 SISTEMA DE INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE PUENTES (SIEP)

### 3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL SIEP

El Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes (SIEP), está constituido por el Inventario Básico de Puentes (IBP), el Inventario Complementario de Puentes (ICP) y una sección para la estimación de costos de mantenimiento.

El Inventario Básico de Puentes, crea un registro básico con los datos y características generales del puente, los cuales no sufrirán cambios con el paso del tiempo, a menos que sea alterada su configuración geométrica. En este formato se recolecta información necesaria para crear el código de cada puente, dicho código proporciona información referente al propietario, zona del país, departamento, tipo de red vial, tramo de carretera y estacionamiento donde se encuentra ubicado este. Se obtiene además la geometría básica del puente, tipo, número de vanos, nombre del río que atraviesa, material constitutivo de los elementos del puente, año de construcción, proyectista e información referente a la existencia o inexistencia de estudios

El IBP es concebido para realizarse una sola vez, como paso previo para la ejecución del Inventario Complementario de Puentes, pero deberá ser actualizado si alguno de los datos y/o características, sufre alguna modificación.

El ICP recoge información del estado actual del puente, evaluando los daños que presente la estructura, además de otros factores funcionales que inciden en el incremento de dichos daños.

El Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes, realiza una priorización de los puentes de acuerdo a las condiciones en que se encuentran éstos. Para realizar esta priorización, es obtenido un Índice de Prioridad (IP), el cual refleja el estado actual del puente. Obtenido este IP es comparado con los IP de otros puentes, ordenándose posteriormente de acuerdo a su valor de prioridad.

El SIEP establece distintos niveles de priorización, de tal forma, que las variables de primer nivel son el producto de variables de segundo nivel, y estas a su vez son producto de variables de tercer nivel, etc. Es decir, cada nivel es el resultado de variables de nivel de ordinal mayor.

Para determinar la condición del puente, se asignan valores de 1 a 4 a diferentes variables que determinan el estado del puente. Estos valores indican lo siguiente.

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| 1= Mantenimiento Rutinario:  | El puente entra en un listado de obras a inspeccionar cada dos años, sus condiciones son óptimas.                                      |
| 2= Mantenimiento Preventivo: | El puente queda en un listado de obras que requieren inspección semestral, este empieza a deteriorarse y es conveniente la prevención. |

3= Reparación: Se debe encarar estudios tendientes a ejecutar el proyecto de reparación, reconstrucción o reemplazo.

4= Emergencia: El puente entra en un estado de reconstrucción o reparación urgente. Se califica de 1 a 4 según los criterios establecidos para el formato del ICP. Luego se traslada la mayor calificación dada del grupo a las variables de nivel inferior hasta alcanzar el tercer nivel.

Se capturan las calificaciones dadas a las variables en el tercer nivel, de estas se escoge el mayor valor para cada uno de los cuatro grupos existentes, se transmite la información obteniéndose de esta forma un número de cuatro cifras que se encuentra desordenado; se ordenan los 4 dígitos en forma descendente, quedando configurado el valor IP para cada puente.

La priorización se efectúa de forma sistemática por medio de una base de datos en un programa en Microsoft Access, en el cual se introducen las calificaciones de las variables del tercer nivel, que proceden del ICP, en donde el programa prioriza los puentes, utilizando el procedimiento antes mencionado.

### 3.2.2 ANALISIS DEL SIEP

Uno de los objetivos del SIEP, es el establecimiento de la priorización de los puentes, en base a la gravedad de los daños que presentan, por medio de información recolectada a través de las inspecciones de campo. Este utiliza una escala de calificación para la condición de los elementos del puente, de 1 a 4, con la cual se evalúan todos los elementos, en base a criterios cualitativos y cuantitativos ya definidos.

El SIEP no contiene evaluaciones detalladas de cada uno de los elementos componentes del puente; evalúa los problemas de manera general y no profundiza en problemas propios que pueda presentar cada elemento debido a sus características y/o particularidad.

No especifica cual o cuales elementos del puente, presentan uno o varios daños. Por ejemplo: en un puente, que posee varias vigas longitudinales y varios tramos, no puede determinarse cual o cuales vigas y en que tramo, se ubican los daños señalados; por lo que se hace difícil y casi imposible determinar, con claridad, el elemento que requiera reparación urgente.

En los formatos de Inventario Básico y Complementario, no existe la forma de saber si existe información, acerca de la existencia de planos, memoria de cálculo y fotografías del puente, información esencial para realizar estudios e investigaciones de ellos. Las fotografías se solicitan en el manual de usuario del IBP, sin embargo en el formato no se especifica si son tomadas. Esta información, sería un complemento a los estudios disponibles del puente tales como: Hidráulicos, tráfico, estructurales y geotécnicos; que en conjunto con cada inspección realizada, formarían un archivo completo de información accesible del puente almacenada en una base de datos sistematizado.







### **3.3 FORMATOS DE INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE PUENTES**

En el procedimiento de inspección de puentes se recomienda seguir una secuencia bien definida de los elementos a inspeccionar. Esta secuencia se lista a continuación.

1. Superficie de rodamiento
2. Juntas de expansión
3. Aparatos de apoyo
4. Todos los miembros estructurales primarios y secundarios que forman parte de la superestructura
5. Pilas, estribos y sus fundaciones

#### **EQUIPO BÁSICO PARA REALIZAR INSPECCIONES PRINCIPALES.**

- Cinta métrica de 30 m.
- Cinta métrica de 3.0 m.
- Lupa
- Pie de rey
- Bolígrafo de color rojo
- Linterna
- Cuerdas
- Amés
- Espátula
- Martillo
- Tiza o crayón
- Plomada
- Vehículo de transporte
- Binoculares
- Señales de tráfico para seguridad
- Cámara fotográfica

#### **RECURSOS HUMANOS**

Para la realización de las inspecciones principales, que son básicamente inspecciones visuales detalladas, se recomienda que el inspector posea los conocimientos necesarios en ésta área, para que pueda interpretar sus observaciones, para lo que es imprescindible que cumpla las siguientes condiciones:

- El inspector será responsable de la minuciosidad de las inspecciones de campo, análisis de todos los hallazgos y las subsecuentes recomendaciones.

- Debe poseer una cualificación profesional suficiente (sobre métodos de construcción, materiales, conocimientos teóricos sobre puentes, etc.)
- Debe contar con los datos necesarios para preparar la inspección.

### 3.3.1 FORMATO DE INVENTARIO BASICO DE PUENTES.(IBP)

Con el propósito de obtener los datos generales de los puentes, se ha elaborado un Formato de Inventario Básico de Puentes, el cual contiene, las características y propiedades generales, para su identificación. Esta inspección se realizará únicamente, cuando el puente sea puesto en funcionamiento o sufra modificaciones sustanciales que alteren la estructura del puente. Para la correcta recolección de datos se presenta un manual donde se detallan los pasos a seguir. (ver anexo A-1)

### 3.3.2 FORMATO DE INSPECCIONES PRINCIPALES DE PUENTES (IPP)

Este formato, contiene las características y los posibles problemas que pueda presentar cada elemento a evaluar en las inspecciones principales.

Se presenta a continuación el manual de usuario para el formato de inspecciones principales en puentes carreteros, el cual es una guía para valorar la condición de los problemas, además de explicar la forma en que debe llenarse. (ver anexo A-2)

A continuación se ejemplifica la forma de evaluar los daños en inspecciones de campo.

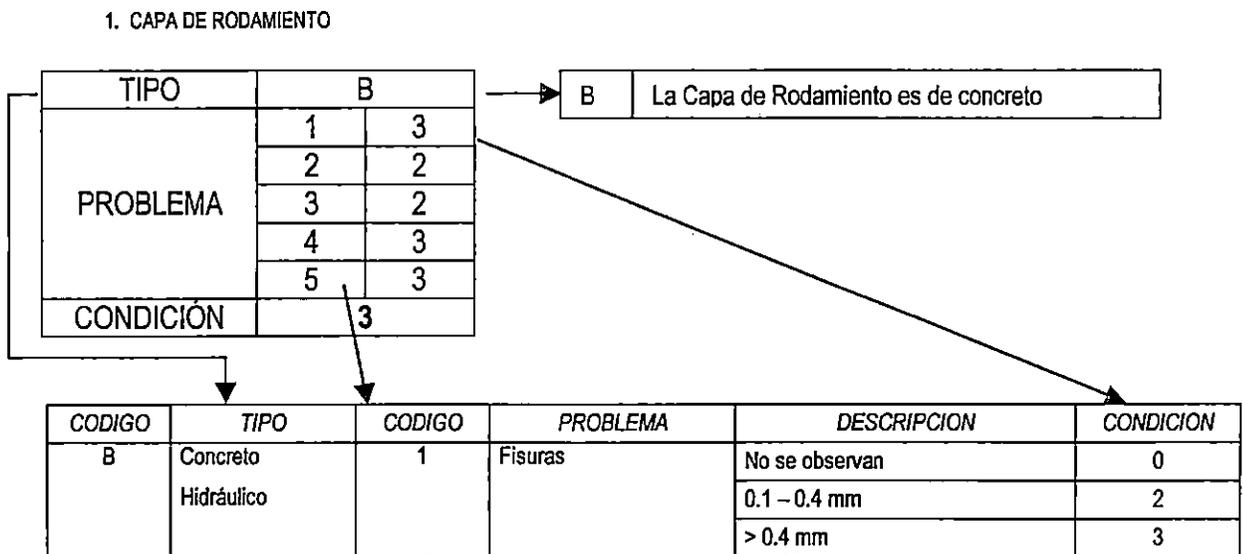


Figura 3.1 Diagrama de utilización de Manual IPP

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
CODIGO								

NOMBRE DEL PUENTE: \_\_\_\_\_

AÑO DE CONSTRUCCIÓN: \_\_\_\_\_ CONSTRUCTOR: \_\_\_\_\_ ① PROPIETARIO:  M = M.O.P.  P = Particular

② ZONA: \_\_\_\_\_  OC = Occidental  CE = Central  OR = Oriente  PC = Paracentral

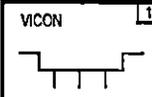
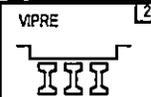
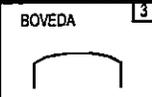
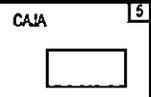
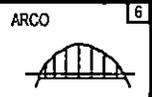
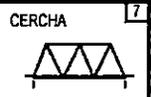
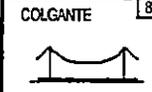
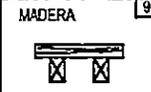
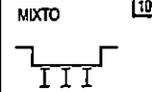
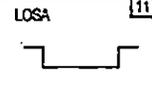
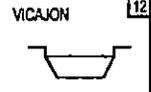
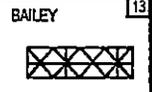
③ DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_ ④ MUNICIPIO: \_\_\_\_\_

AH	SA	SO	LL	CH	SS	CU	CA	SV	LP	US	SM	MO	LU
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

⑤ RED:  ES  PR  SE  TE  RA  RB ⑥ TRAMO: \_\_\_\_\_    ⑦ CARRETERA:

⑧ ESTACIONAMIENTO:   +   OBSTACULO TIPO: \_\_\_\_\_ NOMBRE: \_\_\_\_\_

TIPO DE PUENTE:

 1	 2	 3	 4	 5	 6	 7	OTRO: _____ _____ _____
 8	 9	 10	 11	 12	 13	 14	

MATERIAL DE LA LOSA / TABLERO: CONCRETO  METAL  MADERA

MATERIAL DE LA CAPA DE RODADURA: CONCRETO  ASFALTO  MADERA  GRAVA

LONGITUD TOTAL DEL PUENTE: \_\_\_\_\_ mts. NÚMERO DE VANOS: \_\_\_\_\_

VANO No.	LONGITUD (mts)	TIPO
1		
2		
3		
4		

VANO No.	LONGITUD (mts)	TIPO
5		
6		
7		
8		

ANCHO TOTAL: \_\_\_\_\_ mts. ANCHO DE CALZADA: \_\_\_\_\_ mts. No. DE CARRILES: \_\_\_\_\_

ANCHO DE ACERA IZQUIERDA \_\_\_\_\_ mts. ANCHO DE ACERA DERECHA: \_\_\_\_\_ mts.

LONG. DE ACERA IZQUIERDA: \_\_\_\_\_ mts. LONG. DE ACERA DERECHA: \_\_\_\_\_ mts.

BARANDAS	IZQUIERDA		DERECHA	
	EXTERNA	INTERNA	EXTERNA	INTERNA
ALTURA (mts)				
LONGITUD				
MATERIAL				

PUENTE CURVO: SI  NO  DRENAJES: SI  NO  RUTA ALTERNA: SI  NO

ANGULO DE ESVAJE: \_\_\_\_\_

INFORMACIÓN DISPONIBLE DEL PUENTE

ESTRUCTURALES SI  NO  ESTUDIOS DE SUELOS SI  NO   
 CRECIDAS MÁXIMAS SI  NO  CONTROL DE PESOS DE VEHÍCULOS SI  NO   
 CONTEOS DE TRÁFICO SI  NO  ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS EXISTENTES SI  NO

INSPECTOR: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_



IPP

CODIGO

NOMBRE DEL PUENTE: \_\_\_\_\_

## 1. CAPA DE RODAMIENTO

TIPO		
PROBLEMA	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
CONDICIÓN		

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## 2. CALZADA

ANTES DEL PUENTE	Ancho		No de carriles		Condición	
EN EL PUENTE	Ancho		No de carriles		Condición	
DESPUES DEL PUENTE	Ancho		No de carriles		Condición	

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## 3. JUNTAS DE EXPANSIÓN.

APOYO	E1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	E2
TIPO									
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CONDICIÓN									

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## 4. APARATOS DE APOYOS

APOYO	E1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	E2
TIPO									
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	7	7
CONDICIÓN									

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

INSPECTOR: \_\_\_\_\_

FECHA: / /

IPP

CODIGO

## 5. LONGITUDES DE APOYO

APOYO	E1		P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		E2
	DER.	IZQ.															
LONG. (mts)																	

OBSERVACIONES:

## 6. DISTANCIA VERTICAL LIBRE

CLARO	E1 - P1		P1 - P2		P2 - P3		P3 - P4		P4 - P5		P5 - P6		P6 - P7		P7 - E2	
BAJO EL PUENTE	ALT.															
SOBRE EL PUENTE	ALT.															
	COND.		COND.		COND.		COND.		COND.		COND.		COND.		COND.	

OBSERVACIONES:

## 7. SUPERESTRUCTURA

CLARO	E1 - P1			P1 - P2			P2 - P3			P3 - P4			P4 - P5			P5 - P6			P6 - P7			P7 - E2		
SIST. ESTRU.																								
COND. DE APOYO																								
ELEMENTO	LONGITUDINAL	DIAFRAGMA	TABLERO																					
TIPO																								
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CONDICIÓN																								

OBSERVACIONES:

INSPECTOR:

FECHA: / /



IPP

CODIGO

9. FUNDACIONES

PLAS Y ESTRIBOS	E1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	E2
SIST. ESTRUCTURAL									
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CONDICION									

OBSERVACIONES:

10. ACCESOS

ESTRIBO	E1			E2		
ELEMENTO	RAMPA	RECUBRIMIENTO	TERRAPLEN	RAMPA	RECUBRIMIENTO	TERRAPLEN
TIPO						
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4
CONDICION						

OBSERVACIONES:

11. ACERAS Y BARANDAS

		IZQUIERDA			DERECHA		
ACERA	TIPO	1			1		
	PROBLEMA	2			2		
		3			3		
		4			4		
	CONDICION						
BARANDA	TIPO	1	1		1	1	
	PROBLEMA	2	2		2	2	
		3	3		3	3	
		4	4		4	4	
		5	5		5	5	
	6	6		6	6		
	7	7		7	7		
CONDICION							

OBSERVACIONES:

INSPECTOR:

FECHA: / /



IPP

CODIGO

## 17. RUTA ALTERNA

< 500 mts.	1
500 mts < L. Alterna < 2000 mts.	2
> 2000 mts	3

OBSERVACIONES:

---



---

## 18. CAUCE

CAUCE	AGUAS ARRIBA						AGUAS ABAJO						
	IZQUIERDO			DERECHO			IZQUIERDO			DERECHO			
	OBRAS DE PROTECCION	TALUDES	VEGETACION										
TIPO													
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CONDICIÓN													

OBSERVACIONES:

---



---

## 19. SOBRE CARGA REAL

CARGAS MAX. POCO INTENSAS	1
CARGAS MAXIMAS FRECUENTES	2
MAYORES QUE REGLAMENTARIAS	3

OBSERVACIONES:

---



---

## 20. MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO FRECUENTE	1
MANTENIMIENTO ESPORADICO	2
FALTA ABSOLUTA DE MANTENIMIENTO	3

OBSERVACIONES:

---



---

INSPECTOR:

FECHA: / /

IPP

CODIGO

## 21. SENSIBILIDAD REGIONAL

EL MEDIO AMBIENTE ES IDEAL	1
REQUIEREN ALGUNAS ACCIONES PARA PROTEGERLO DEL MEDIO AMBIENTE	2
REQUIEREN ACCIONES URGENTES PARA PROTEGERLO DEL MEDIO AMBIENTE	3

OBSERVACIONES:

## 22. ANTIGÜEDAD DEL PUENTE

ANTIGÜEDAD < 40 AÑOS	1
ANTIGÜEDAD > 40 AÑOS	2

OBSERVACIONES:

## 23. IMPORTANCIA FUNCIONAL

ZONA AGRICOLA O GANADERA	1	2	3
ZONA TURISTICA	1	2	3
IMPORTANCIA MILITAR	1	2	3
FUENTE DE MATERIALES	1	2	3
IMPORTANCIA ESTRATEGICA	1	2	3

OBSERVACIONES:

## 24. MAGNITUD DEL TRABAJO DE REPARACION

RUTINARIO	1
IMPORTANTE	2
EMERGENCIA	3

OBSERVACIONES:

INSPECTOR:

FECHA: / /

### 3.4 ENLACE IPP-SIEP

Para que la información obtenida en el IPP sea utilizada adecuadamente, sin modificar el funcionamiento del SIEP, se hace necesario, establecer un enlace entre el IPP y el formato de Inventario Complementario de Puentes, dirigido a unificar la alimentación de la base de datos. Para ello se crea el Formato de Enlace IPP-SIEP.

En este formato se rescatan las condiciones resultantes de la tabla de cada elemento en particular, el cual se ubica en la casilla correspondiente; dicha condición es afectada por la importancia de los elementos contenidos en cada tabla, representada por un factor. Luego, se procede a la sumatoria de los resultados anteriores, que corresponden al mismo nivel para cada elemento. Trasladando este valor al siguiente nivel; cuando la condición resultante, sea fraccionario, se realizará una aproximación; también, toda condición menor que 1, se aproximara a éste. Este valor de condición resultante, es trasladada a la variable de tercer nivel definidas en el SIEP, que es representada por la casilla elemento.

Forma de obtener la condición de la variable de tercer nivel:

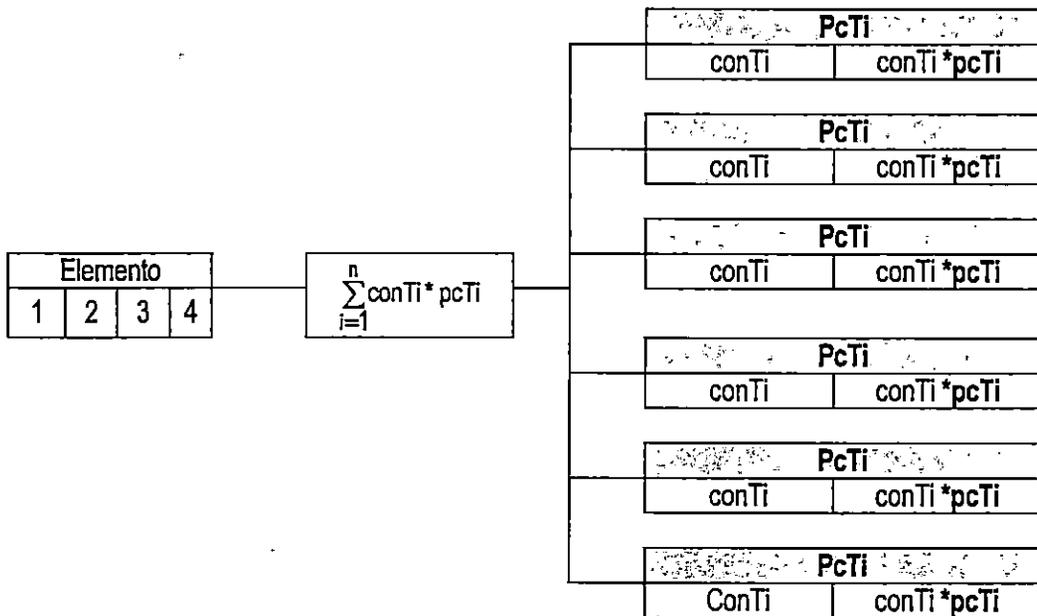


Figura 3.2 Diagrama de Condición para enlace IPP-SIEP

donde:

conTi = condición de cada una de las tablas, que contribuyen a determinar la condición de cada elemento.

n = número de tablas, que contribuyen a determinar la condición de cada elemento.

PcTi = porcentaje o factor de importancia con el que la tabla contribuye a determinar la condición de cada elemento.

Cuando solo una tabla contribuye a determinar la condición de un elemento, su condición únicamente se aproxima y se traslada a la variable de tercer nivel.

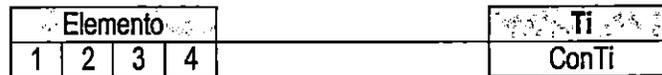


Figura 3.3 Diagrama de Condición de enlace IPP-SIEP



Sensibilidad regional			
1	2	3	

T21
-----

Ancho de calzada			
1		3	

T2
----

Galibo vertical			
1	2	3	

T6
----

Carga de diseño			
1	2	3	

T16
-----

Vida útil			
1	2		

T22
-----

Longitud de vía alterna			
1	2	3	

T17
-----

Importancia funcional			
1	2	3	

T23
-----

Magnitud de trabajo de emergencia			
1	2	3	

T24
-----

INSPECTOR: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

### 3.5 EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES

La metodología expuesta en el siguiente trabajo para la evaluación de la vulnerabilidad de puentes, ha sido desarrollada tomando en cuenta los aspectos siguientes:

a) Estudio de métodos de evaluación previos.

Se toman en cuenta metodologías establecidas de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios, los cuales proporcionan consideraciones básicas para la evaluación de estructuras existentes.

b) Investigaciones en trabajos anteriores.

Se han desarrollado estudios de las deficiencias y características geométricas y estructurales de los elementos, efectos de sitio, etc. Estos trabajos son de importancia, para la valoración de los diferentes factores considerados en la metodología propuesta.

c) Códigos sísmicos.

Los requerimientos mínimos para el diseño, construcción y evaluación de puentes, son considerados en el procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad.

Además, su implementación requiere de la recopilación de la información básica siguiente:

- Características estructurales necesarias para determinar la vulnerabilidad estructural de los puentes
- La sismicidad y condiciones del suelo, donde se encuentra ubicado el puente, necesario para determinar el riesgo sísmico.

Esta información se obtiene de la manera siguiente:

- Visitas al puente. (Inspección).

Obteniéndose los aspectos mas importantes de la estructura, como el estado actual, y las condiciones de los elementos.

- Planos.

Son la fuente mas importante en la obtención de información: Configuración en planta y en elevación, dimensiones de secciones, detalles de refuerzo, entre otros.

- Memorias de Cálculo.

Detalles de cálculo de diseño, propiedad de los materiales, e información contenida en ellas que será utilizada.

El procedimiento para la evaluación de la vulnerabilidad, incluye:

1. Recopilación y estudio de la información existente acerca del diseño y construcción de la estructura original y sus posteriores modificaciones; así como, realizar inspecciones de campo a los puentes para determinar el estado actual.

2. Modelación de la estructura de puente, en el software adecuado, para determinar la respuesta de la estructura sometida a fuerzas sísmicas y de tráfico.
3. Determinación de los parámetros que influyen en la vulnerabilidad de puentes, por medio de índices. Este procedimiento es aplicable a puentes existentes, y no para puentes nuevos o en etapa de diseño.

## CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

Los puentes son obras particulares, formados generalmente por un sistema estructural simple, por lo que posee ventajas y desventajas. Tal simplicidad puede conllevar a una mayor sensibilidad a los errores de diseño. Además, la simplicidad produce una propensión a los efectos P- $\Delta$  y la inercia rotacional (momento de cabeceo).

Generalmente, los puentes son más vulnerables a los efectos de la interacción suelo-estructura que otro tipo de estructuras. Las respuestas dinámicas al movimiento del terreno pueden ser difíciles de predecir, principalmente en puentes largos o de claros muy largos, debido a movimientos fuera de fase en los apoyos. Los puentes de pequeños y medianos claros son estructuras de períodos cortos. Para estructuras de períodos cortos, el amortiguamiento hysterético alto es importante, puesto que la máxima respuesta de la estructura es muy sensitiva al amortiguamiento.

En la elección de la superestructura tienen poco que ver los aspectos sísmicos y éstas se eligen condicionados por su capacidad a cargas gravitacionales y aspectos geométricos del puente principalmente. En el caso de losas, se debe de asegurar su comportamiento como diafragma rígido horizontal con capacidad de transmitir en su plano las fuerzas inerciales sísmicas transversales sin deformaciones importantes. Las losas prefabricadas aligeradas algunas veces carecen de armado de refuerzo en el sentido perpendicular al eje de la pieza, lo que podría ocasionar agrietamiento y falla potencial en acciones cíclicas. En el caso de superestructuras a base de vigas, necesitan de diafragmas en los extremos y probablemente, dependiendo de la longitud del claro, de algunos intermedios espaciados regularmente. Las vigas cajón pueden tener formas distintas, por ejemplo, cajones cerrados y cajones con alas; como las utilizadas en los puentes Cuscatlán, San Marcos Lempa y Don Luis de Moscoso.

En la subestructura se debe de tomar en consideración las restricciones impuestas por la sismicidad del sitio y las condiciones del subsuelo, para tener una idea del desempeño sísmico de la estructura. Se deben de identificar problemas potenciales de licuación, deslaves y taludes, dislocaciones por presencia de fallas, posible amplificación del movimiento del terreno, etc. que conllevarán a provisiones en mejoramiento de terrenos, anclajes, protecciones a columnas y taludes, etc. Es ideal que el puente tenga

un alineamiento recto con claros uniformes, simétricos y columnas de la misma altura. Lo anterior suena casi imposible por las mismas restricciones físicas, geográficas, topográficas, urbanas, los claros, las alturas, los métodos constructivos y las propiedades funcionales (número de carriles, elevaciones, densidad de tránsito, dirección de tráfico, velocidad de diseño, etc. que obligan a bifurcaciones, curvas, esviajes etc.). La mayoría de los puentes cuentan con columnas aisladas o marcos de concreto que se diseñan y detallan tomando en cuenta todos los aspectos relevantes, como por ejemplo en el caso de columnas aisladas se deben de analizar la influencia de la inercia rotacional del sistema y calcular y diseñar para tomar en cuenta los momentos de cabeceo. Las columnas en muchos casos, e inclusive por razones estéticas se eligen circulares, que resultan en características sísmoresistentes independientes de la dirección del sismo.

Los miembros de un puente cambian su rigidez durante los sismos. La rigidez de una columna, por ejemplo, se reduce cuando aparece agrietamiento a tensión en el concreto y se va reduciendo más cuando el acero de refuerzo inicia la fluencia y se forman articulaciones plásticas. La rigidez axial de un puente cambia en tensión y compresión mientras las juntas de expansión se abren o cierran. El suelo detrás de los estribos fluye bajo fuerzas a compresión grandes. Lo ideal sería considerar todos los cambios de rigidez con exactitud para obtener las verdaderas fuerzas actuantes y los valores de los desplazamientos reales del puente durante el evento de diseño o los eventos de servicio a los que el puente se verá afectado durante su vida útil. Actualmente, el procedimiento es calcular la rigidez de una sección agrietada para las columnas de los puentes, tomar provisiones para distancias de empotramiento y afectarlas para que tomen en cuenta el comportamiento real del puente.

El hecho de tener columnas o pilas de distintas alturas causa demandas distintas en cada pila o columna individual, las columnas más cortas resisten desproporcionadamente un nivel mayor de fuerzas inerciales que las altas. Si las columnas cortas además se sobre esfuerzan (porcentajes de acero mayores), se incrementa su rigidez y atraen una proporción mayor de las fuerzas sísmicas. Es casi imposible tener un sistema estructural sísmorresistente que satisfaga el hecho de tener todas las columnas de la misma rigidez o que alcancen su resistencia de diseño al mismo nivel de excitación. Si las pilas de distinta altura tienen la misma sección transversal y el mismo refuerzo, las columnas cortas se van a ver sujetas a una mayor demanda de ductilidad. La solución estructural óptima de reducir la sección de las columnas cortas no es aceptada normalmente por cuestiones estéticas. Hay casos sin embargo, como en cañadas, donde las columnas se construyen todas de la misma altura y sección, excavando y dejando protección en las columnas cortas. ( figura 3.4)

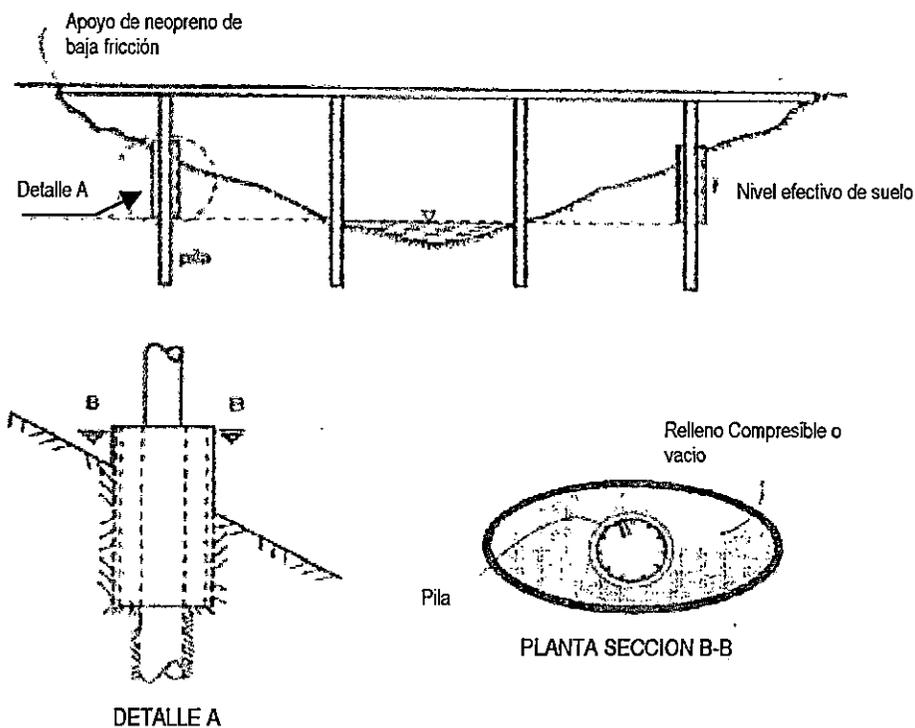


Figura 3.4 Excavación y protección de columnas cortas.

Actualmente, los reglamentos obligan para puentes importantes y componentes críticos, acciones consistentes en las que se requieren que los puentes estén dentro de ciertos rangos de valores de ductilidad. Este tipo de acciones estructurales, intentan limitar la respuesta inelástica a niveles consistentes con daños estructurales reducidos y sólo en articulaciones plásticas definidas que se diseñan con detallado correspondiente a elemento dúctil. Las estructuras elásticas no tienen daño si se toma en consideración los aspectos anteriormente mencionados y que se deben de reflejar, en las últimas recomendaciones, en factores de modificación de respuesta, en los espectros de diseño, etc.

El análisis dinámico de puentes es más preciso, puesto que incorpora información ignorada en el análisis estático. Conviene tener presente que la precisión de un análisis más refinado depende también de la certidumbre con que se conozcan los datos adicionales requeridos.

Existen dos tipos básicos de análisis dinámicos: elástico e inelástico. El primero supone que la resistencia de una estructura (representada por el gráfico esfuerzo-deformación) tendrá un comportamiento lineal, sin sobrepasar el esfuerzo de fluencia del material constituyente de los elementos que conforman la estructura. El segundo presenta un comportamiento lineal hasta lograr un valor de carga definido (fluencia

del material), admitiéndose que las estructuras rebasen el intervalo lineal ante valores de carga que superen la carga de fluencia. Tal comportamiento se representa en curvas de carga deformación no lineales que tienen la forma de lazos de histéresis.

Se utilizan tres métodos dinámicos que permiten efectuar análisis dinámico de estructuras, los cuales, además de características de rigidez que se emplean en un análisis estático, incluyen propiedades inerciales y de amortiguamiento. Estos métodos son: análisis modal espectral, análisis modal paso a paso y el análisis no lineal paso a paso.

El análisis modal espectral implica el uso simultáneo de modos de vibrar y espectros de diseño. Utilizando como dato de entrada un espectro de diseño. Los modos de vibración son separados y el período de cada uno se determina para encontrar su respuesta máxima al espectro. Tomando en cuenta la forma de cada modo, se combinan las respuestas para encontrar la respuesta total; las máximas respuestas de cada uno de los modos no necesariamente ocurren al mismo tiempo, y por lo tanto se usan métodos aproximados para combinar las respuestas, en lugar de sumatorias directas.

El análisis modal paso a paso puede hacerse encontrando en primer lugar los modos y períodos de vibrar, aunque la excitación sísmica se define mediante acelerogramas de temblores reales o simulados en lugar de espectros.

El análisis no lineal paso a paso considera las características no lineales del material que conforma los elementos de la estructura, a través de gráficos esfuerzo-deformación no lineales. Este método utiliza un acelerograma como fuente de excitación sísmica.

Puesto que en la presente investigación se requiere la realización de un análisis estructural para determinar la vulnerabilidad de la estructura, el evaluador deberá escoger el tipo y método de análisis dinámico de acuerdo al nivel de detalle requerido de la respuesta dinámica de la estructura.

### **3.6 PARAMETROS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

Para la evaluación de la vulnerabilidad, se establecen parámetros a los que llamaremos índices, los cuales representan características particulares de la estructura. Se han considerado un total de nueve (9) índices, de los cuales los tres (3) últimos corresponden a resultados provenientes de cálculos estructurales de diverso tipo. Estos índices constituyen el 40% del valor total de la Vulnerabilidad, y su suma conforma lo que en este trabajo ha sido denominado como Vulnerabilidad Nivel II. Los restantes seis (6) índices corresponden a valores de tipo general y funcional; incluyendo los resultados de la inspección visual de la estructura, la suma de estos índices contribuyen con el 60% del valor total de la Vulnerabilidad y su resultado se ha denominado en este trabajo como Vulnerabilidad Nivel I. Es de hacer notar que la

obtención de la Vulnerabilidad Nivel II (comportamiento estructural), requiere de la disposición de planos "como construido", especificaciones técnicas de los materiales y demás datos técnicos que permitan modelar confiablemente al sistema estructural. En El Salvador no se dispone de mucha información de este tipo para el caso de puentes existentes, por lo que la incorporación de la Vulnerabilidad Nivel II, es posible sólo en casos de puentes muy recientes. Para tratar de solventar este problema, se ha introducido en este trabajo el concepto de Vulnerabilidad Proyectada, la cual se basa en las evaluaciones de la Vulnerabilidad Nivel I a la cual se le adiciona un factor correspondiente a la contribución promedio esperada a obtener en el caso que fuera posible evaluar la Vulnerabilidad Nivel II. A continuación se describen en detalle los diferentes índices que componen la Vulnerabilidad, tal como se ha propuesto en este trabajo.

## 11. INDICE DE UBICACION.

Para evaluar este índice se considerarán dos aspectos. El primero se refiere a la localización del puente dentro de una zona sísmica de nuestro país. Las zonas sísmicas se definen en la tabla 1 de la Norma Técnica para Diseño por Sismo (NTDS).

El segundo aspecto a considerar, es la ubicación del puente, respecto a zonas de inundación previamente identificadas.

### 1.1 Zona Sísmica

En países de alta actividad sísmica es común preparar mapas no solamente de zonificación sísmica (peligrosidad sísmica), sino también de micro zonificación para centros urbanos importantes. Los mapas de micro zonificación muestran la variación de la peligrosidad debida a la presencia de fallas geológicas y de los depósitos de suelos. La peligrosidad sísmica puede evaluarse con base en información sobre la sismicidad de una zona y las características del movimiento sísmico. Sobre esa base se construyen mapas de peligrosidad que identifican las áreas de mayor peligro para fines de planificación y de diseño sísmico. Tales mapas además de identificar las áreas de mayor peligro para fines de planificación, establecen los niveles de aceleración que se deben considerar en el diseño sísmico definiéndose en NTDS como: Zona I y Zona II (figura 3.5)

El índice por zona sísmica se obtendrá a través de la relación entre los factores de zona sísmica, de la siguiente manera:

Según NTDS

Para zona I = 0.4

Para zona II = 0.3

La zona sísmica se tomará de la tabla 14 del formato de inspección principal de cada puente.

La relación sería entonces:

Para Zona I =  $0.4 / 0.4 = 1.00$

Para Zona II =  $0.3 / 0.4 = 0.75$

Por lo que

Índice para Zona I = 1.00

Índice para Zona II = 0.75

## 1.2 Zona de Inundación.

Se refiere a la localización del puente en lugares clasificados como zonas de inundación en nuestro país; siendo éstas de dos tipos: Zona Inundable y Zona No Inundable.

TABLA 3.5 INDICE DE ZONA DE INUNDACION

ZONA DE INUNDACION	INDICE DE INUNDACION
Zona Inundable ( ZI )	1.0
Zona No Inundable ( ZNI )	0.3

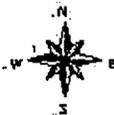
Esta clasificación se realiza, basada en la información que el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en cooperación con el Comité de Emergencia Nacional (COEN), tienen registrada a nivel nacional. (figura 3.5)

La zona de inundación se tomará de la tabla 15 del formato de inspección principal de cada puente.

El índice de ubicación se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Índice de Ubicación} = \frac{\text{Zona Sísmica} + \text{Zona de Inundación}}{2}$$

El Índice de Ubicación representa el 5% de la vulnerabilidad estructural.



# ZONAS SISMICAS Y DE INUNDACION

## EN EL SALVADOR

- LEYENDA:**
- Límite Nacional
  - Límite Municipal
  - Límite Departamental
  - Carretera
  - Panamericana
  - Carretera Litoral
  - Bolsones
  - Cuerpo de Agua
  - Zonas de Inundación



ESCALA 1:1.000.000



**DIRECCION GENERAL DE ECONOMIA AGROPECUARIA**  
**DIVISION DE INFORMACION GEOGRAFICA**  
**JUNIO 2000**

### BASE DE LA INFORMACION

El mapa fue elaborado con información  
 recolectada por el Comité de Emergencia  
 Nacional (COEN).

## 12. INDICE DE TRÁFICO

Este involucra dos aspectos: el primero, la carga de tráfico que establece un nivel relativo de carga sobre el puente; el segundo refleja la importancia del puente para el tráfico según la carretera en que se encuentra ubicado.

### 2.1 Carga de Tráfico

Se evalúa como la relación entre la carga de tráfico de diseño y la carga de tráfico real que soporta el puente. Siendo la carga de tráfico de diseño, la carga considerada para el diseño del puente y la carga de tráfico real, la carga que se considera actúa en el puente en las condiciones actuales. El valor de carga de tráfico real, se tomará la carga máxima que este circulando por el puente, en base a controles de cargas que el Ministerio de Obras Publicas realiza. Al no existir un control de cargas en la carretera donde se localice el puente, se tomará el peso total nominal del vehículo más pesado que este pasando por el puente. Figura 3.6

Estas cargas serán tomadas de la tabla 16 del formato de inspección principal de cada puente.

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = \frac{\text{carga de tráfico real}}{\text{Carga de trafico de diseño}}$$

TABLA 3.6 CARGA DE TRAFICO

RELACIÓN DE CARGA DE TRAFICO (RCT)	INDICE DE CARGA DE TRAFICO
$RCT < 1$	0.4
$1 \leq RCT < 2$	0.6
$2 \leq RCT < 3$	0.9
$3 \leq RCT$	1.0

### 2.2 Importancia de la Carretera.

Esta importancia refleja el nivel de servicio o volumen de tráfico, asociado a su posición geográfica en una región o su particularidad en el diseño.

El índice de importancia deberá obtenerse tomando como base la clasificación que el MOP tiene del sistema vial del país.

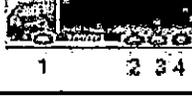
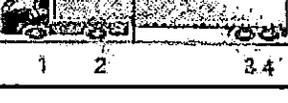
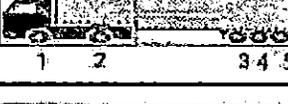
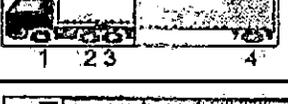
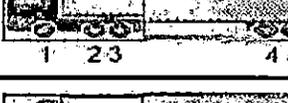
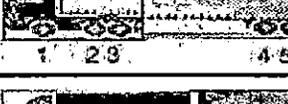
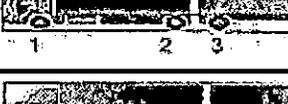
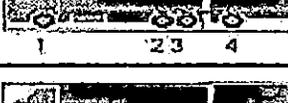
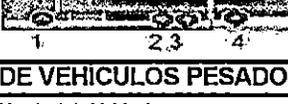
TIPO DE VEHÍCULO	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	PESO MÁXIMO AUTORIZADO						PESO TOTAL EN TON. MET.	UNIVERSO DE VEHÍCULOS PESADOS
		1er EJE	2do EJE	3ro EJE	4to EJE	5to EJE	6to EJE		
01	C-2 	4.50	9.00					13.50	22,228
02	C-3 	4.50	16.00					21.00	1,747
			8.00	8.00					
03	C-4 	5.00	20.00					25.00	2
			6.67	6.66	6.66				
04	T2-S1 	5.00	9.00	9.00				23.00	11
05	T2-S2 	5.00	9.00	16.00				30.00	54
				8.00	8.00				
06	T2-S3 	5.00	9.00	20.00				34.00	0
				6.67	6.66	6.66			
07	T3-S1 	5.00	16.00		9.00			30.00	1
			8.00	8.00					
08	T3-S2 	5.00	16.00		16.00			37.00	4,297
			8.00	8.00	8.00	8.00			
09	T3-S3 	5.00	16.00		20.00			41	42
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66		
10	C2-R2 	4.50	9.00	4.0a	4.0a			21.50	0
		4.50	9.00	4.0a	6.5b			24.00	0
		4.50	9.00	6.5b	6.5b			26.50	0
11	C3-R2 	5.00	16.00		4.0a	4.0a		29.00	0
		5.00	8.00	8.00	4.0a	6.5b		31.50	1
		5.00			6.5b	6.5b		34.00	0
12	C3-R3 	5.00	16.00		4.0a	10.00c		35.00	0
		5.00	8.00	8.00	6.5b	5.00	5.00	37.50	6
<b>TOTAL DE VEHICULOS PESADOS PARA 10/1999 CON UN 2% CRECIMIENTO ANUAL</b>									<b>28,389</b>

Figura 3.6 Peso Nominal de Vehículos

NOTA: El peso máximo permisible será especificado por el fabricante y el contenido en esta columna

- a: Eje sencillo llanta sencilla
- b: Eje sencillo llanta doble
- c: Eje Tandem

La red vial se encuentra dividida en:

- Especial
- Primaria
- Secundaria
- Terciaria
- Camino Rural A
- Camino Rural B
- Otros...

Se tiene la siguiente clasificación en base a la red vial:

TABLA 3.7 FACTOR DE CLASIFICACION DE RED VIAL

TIPO DE VIA	CLASIFICACION	FACTOR
Especial Primaria	Vías principales	1.00
Secundarias Terciarias	Vías importantes	0.80
Camino rural A, Camino rural B Otros...	Vías de menor Importancia	0.50

El tipo de vía en la que se encuentra ubicado el puente, se encuentra en "RED" del inventario básico de puentes.

El índice de Tráfico sería entonces:

$$\text{Índice de Tráfico} = 0.7 * \text{Carga de Tráfico} + 0.3 * \text{Importancia de la Carretera}$$

El Índice de Tráfico representa el 5% de la Vulnerabilidad Estructural

### 13. INDICE DE NORMA USADA PARA EL DISEÑO

Se refiere a la vulnerabilidad que podría presentar el puente debido a la normativa con que fue diseñado.

Son los eventos sísmicos los que han puesto de manifiesto errores en criterios de diseño contenidos en normas. Al respecto, el terremoto de 1971 en San Fernando despertó gran alarma al poner en evidencia la vulnerabilidad sísmica de los puentes diseñados de acuerdo a las normas AASHTO de 1965 o anteriores.

Similar atención recibieron los daños causados por terremotos siguientes de considerable magnitud, como el de Loma Prieta en 1989, el cual demostró que los puentes diseñados de acuerdo a las normas ASSHTO de 1983 presentaron, en muchos de los casos, un buen desempeño sísmico, aunque también se demostró el pobre desempeño de puentes más antiguos. Posteriormente a este sismo, se creó la norma AASHTO en 1992, en la cual se tomaban en cuenta las deficiencias presentadas en normas anteriores. Basándose en lo anterior el índice se establecería de la siguiente manera:

TABLA 3.8 INDICE DE NORMA USADA PARA EL DISEÑO

AÑO DE NORMA	INDICE DE NORMA USADA PARA EL DISEÑO
Antes de 1965	1.00
1965-1983	0.80
1983-1992	0.50
Después de 1992	0.20

Esta información será obtenida de la memoria de cálculo, documentos informativos del puente o en todo caso del año de construcción, que se encuentra en el formato básico de inspecciones.

El índice de Norma Usada para el Diseño, representa el 5% de la Vulnerabilidad Estructural.

#### 14. INDICE DEL ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.

Este índice representa las condiciones actuales de la estructura, comprende los daños que sufren los elementos, tales como fisuras, corrosión, pandeo, socavación, etc.

Este índice es el de mayor importancia, debido a que representa las condiciones reales de la estructura.

Es obtenido de la información proveniente de la inspección principal realizada al puente, en el cual se evalúa todos los componentes de este, elemento por elemento, con un formato especialmente elaborado para dicho propósito.

En la obtención de este índice, se toma en cuenta la importancia de cada uno de los elementos componentes del puente, distribuyendo la importancia de la siguiente forma:

TABLA 3.9 IMPORTANCIA DE COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA

Componente de la Estructura	Importancia (%)
Juntas de expansión	3
Aparatos de apoyo	5
Superestructura	40
Subestructura	40
Fundaciones	5
Accesos	5
Cauce	2

El índice se calcula de la siguiente forma:

$$I_4 = 0.03 \frac{JE}{4} + 0.05 \frac{AP}{4} + 0.40 \frac{SP}{4} + 0.40 \frac{SB}{4} + 0.05 \frac{FU}{4} + 0.05 \frac{AC}{4} + 0.02 \frac{CA}{4}$$

donde:

JE = condición de las juntas de expansión

AP = condición de los aparatos de apoyo

SP = condición de la superestructura

SB = condición de la subestructura

FU = condición de fundaciones

AC = condición de los accesos

CA = condición del cauce.

Este índice representa el 30% de la Vulnerabilidad Estructural

#### 15. INDICE DE TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

En este índice se consideran los distintos tipos de configuraciones estructurales empleadas en el diseño de puentes. Se evalúa si un puente es viaducto, los tipos de elementos que soportan la superestructura y sus condiciones de apoyo en la subestructura.

### 5.1 Factor de Superestructura

Este factor valora si el puente es viaducto o si está soportado por estribos en ambos extremos (figura 3.7), de acuerdo a la tabla 3.10

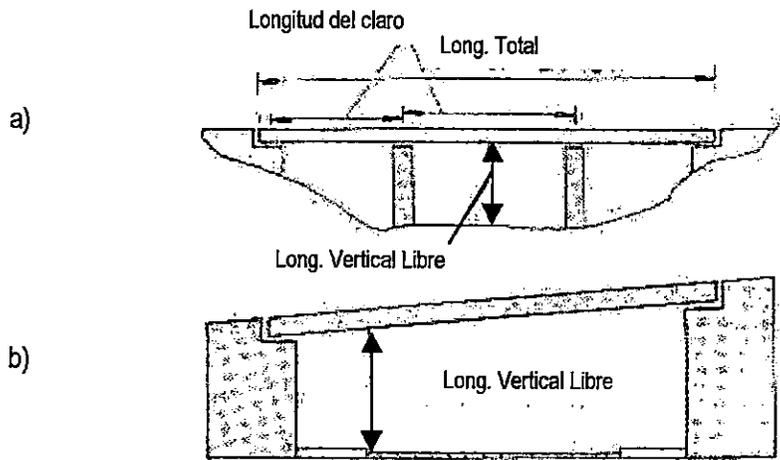


Figura 3.7 Configuración de Superestructura: a) Viaducto b) Soportado por estribos

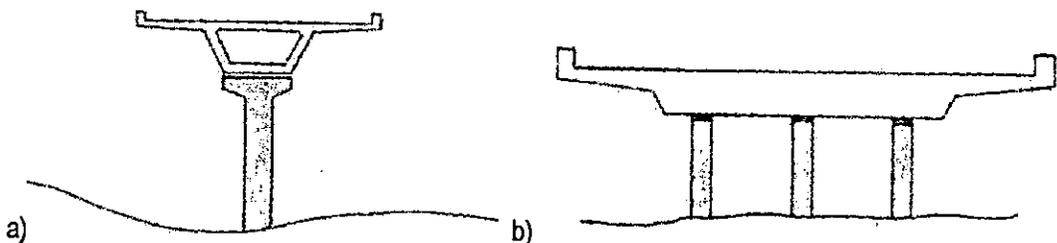
TABLA 3.10 VALORACION DE FACTOR DE SUPERESTRUCTURA

CATEGORÍA	VALORACION
Puentes Viaductos	1.0
Puentes soportados por estribos	0.5

Se tomará en base al número de vanos, contenido en el formato de inspección básica de puentes.

### 5.2 Factor de subestructura

Evalúa el tipo de subestructura que está soportando al puente (figura 3.8). La valoración se hace de acuerdo a la tabla 3.11



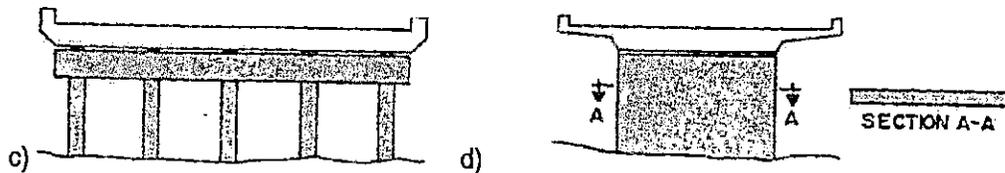


Figura 3.8 Tipos de Subestructura, a) Columna Simple, b) Dos o más columnas con viga de cabezal continua  
c) Estructura de Marco, d) Columna tipo Pared

TABLA 3.11 VALORACION DE FACTOR DE SUBESTRUCTURA

CATEGORÍA	VALORACIÓN
Columna simple	1.0
Dos o más columnas con viga de cabezal continua	0.9
Armadura	0.8
Estructura de marco	0.7
Columna tipo pared	0.7

La categoría será tomada de sistema estructural en la tabla 8 del formato de inspecciones principales. Cuando el puente posea diferentes tipos de subestructura, se tomará aquella que posea mayor valoración en la tabla anterior.

### 5.3 Factor de condiciones de apoyo

Evalúa las condiciones en que está apoyado el puente, es decir, la unión del tablero con la subestructura (figura 3.9). La evaluación se hará de acuerdo a lo establecido en la tabla 3.12

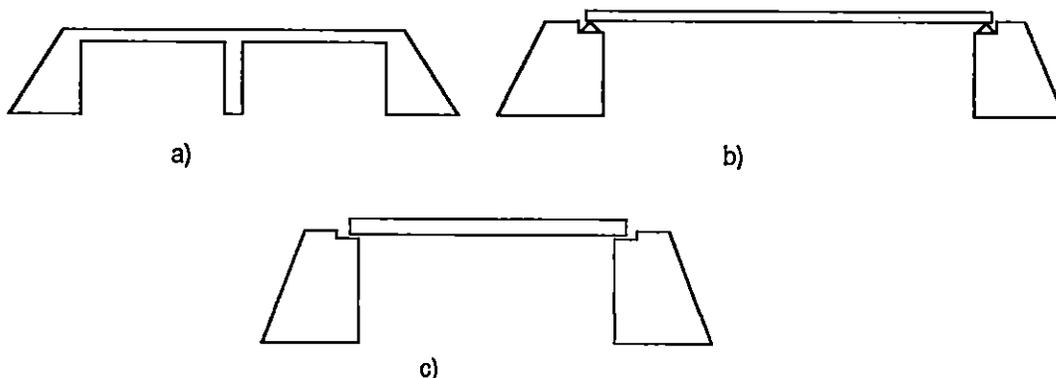


Figura 3.9 Tipos de Apoyo, a) Integrales, b) Apoyo intermedio, c) Simplemente apoyados.

TABLA 3.12 VALORACION DE CONDICIONES DE APOYO

CATEGORIA	VALORACION
Puentes integrales	0.2
Puentes en condiciones de apoyo intermedio	0.75
Puentes simplemente apoyados	1.0

La categoría, será tomada de condición de apoyo, en la tabla 7 del formato de inspecciones principales.

El índice de sistema estructural quedará definido como el promedio de las valoraciones de los tres factores anteriores.

$$I. \text{ de Sistema Estructural} = \frac{f. \text{ de superestructura} + f. \text{ de subestructura} + f. \text{ de condiciones de apoyo}}{3}$$

este índice representa el 5% de la Vulnerabilidad Estructural

## 16. INDICE DE FUNCIONALIDAD

Expresa una relación entre las deflexiones y/o longitudes de apoyo de la estructura construida y las deflexiones y/o longitudes de apoyo máximas, establecidas en las normas AASHTO. Si el valor es mayor que uno, la estructura tiene problemas causadas por excesiva flexibilidad; si es menor que uno, su comportamiento será adecuado.

### 6.1 Factor de deflexión.

Para el cálculo de la deflexión relativa, se utilizarán los criterios propuestos en la sección 8.9.3 de AASHTO S.D. para determinar la deflexión permitida.

TABLA 3.13 DEFLEXION PERMITIDA

SISTEMA ESTRUCTURAL UBICACIÓN	CLARO SIMPLE O CONTINUO	BRAZOS EN VOLADIZO
	Puente en áreas urbanas	1/1000*L
Puente fuera de áreas urbanas	1/800*L	1/800*L

Donde L es la longitud libre del claro considerado.

$$\text{Deflexión relativa} = DR = \frac{\text{Deflexión Actuante}}{\text{Deflexión Permitida}}$$

La deflexión actuante es la deflexión que actualmente presenta el puente. Esta se determinará utilizando métodos de medición precisos, como estación total, teodolito, distanciómetro e instrumentos de medición láser. Se deberá establecer dos puntos de referencia con elevación conocida, para determinar los cambios de elevación y determinar su deflexión actuante. La medición de la deflexión actuante deberá realizarse al centro de cada claro, cuando el vehículo que represente la mayor carga que actúa en el puente, circule sobre él.

Antes de que un puente sea puesto en funcionamiento, deberá realizarse una medición de las deflexiones actuantes con el puente cargado y cuando este se encuentre sin carga.

TABLA 3.14 FACTOR DE DEFLEXION

DEFLEXION RELATIVA	FACTOR DE DEFLEXIÓN
$DR \leq 1$	0.2
$1 < DR \leq 2$	0.6
$2 < DR$	1.0

Cuando el puente presente más de un claro se tomara el que presente el factor de deflexión más desfavorable.

## 6.2 Factor de Longitud de apoyo.

El cálculo de la longitud de apoyo mínima permitida, se basará en criterios definidos en la sección 7.3 de AASHTO SD.

$$N = (305 + 2.5L + 10H) (1 + 0.000125 S^2) / 10$$

Donde:

N : es la longitud de apoyo mínima permitida (cm)

L : longitud del claro entre apoyos (mt)

H : altura promedio de la(s) pila(s) (mt)

S : ángulo de inclinación del soporte medido desde una línea normal al eje longitudinal del claro.(grados)

Figura 3.10

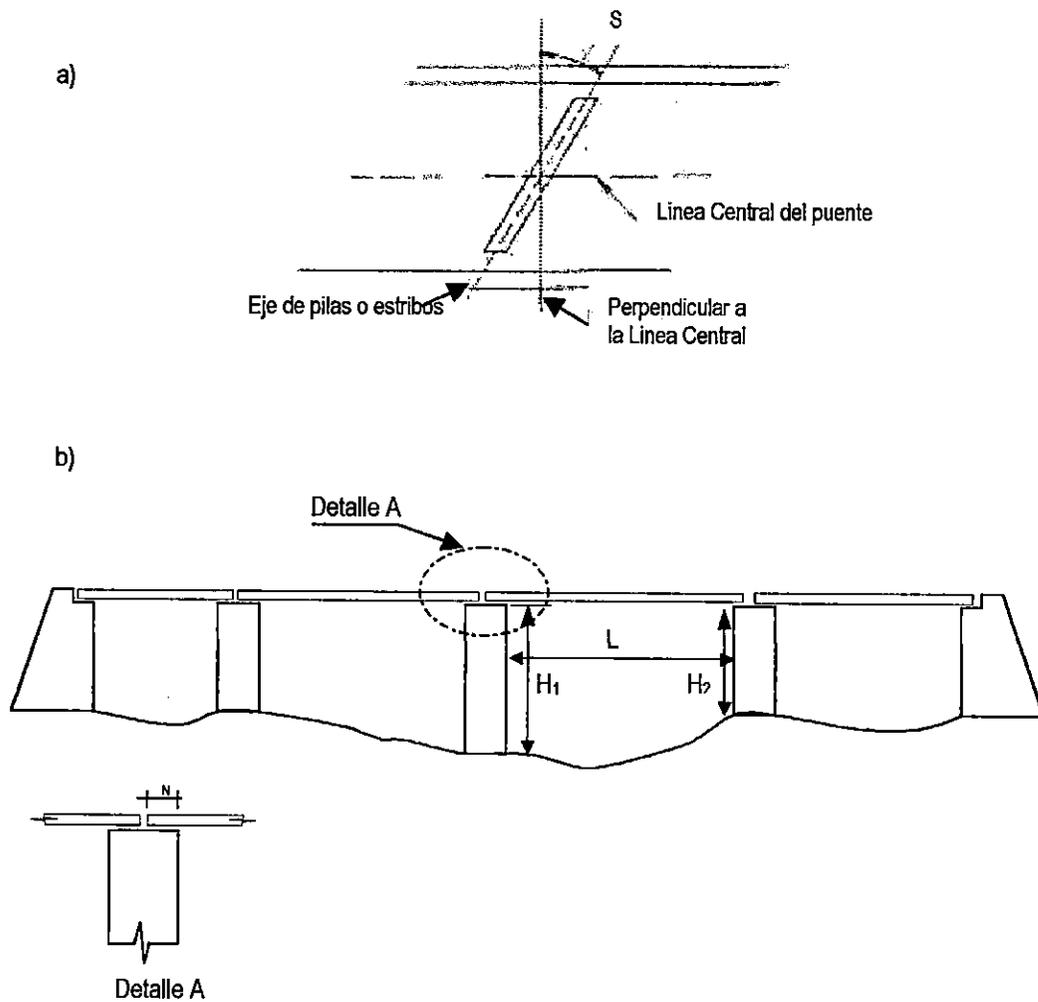


Figura 3.10. Parámetros de Longitud de apoyo mínima permitida. a) Angulo de esviaje(S), b) Detalle de parámetros.

$$\text{Longitud de apoyo relativa} = \text{LAR} = \frac{\text{Longitud de apoyo actuante}}{\text{Longitud de apoyo mínima permitida}}$$

Donde la longitud de apoyo actuante se tomará de la tabla 5 del formato de inspección principal de puentes.

Para evaluar el índice de funcionalidad se tomara el factor de longitud de apoyo más desfavorable del puente.

TABLA 3.15 FACTOR DE LONGITUD DE APOYO

LONGITUD DE APOYO RELATIVA	FACTOR DE LONGITUD DE APOYO
LAR < 1	1.0
1 < LAR ≤ 2	0.6
2 < LAR	0.3
Apoyo articulado	0.1
Puentes Integrales	0.0

El índice de funcionalidad se define como:

$$\text{Índice de Funcionalidad} = \frac{\text{factor de deflexión} + \text{factor de longitud de apoyo}}{2}$$

El Índice de Funcionalidad representa el 10% de la Vulnerabilidad Estructural.

#### 17. INDICE DE PERÍODO DE VIBRACION

Este índice se refiere a la acción del suelo sobre la estructura y el posible daño que podría sufrir.

Se determina calculando los períodos de vibración del suelo y la estructura y su posible cercanía a la resonancia del puente.

En la determinación del período natural del suelo, previamente se deben obtener las velocidades de propagación de las ondas de cortante. Se proponen tres ecuaciones que incluyen datos experimentales del suelo tales como ángulo de fricción del suelo, relación de vacíos, esfuerzos efectivos y confinantes, compresión no confinada, número de golpes y otros datos provenientes de estudios de suelos.

Para la evaluación del período de vibración real deberá realizarse procedimientos de medición de vibración de la estructura con equipo especializado.

Con los resultados de estudios de suelos se determinará el período actual de éste.

Las ecuaciones recomendadas para calcular el período del suelo son las siguientes:

Las ecuaciones por J. R. Hall, F. E. Richart y R. D. Woods (USA 1970) (Columna de Resonancia):

- Para arenas limpias y gravas, y  $e < 0.80$

$$V_{so} = 160.40(2.17 - e) \sigma_c^{0.25}$$

- Para suelo coherente angular, y  $e < 0.60$

$$V_{so} = 109.70(2.97 - e) \sigma_c^{0.25}$$

$$\sigma_c = (1 + 2 K_o) / 3 * \sigma_i$$

$$K_o = (1 - \text{Sen } \phi)$$

donde :

$V_{so}$  = velocidad de las ondas de corte, m/seg.

$\sigma_c$  = esfuerzo confinante, Kg / cm<sup>2</sup>

$\sigma_i$  = esfuerzo efectivo vertical, Kg / cm<sup>2</sup>

$\phi$  = ángulo de fricción del suelo

$e$  = relación de vacíos

Las ecuaciones de T. Imai, F. Fumoto et al, (1975) Japón (Método del Registro P.S.)

$$V_{so} = 138.30 q_u^{0.417}$$

$$V_{so} = 89.80 N^{0.341}$$

Donde:

$V_{so}$  = velocidad de las ondas de corte, m/seg.

$q_u$  = compresión no confinada, kg. / seg.

$N$  = número de golpes por pie (S.P.T.)

Las ecuaciones del DR. Leonardo Zeevaert (México 1964) (Péndulo de Torsión)

Para sedimentos cohesivos:

$$\mu = \mu^o e^{(n\sigma_c)}$$

Para suelos no cohesivos:

$$\mu = C_s \sigma_c^n$$

$$V_{so} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

donde:

$V_{so}$  = velocidad de las ondas de corte, m/seg.

$\mu^o$  = módulo de rigidez

$\sigma_c$  = presión confinante

$\rho$  = peso volumétrico.

Cálculo del período del suelo:

$$T_s = 4D / V_{so}$$

Donde:

$T_s$  = período del suelo, seg.

$V_{so}$  = velocidad de propagación de ondas de corte, m/seg

$D$  = espesor del desplante de cimentación, m.

La evaluación del índice de período de vibración se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Período de Vibración} = 1 - \left| \frac{T_e - T_s}{T_e} \right|$$

donde:

$T_e$  = período de vibración de la estructura, seg.

$T_s$  = período del suelo, seg.

Cuando el puente, sea soportado por estribos macizos, el índice de período de vibración se calificara con cero (0).

Este índice representa el 15% de la Vulnerabilidad Estructural

## 18. INDICE DE DUCTILIDAD

Para la obtención del Índice de Ductilidad, se evaluará la ductilidad demandada y la ductilidad ofrecida de la estructura.

Ductilidad Demandada.

Usualmente, es antieconómico diseñar una estructura para responder en el rango elástico ante un sismo de considerable magnitud, subsecuentemente las fuerzas sísmicas de diseño para tales eventos extremos son muy elevadas. Las normas generalmente recomiendan fuerzas de diseño para estructuras dúctiles que son significativamente menores que las fuerzas de inercia de respuesta elásticas inducidas por un sismo grande, y proporcionan la característica de estructuras dúctiles con lo que son capaces de resistir sismos.

Las estructuras dúctiles diseñadas para fuerzas sísmicas relativamente pequeñas pueden resistir sismos grandes por su capacidad de sufrir grandes deformaciones en el rango post elástico manteniendo su nivel

de resistencia, y su habilidad para disipar energía impartida por el sismo a la estructura. Generalmente las estructuras son diseñadas para que durante un gran terremoto las deformaciones post elásticas ocurran por flexión antes que por cortante, en la zona de rotulación plástica previamente definida de la estructura.

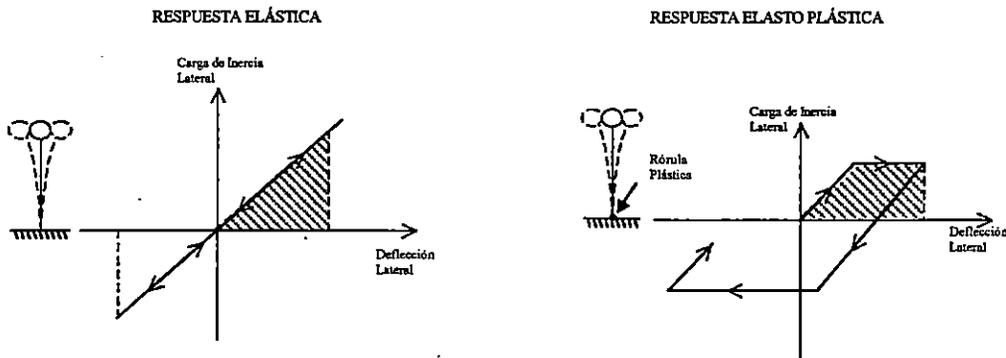


Figura 3.11 Respuesta Sísmica de una Estructura simple

Una medida de la ductilidad requerida de las estructuras es el factor de ductilidad que es la razón de la máxima o última deformación a la deformación correspondiente al inicio de la fluencia. Los factores de ductilidad pueden ser expresados en términos de desplazamientos, rotaciones, curvaturas o deformaciones.

El factor de ductilidad de desplazamientos se define como:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Donde:  $\Delta u$  = Desplazamiento horizontal máximo o último

$\Delta y$  = Desplazamiento horizontal en la primera fluencia

Similarmente, los factores de rotación, curvatura y deformación se definen como  $\theta_u/\theta_y$ ,  $\phi_u/\phi_y$ ,  $\epsilon_u/\epsilon_y$ , respectivamente.

Se debe diferenciar la ductilidad ofrecida por la estructura de la ductilidad demandada por el sismo. En particular la ductilidad de rotación y de curvatura ofrecida por la estructura depende únicamente de las propiedades, su sección transversal tales como geometría, detallado del acero de refuerzo y resistencia de los materiales, se obtiene de la gráfica momento-curvatura para la sección del elemento. La ductilidad demandada depende de la magnitud e intensidad del sismo y puede obtenerse de un análisis dinámico

inelástico de la historia en el tiempo de la estructura del puente. La ductilidad ofrecida por la estructura debe ser mayor o igual a la ductilidad demandada por el sismo para evitar el colapso de la estructura. En la figura 3.11 se muestra la relación entre la carga lateral y el desplazamiento horizontal, se aprecia la idealización de dicha relación para los desplazamientos característicos de la pila de un puente. Para la mayoría de puentes donde la ductilidad se debe a rotulación plástica por flexión en columnas, la capacidad dúctil estará limitada por el desplazamiento horizontal máximo ( $\Delta_u$ ) capaz de alcanzar la columna del puente. El desplazamiento último  $\Delta_u$  es el correspondiente a la deformación última del concreto en compresión. La ductilidad en la zona de la rótula plástica de una estructura dúctil puede expresarse en función del factor de ductilidad de curvatura  $\phi_{max}/\phi_y$ , donde  $\phi_{max}$  es la máxima curvatura de la sección y  $\phi_y$  es la curvatura de la sección al iniciar la fluencia. La relación entre la ductilidad de curvatura en la rótula plástica y la ductilidad de desplazamientos puede ser determinada considerando la geometría de las deformaciones de la estructura del puente. La figura 3.12 ayuda a establecer la relación.

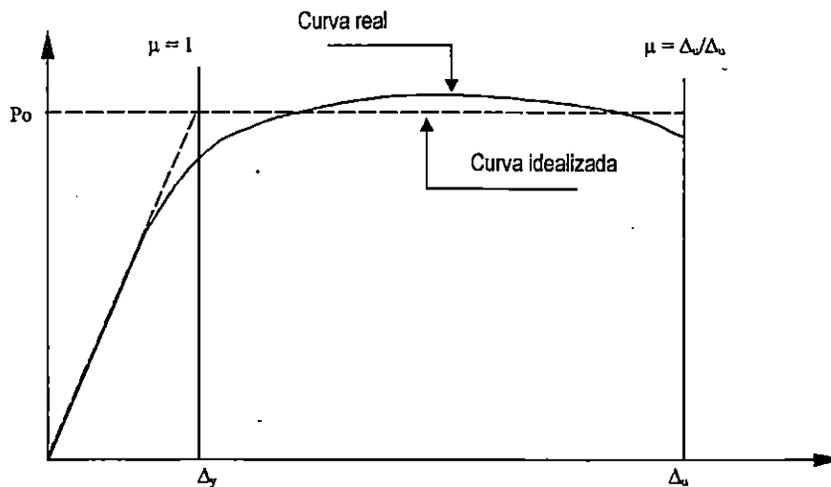


Figura 3.12 Diagrama momento curvatura real e idealizado.

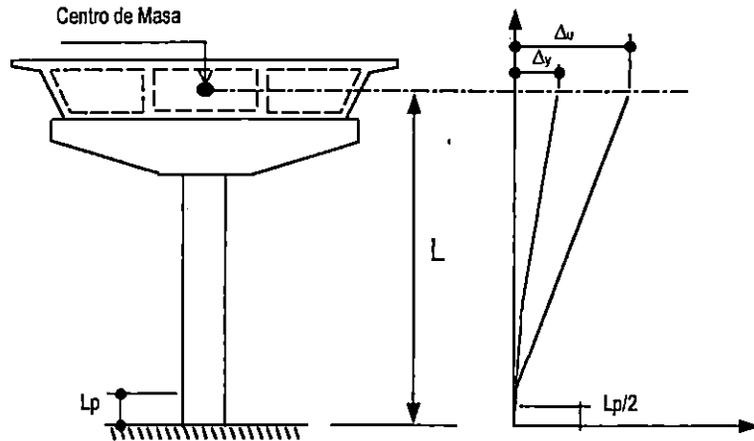


Figura 3.13 Desplazamiento lateral último y al ocurrir la primera fluencia

Asumiendo un comportamiento lineal elástico en el inicio de la fluencia y un diagrama triangular de momento en la columna debido a la carga sísmica horizontal, el desplazamiento horizontal en el centro de masa de la superestructura cuando ocurre la primera fluencia en la base de la columna es:

$$\Delta y = \frac{\phi_y L^2}{3}$$

donde:

$$\phi_y = \frac{M_y}{E_c I_c}$$

es la curvatura en la base de la columna al inicio de la fluencia,  $E_c$  es el módulo de elasticidad del concreto,  $I_c$  es el momento de inercia de la agrietada,  $M_y$  es el momento de fluencia, y  $L$  es la distancia de la base de la columna al centro de masa de la superestructura. El desplazamiento horizontal en el centro de masa de la superestructura puede ocurrir por rotación plástica que ocurre en la longitud de la rotulación plástica ( $L_p$ ). Asumiendo que la rotación plástica  $\phi_p$  está concentrada en el centro de la rótula plástica, el desplazamiento horizontal total del centro de masa puede ser escrito como:

$$\Delta_{\max} = \Delta_y + \theta_p (L - 0.5L_p)$$

donde:

$$\theta_p = (\phi_{\max} - \phi_y)L_p$$

y  $\phi_{\max}$  es la curvatura máxima en la base de la columna.

El factor de ductilidad de desplazamientos

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

puede escribirse como:

$$\mu = 1 + \frac{\phi_{\max} - \phi_y}{\Delta_p} L_p (L - 0.5L_p)$$

$$\therefore \mu = 1 + 3 \left( \frac{\phi_{\max}}{\phi_y} - 1 \right) \frac{L_p}{L} \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L} \right)$$

Resultados experimentales indican que un valor razonable promedio para la longitud de rotulación plástica es la mitad de la dimensión de la sección en la dirección de análisis  $L_p = 0.5 h$ , donde h es el peralte de la sección en la dirección de la carga sísmica.

El índice de ductilidad se evaluará a través del Balance de Ductilidad (Bd), que consiste en la diferencia entre la ductilidad ofrecida y ductilidad demandada. Como se mencionó anteriormente, la ductilidad ofrecida es una característica propia de la estructura, y la ductilidad demandada es la exigida por el sismo.

$$B_d = \mu_{\text{ofr}} - \mu_{\text{dem}}$$

donde:

$B_d$  = Balance de ductilidad

$\mu_{\text{ofr}}$  = Ductilidad ofrecida

$\mu_{\text{dem}}$  = Ductilidad demandada

El índice de ductilidad se encontrará de la siguiente forma:

- Si  $B_d \leq 0$  Índice de Ductilidad = 1.0
- Si  $B_d > 0$  el Índice de ductilidad se obtendrá en base a la ductilidad demandada de la siguiente forma.

TABLA 3.16 INDICE DE DUCTILIDAD

Ductilidad de desplazamientos ( $\mu$ )	Índice de Ductilidad
$\mu < 1$	0.0
$1 \leq \mu < 2$	0.4
$2 \leq \mu < 3$	0.6
$3 \leq \mu < 4$	0.7
$4 \leq \mu < 5$	0.8
$5 \leq \mu < 6$	0.9
$\mu \geq 6$	1.0

Cuando el puente, sea soportado por estribos macizos, el índice de ductilidad se calificara con cero (0).

Este índice representa el 15% de la vulnerabilidad estructural.

## 19. INDICE DE COLAPSO POR PANDEO GEOMETRICO

Este índice está en función del factor  $\alpha$ , el cual define el valor de incremento de carga, necesario para determinar la carga crítica que producirá que el sistema portante de un puente, colapse debido a falla por estabilidad geométrica.

El factor  $\alpha$  resulta de un análisis de estabilidad definido para  $\alpha > 0$ . (Anexo A-4)

### INTERPRETACION DEL FACTOR $\alpha$

1. Valores de  $\alpha$  comprendidos entre 0 y 1 ( $0 < \alpha < 1$ ), indica que el sistema portante del puente ya ha colapsado ( el sistema ha perdido su capacidad de carga), debido a las cargas externas que actúan sobre él.
2. Cuando  $\alpha = 1$ , indica que justamente ese valor de carga crítica, que produciría el colapso de la estructura.
3. Cuando  $\alpha > 1$ , refleja que el sistema portante del puente, posee reservas en su capacidad de carga con respecto a la carga crítica.
4. Si  $\alpha \gg 1$  ( $\alpha \rightarrow \infty$ ), igualmente se incrementa la seguridad de la estructura.

Entonces el Índice de Colapso por Pandeo Geométrico se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Índice de Colapso por pandeo Geometrico} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}$$

### 3.6.1 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ( V )

Este índice representa la vulnerabilidad global de un puente; refleja el nivel de daño que éste presenta ante diferentes solicitaciones de carga, fenómenos naturales o eventos extraordinarios que afecten su buen funcionamiento. Es resultado de la evaluación realizada a cada uno de ellos, a través de las inspecciones principales, un análisis estructural (un análisis dinámico no lineal) e información relacionada, la cual sirve para tener un conocimiento más detallado.

Para la evaluación de la vulnerabilidad estructural se definen dos niveles de vulnerabilidad, cada uno de ellos recoge la calificación recibida por los parámetros agrupados en él.

Vulnerabilidad Nivel I es definida como, la vulnerabilidad evaluada con parámetros que no necesitan de un análisis estructural para ser cuantificados, en este nivel están incluidos, el índice de Ubicación, índice de

Norma Usada para el Diseño, índice de Estado Estructural, índice de Tipo de Sistema Estructural y el índice de Funcional. La Vulnerabilidad Nivel I se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 0.8311+0.8412+0.8313+514+0.8315+1.6416$$

Vulnerabilidad Nivel II ( $V_{II}$ ) es definida como, la vulnerabilidad evaluada con aquellos parámetros que necesitan de un análisis estructural para ser cuantificados; en este nivel están incluidos, el índice de Periodo de Vibración, índice de Ductilidad é índice de Colapso por Pandeo Geométrico. La Vulnerabilidad Nivel II se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 3.7517+3.7518+2.519$$

Obtenidos estos resultados, el índice de Vulnerabilidad Estructural se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 0.6*\text{Vulnerabilidad Nivel I} + 0.4*\text{Vulnerabilidad Nivel II}$$

Debiéndose interpretar los valores resultantes de la evaluación del índice de vulnerabilidad de la forma siguiente:

TABLA 3.17 INTERPRETACION DE INDICE DE VULNERABILIDAD

$0 \leq V < 2.5$	No es Vulnerable	No Prioritario
$2.5 \leq V < 5.0$	Poco vulnerable	Prioridad 4
$5 \leq V < 7.5$	Medianamente Vulnerable	Prioridad 3
$7.5 \leq V < 9$	Muy Vulnerable	Prioridad 2
$9 \leq V$	Altamente Vulnerable	Prioridad 1

### 3.7 METODOS ALTERNATIVOS DE EVALUACIÓN DE PUENTES, CUANDO NO SE TIENEN PLANOS NI MEMORIA DE CALCULO.

#### 3.7.1 SISTEMAS DE IDENTIFICACION

Para determinar la Vulnerabilidad Nivel II, en la evaluación de la Vulnerabilidad Estructural, es necesario conocer las características y comportamiento estructural del puente, auxiliándose para ello, planos y memoria de cálculos. Cuando no es posible contar con estos, existen procedimientos y técnicas de evaluación, con las cuales puede determinarse todos los datos necesarios para evaluar la Vulnerabilidad.

Estas técnicas y procedimientos de evaluación no destructivas, pueden ser clasificadas en globales y locales, dependiendo si se quiere evaluar elementos componentes de una estructura o todo el sistema. Las evaluaciones locales, utilizan métodos de identificación local, empleando usualmente pruebas de ultrasonido, emisiones acústicas, radiografías, entre otras. Para evaluar globalmente una estructura, generalmente se utilizan procedimientos llamados Sistemas de Identificación, los cuales son un proceso para modelar un sistema con datos disponibles de la estructura. En el contexto de valorar el comportamiento de una estructura, el modelo del sistema es diseñado para seleccionar medidas de la respuesta estática o dinámica e identificar cambios en parámetros estructurales y por consiguiente descubrir el deterioro local en los elementos. Esencialmente, estos métodos varían por los algoritmos utilizados para estimar los parámetros estructurales, los índices para evaluar daños, y esquemas de la localización de daños, así como la posible utilización de simulaciones en laboratorio.

A continuación se explica el modelo de un Sistema de identificación, conocido como identificación Estructural (St-Ld), que puede ser utilizado en nuestro país como alternativa para la evaluación de puentes.

En este se desarrolla un modelo de análisis de la estructura. Este modelo se sustenta en seis pasos básicos a seguir:

1. El desarrollo de modelos a priori
2. Experimentos de diseño
3. Pruebas de escala máximas
4. Procesamiento de datos
5. Modelos de calibración y estimación de parámetros
6. Utilización

Este método se alimenta de datos de inspecciones, en los que se detalla la condición de la estructura y se asignan calificaciones de 0-9 o 0-5, según sea el caso. La escala de calificación varía del método utilizado y como o por quien sea implementado

Los resultados son obtenidos de la estimación de parámetros (propiedades modales de la estructura), capaces de simular la respuesta actual de la estructura.

*Modelos a priori:* son desarrollados al iniciar el proceso de representación o modelación de la estructura con toda aquella información obtenida en un procedimiento de inspección en el cual se recolecta toda la información necesaria referente a configuración geométrica, propiedades de los materiales, conexiones, fundación, propiedades del suelo, etc. Para la obtención de resultados cercanos al comportamiento real

que presenta la estructura se utilizan simulaciones con modelos de elementos finitos, siendo adaptables a los procedimientos de optimización utilizados en la estimación de parámetros.

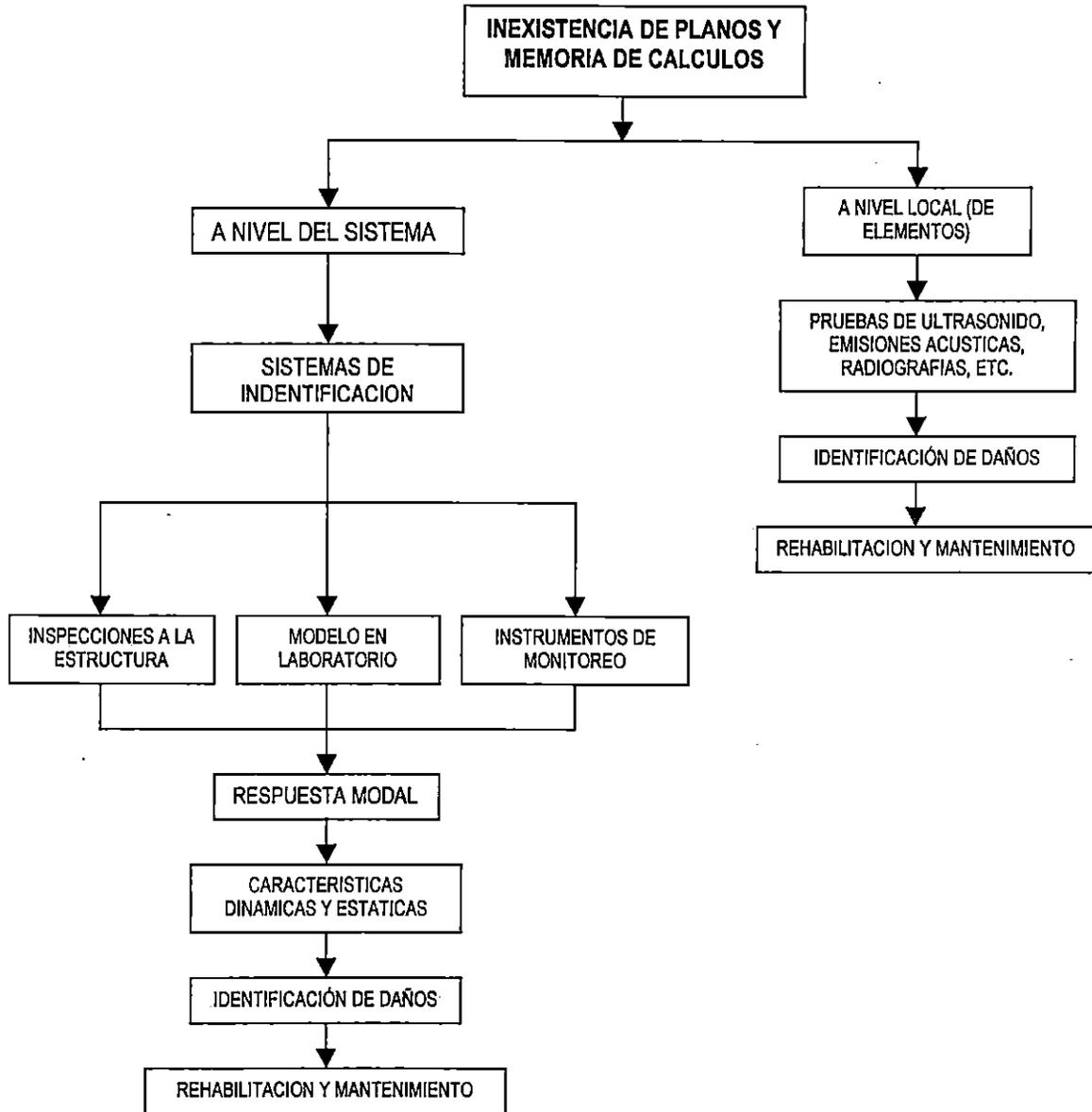


Figura 3.14 Métodos utilizados cuando no se tienen planos ni memoria de calculo.

*Experimentos de Diseño:* en este paso, se requiere la selección de los datos de entrada a utilizar cargas muertas y vivas, excitaciones sísmicas, temperatura, y sensores (usando el registro de datos de entrada y respuestas calculadas). Los sensores son equipos, que proporcionan información referente a la respuesta de la estructura.

La información tecnológica requerida para diferentes experimentos de diseño, son importantes y pueden ser muy numerosos. Se necesita una amplia experiencia en el diseño, construcción y evaluación de estructuras para general el modelo para la consecución de resultados satisfactorios.

*Pruebas de escala máxima:* incluye instrumentos de monitoreo para pruebas estáticas, dinámicas y pruebas de impacto. Las pruebas son llevadas a cabo con diferentes combinaciones de cargas de impacto, fuerzas sísmicas y cargas estáticas.

Los resultados del monitoreo de las pruebas estáticas son utilizados para establecer parámetros geométricos. Mientras que los resultados de las pruebas de impacto son utilizadas para verificar el comportamiento global del sistema, localizar mecanismos, localizar mecanismos críticos de la estructura.

*Procesamiento de datos:* para ello, es necesario considerar que los datos son validos y asegurarse que son originados por un instrumento y un procedimiento de medición fiable, la estimación y verificación de parámetros puede llevarse a cabo con la calibración y depuración constante del sistema.

Los factores para cada sensor o instrumento de medición, pueden ser calculados usando métodos probabilísticos, comportamiento físico, principios estructurales y juicios ingenieriles.

*Calibración del modelo y parámetros de estimación:* implica la identificación de parámetros geométricos críticos utilizando procesos estáticos y modales de los datos obtenidos en el paso anterior. El procedimiento de calibración refina las características geométricas globales y locales, utilizando elementos finitos. El modelo refinado debe unificar y representar la estructura física real.

*Utilización:* la utilización del modelo de elementos finitos calibrado, incluye la forma en que las interpretaciones y utilización de los resultados, puedan ser aplicadas en investigaciones futuras y en el mantenimiento del puente.

### **3.7.2 VULNERABILIDAD PROYECTADA ( $V_P$ )**

La Vulnerabilidad Proyectada, es un concepto que se ha introducido para su aplicación en aquellos casos donde no se disponga de información suficiente, para calcular la Vulnerabilidad Nivel II o cuando se desee obtener un estimado del valor de Vulnerabilidad Estructural que podría presentar el puente. Entonces la Vulnerabilidad Proyectada será un valor obtenido en relación al valor de Vulnerabilidad Nivel I, la cual proporciona una proyección del valor esperado del índice de Vulnerabilidad Estructural, y se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = k + 0.6 * \text{Vulnerabilidad Nivel I}$$

donde:

k = constante de incremento de Vulnerabilidad Proyectada

TABLA 3.18 CONSTANTE PARA EL CALCULO DE  $V_P$

Valor de la constante k	Rango de Vulnerabilidad Nivel I
0.75	$V_I < 5$
1.50	$5 \leq V_I < 7.5$
3.00	$7.5 \leq V_I$

## **CAPITULO IV**

# **APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE PUENTES EN EL SALVADOR**

## **4.1 PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO**

### **4.1.1 DESCRIPCION**

El puente Don Luis de Moscoso se encuentra ubicado en la carretera CA-01, en el departamento de San Miguel, sobre el río Grande de San Miguel.

El puente consta de tres claros. Posee una longitud total de 139.90 metros, con dos claros de 36.90 y de 65.00 metros el claro central. La estructura es de tipo viga cajón, con una viga cajón en cada tramo, que a la vez actúa como losa.

Se describen a continuación los datos generales de la estructura:

Especificaciones de los materiales para los elementos estructurales:

- Para las vigas  $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ , el acero de preesfuerzo posee resistencia última de  $18,900 \text{ kg/cm}^2$
- Para pilas  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$

Las vigas están soportadas en los estribos, a través de apoyos tipo pot y en las pilas se encuentran unidos de forma integral.

En todos los claros la viga cajón es de peralte variable, desde los apoyos hasta el centro del claro. Las pilas son de tipo pared, de forma compuesta por un rectángulo y dos semicírculos en los extremos.

### **4.1.2 INSPECCIONES**

Se presenta a continuación los formatos de inventario básico (IBP) e inspección principal (IPP), efectuada al puente Don Luis de Moscoso.



IPP

CODIGO M O R S M 1 7 P R 1 2 3 4 C A 0 1 1 4 2 + 8 0 0

NOMBRE DEL PUENTE: DON LUIS DE MOSCOSO

## 1. CAPA DE RODAMIENTO

TIPO	A	
PROBLEMA	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	5	-
CONDICIÓN	0	

OBSERVACIONES:

## 2. CALZADA

ANTES DEL PUENTE	Ancho	8.00	No de carriles	2	Condición	1
EN EL PUENTE	Ancho	8.00	No de carriles	2	Condición	1
DESPUES DEL PUENTE	Ancho	8.00	No de carriles	2	Condición	1

OBSERVACIONES:

## 3. JUNTAS DE EXPANSIÓN.

APOYO	E1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	E2	
TIPO	A		-	-					A	
PROBLEMA	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	1	3	3	3	3	3	3	3	1
	4	0	4	4	4	4	4	4	4	0
	5	1	5	5	5	5	5	5	5	1
CONDICIÓN	2								2	2

OBSERVACIONES:

## 4. APARATOS DE APOYOS

APOYO	E1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	E2	
TIPO	B								B	
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	3	0	3	3	3	3	3	3	3	0
	4	1	4	4	4	4	4	4	4	1
	5	2	5	5	5	5	5	5	5	2
	6	2	6	6	6	6	6	6	6	2
	7		7	7	7	7	7	7	7	
CONDICIÓN	2								2	2

OBSERVACIONES:

INSPECTOR: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

5. LONGITUDES DE APOYO

APOYO	E1		P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		E2	
	IZQ.	DER.																
LONG.	1.34																1.34	
(mts)																		

OBSERVACIONES:

6. DISTANCIA VERTICAL LIBRE

CLARO	E1 - P1		P1 - P2		P2 - P3		P3 - P4		P4 - P5		P5 - P6		P6 - P7		P7 - E2	
	ALT.	COND.	ALT.	COND.	ALT.	COND.	ALT.	COND.	ALT.	COND.	ALT.	COND.	ALT.	COND.	ALT.	COND.
	BAJO EL PUENTE	11.40	1	13.50	1											10.50
SOBRE EL PUENTE	-	1	-	1											-	1

OBSERVACIONES:

7. SUPERESTRUCTURA

CLARO	E1 - P1		P1 - P2		P2 - P3		P3 - P4		P4 - P5		P5 - P6		P6 - P7		P7 - E2		
	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	TABLERO	
SIST. ESTRUCT.	7		7												7		
COND. DE APOYO	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
ELEMENTO	LONGITUDINAL	DIAFRAGMA	LONGITUDINAL	DIAFRAGMA	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	DIAFRAGMA	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	DIAFRAGMA	LONGITUDINAL	TABLERO	LONGITUDINAL	DIAFRAGMA	TABLERO
TIPO	D	-	D	-											D	-	-
PROBLEMA	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2
	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3
	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4
	5	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5
	6	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	6
	7	0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0	7
	8	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0	8
CONDICIÓN	0		0												0		0

OBSERVACIONES

INSPECTOR:

FECHA: / /

IPP

CODIGO M O R S M 1 7 P R 1 2 3 4 C A 0 1 1 4 2 + 8 0 0

8. SUBESTRUCTURA

APOYO	E1				P1			P2			P3			P4			P5			P6			P7			E2										
SIST. ESTRUCC	7				1			1																		7										
TIPO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																			A	A	A	A				
ELEMENTO	CAPITEL	MURO FRONTAL	PEDESTAL	MURO LATERAL	CAPITEL	FUSTE	PEDESTAL	CAPITEL	MURO FRONTAL	PEDESTAL	MURO LATERAL																									
PROBLEMA	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 0	1 0	1 0	1 0
2 0	2 0	2 0	2 0	2 0	2 0	2 0	2 0	2 0	2 0	2 0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 0	2 0	2 0	2 0
3 0	3 0	3 0	3 0	3 0	3 0	3 0	3 0	3 0	3 0	3 0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 0	3 0	3 0	3 0
4 0	4 0	4 0	4 0	4 0	4 0	4 0	4 0	4 0	4 0	4 0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4 0	4 0	4 0	4 0
5 0	5 0	5 0	5 0	5 0	5 0	5 0	5 0	5 0	5 0	5 0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5 0	5 0	5 0	5 0
6 0	6 0	6 0	6 0	6 0	6 0	6 0	6 0	6 0	6 0	6 0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6 0	6 0	6 0	6 0
7 0	7 0	7 0	7 0	7 0	7 0	7 0	7 0	7 0	7 0	7 0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7 0	7 0	7 0	7 0
8 0	8	8	8	8	8 0	8 0	8	8 0	8 0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8 0	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
CON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																			0	0	0	0				
																																	0			

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

INSPECTOR: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

IPP

CODIGO M O R S M 1 7 P R 1 2 3 4 C A 0 1 1 4 2 + 8 0 0

## 9. FUNDACIONES

PILAS Y ESTRIBOS	E1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	E2
SIST. ESTRUCTURAL	-	-	-						-
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CONDICIÓN	0	0	0						0 0

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## 10. ACCESOS

ESTRIBO	E1			E2				
ELEMENTO	RAMPA	RECUBRIMIENTO	TERRAPLEN	RAMPA	RECUBRIMIENTO	TERRAPLEN		
	A	A	A	A	A	A		
PROBLEMA	1	0	1	0	1	0	1	0
	2		2	0	2	0	2	0
	3		3	0	3	0	3	0
	4		4	0	4	0	4	0
CONDICIÓN	0	0	0	0	0	0	0	0

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## 11. ACERAS Y BARANDAS

ACERA	TIPO	IZQUIERDA		DERECHA		
	PROBLEMA	A		A		
ACERA	1		0	1	0	
	2		0	2	0	
	3		0	3	0	
	4			4		
CONDICIÓN		0		0		
BARANDA	TIPO	INTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	
	PROBLEMA	A				
BARANDA	1		1	0	1	0
	2		2	0	2	0
	3		3	0	3	0
	4		4		4	
	5		5		5	
	6		6		6	
	7		7		7	
CONDICIÓN			0		0	0

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

INSPECTOR: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## 12. HIDRAULICO

PILAS Y ESTRIBOS	E1		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	E2				
ELEMENTO	DRENAJE	PROTECCIONES	DRENAJE	PROTECCIONES										
TIPO	D	D	-	-						D	D			
PROBLEMA	1	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0
	2	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0
	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
CONDICION	2	0								2	0			2

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## 13. COMPLEMENTARIOS

ACCESORIO	ILUMINACION	SEÑALIZACION		DRENAJES	SEPARADORES	
		VERTICAL	HORIZONTAL			
CONDICION	2	-	1	2	-	3

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## 14. ZONA SISMISCA

ZONA	I	II
COND.	2	1

## 15. ZONA DE INUNDACION

ZONA	ZI	X
	ZNI	

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## 16. CARGAS

CARGA DE DISEÑO	>=HS-20-40	1
	VALORES INTERMEDIOS	2
	<=H-15	3
SOBRECARGA	T3-S3	

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

INSPECTOR: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

17. RUTA ALTERNA

< 500 mts.	1
500 mts < L. Alterna < 2000 mts.	2
2000 mts	3

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

18. CAUCE

CAUCE	AGUAS ARRIBA						AGUAS ABAJO					
	IZQUIERDO			DERECHO			IZQUIERDO			DERECHO		
	OBRAS DE PROTECCION	TALUDES	VEGETACION									
TIPO	-	-	B	-	-	B	-	-	B	-	-	B
PROBLEMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CONDICIÓN			1						1			1

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

19. SOBRE CARGA REAL

CARGAS MAX. POCO INTENSAS	1
CARGAS MAXIMAS FRECUENTES	2
MAYORES QUE REGLAMENTARIAS	3

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

20. MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO FRECUENTE	1
MANTENIMIENTO ESPORADICO	2
FALTA ABSOLUTA DE MANTENIMIENTO	3

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

INSPECTOR: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

IPP

CODIGO

M

O

R

S

M

1

7

P

R

1

2

3

4

C

A

0

1

1

4

2

+

8

0

0

## 21. SENSIBILIDAD REGIONAL

EL MEDIO AMBIENTE ES IDEAL	1
REQUIEREN ALGUNAS ACCIONES PARA PROTEGERLO DEL MEDIO AMBIENTE	2
REQUIEREN ACCIONES URGENTES PARA PROTEGERLO DEL MEDIO AMBIENTE	3

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 22. ANTIGÜEDAD DEL PUENTE

ANTIGÜEDAD < 40 AÑOS	1
ANTIGÜEDAD > 40 AÑOS	2

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 23. IMPORTANCIA FUNCIONAL

ZONA AGRICOLA O GANADERA	1	2	3
ZONA TURISTICA	1	2	3
IMPORTANCIA MILITAR	1	2	3
FUENTE DE MATERIALES	1	2	3
IMPORTANCIA ESTRATEGICA	1	2	3

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 24. MAGNITUD DEL TRABAJO DE REPARACION

NO ES IMPORTANTE	1
NORMAL	2
MUY GRANDE	3

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

INSPECTOR: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### 4.1.3 EVALUACION DE VULNERABILIDAD.

##### 11 INDICE DE UBICACION.

###### 1.1 Zona Sísmica

De tabla 14 del formato de Inspecciones Principales en Puentes, tenemos que el puente se encuentra ubicado en la zona I y de acuerdo a lo establecido en la metodología de evaluación de los índices de vulnerabilidad:

$$\text{Índice para Zona I} = 1.00$$

###### 1.2 Zona de Inundación.

De tabla 15 del formato de Inspecciones Principales en Puentes, el puente se encuentra ubicado en una zona no inundable, por lo que de acuerdo con la tabla 3.5 Índice de zona de inundación, ZNI = 0.3

entonces

$$\text{Índice de Ubicación} = \frac{1.0 + 0.3}{2}$$

$$\text{Índice de Ubicación} = 0.65$$

##### 12. INDICE DE TRÁFICO

###### 2.1 Carga de Tráfico

De la tabla 16 del formato de inspección principal de cada puente, se tiene:

Carga de Trafico de Diseño = HS-25

Carga de Trafico Real = T3-S3

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = \frac{\text{carga de tráfico real}}{\text{Carga de trafico de diseño}}$$

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = 1.28$$

De tabla 3.6 Carga de Trafico, el valor de carga de tráfico es:

Carga de Trafico = 0.60

###### 2.2 Importancia de la Carretera.

El puente está ubicado en la CA-01, considerada como vía primaria.

De tabla 3.7 Factor de Clasificación de Red Vial.

Importancia de la Carretera = 1.0

Entonces:

$$\text{Índice de Tráfico} = 0.7 * \text{Carga de Tráfico} + 0.3 * \text{Importancia de la Carretera}$$

$$\text{Índice de Tráfico} = 0.7 * 0.6 + 0.3 * 1.0$$

$$\text{Índice de Tráfico} = 0.72$$

### 13. INDICE DE NORMA USADA PARA EL DISEÑO

El año de construcción del puente es de 1997, entonces, de tabla 3.8 Índice de Norma usada para el Diseño

$$\text{Índice de Norma usada para el Diseño} = 0.20$$

### 14. INDICE DEL ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.

Obteniéndose este índice de los resultados del formato de Inspecciones Principales en puentes

$$I_4 = 0.03 \frac{JE}{4} + 0.05 \frac{AP}{4} + 0.40 \frac{SP}{4} + 0.40 \frac{SB}{4} + 0.05 \frac{FU}{4} + 0.05 \frac{AC}{4} + 0.02 \frac{CA}{4}$$

$$I_4 = 0.03 \frac{(2)}{4} + 0.05 \frac{(2)}{4} + 0.40 \frac{(0)}{4} + 0.40 \frac{(0)}{4} + 0.05 \frac{(0)}{4} + 0.05 \frac{(0)}{4} + 0.02 \frac{(1)}{4}$$

$$\text{Índice del Estado del Sistema Estructural} = 0.045$$

### 15. INDICE DE TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

#### 5.1 Factor de Superestructura

El puente está constituido de tres vanos, entonces, de tabla 3.10 Valoración de Factor de Superestructura

$$\text{Valoración} = 1.0$$

#### 5.2 Factor de subestructura

El tipo de subestructura que posee el puente, son estribos de concreto, tipo pared; se obtiene entonces, de tabla 3.11 Valoración de Factor de Subestructura:

$$\text{Valoración} = 0.70$$

### 5.3 Factor de condiciones de apoyo

La superestructura, se encuentra simplemente apoyada en los estribos, en las pilas, es integral, obteniendo entonces, de tabla 3.12. Valoración de condiciones de apoyo, que se encuentra en condiciones de apoyo intermedio.

$$\text{Valoración} = 0.75$$

$$\text{Índice de Sistema Estructural} = \frac{\text{factor de superestructura} + \text{factor de subestructura} + \text{factor de condiciones de apoyo}}{3}$$

$$\text{Índice de Sistema Estructural} = 0.82$$

## 16. INDICE DE FUNCIONALIDAD

### 6.1 Factor de deflexión.

Se encontró que el tramo mas critico, es el tramo 2 (central).

La deflexión permitida es obtenida de la tabla 3.13

$$\text{Deflexión permitida} = 7.80 \text{ cm}$$

$$\text{Deflexión actuante} = 0.80 \text{ cm}$$

$$\text{Deflexión relativa} = DR = \frac{\text{Deflexión Actuante}}{\text{Deflexión Permitida}}$$

$$DR = 0.10$$

$$\text{De tabla 3.14 factor de deflexión} = 0.20$$

### 6.2 Factor de Longitud de apoyo.

Calculando el valor de N, según la metodología propuesta, para determinar la longitud de apoyo mínima permitida:

$$N = (305 + 2.5L + 10H) (1 + 0.000125 S^2) / 10$$

Se tiene:

Se analizara el tramo 1 y 3, ya que el tramo dos es integral.

Para tramo 1

$$L = 37.50 \text{ mt}$$

$$H = 13.50 \text{ mt}$$

$$S = 0^\circ$$

$$N = (305 + 2.5 (37.50) + 10 (13.50)) (1 + 0.000125 (0)^2) / 10$$

$$N = 53.38 \text{ cm}$$

Para tramo 3

$$L = 60.80 \text{ mt}$$

$$H = 10.50 \text{ mt}$$

$$S = 0^\circ$$

$$N = (305 + 2.5 (60.80) + 10 (10.50)) (1 + 0.000125 (0)^2) / 10$$

$$N = 56.20 \text{ cm}$$

La longitud mínima permitida sería  $N = 56.20$

La longitud actuante, es obtenida de la tabla 5 del formato de Inspecciones Principales en Puentes.

Longitud de apoyo = 1.35

$$\text{Longitud de apoyo relativa} = \text{LAR} = \frac{\text{Longitud de apoyo actuante}}{\text{Longitud de apoyo mínima permitida}}$$

$$\text{LAR} = 2.41$$

De tabla 3.15 Factor de Longitud de Apoyo

$$\text{Factor de Longitud de Apoyo} = 0.30$$

Entonces:

$$\text{Índice de Funcionalidad} = \frac{\text{factor de deflexión} + \text{factor de longitud de apoyo}}{2}$$

$$\text{Índice de Funcionalidad} = 0.25$$

17 INDICE DE PERIODO DE VIBRACIÓN

Período del Suelo

Debido a que no se tienen datos de suelo, se tomara el valor de T de acuerdo a la tabla de propiedades Dinámicas del Suelo de San Salvador.

De donde  $T_s = 0.05 \text{ seg}$

Periodo de la Estructura

Para el calculo del periodo de la Estructura se utilizo el programa Robot Millennium .

Te= 0.32 seg.

$$\text{Indice de Periodo de Vibración} = 1 - \left| \frac{0.32 - 0.05}{0.32} \right|$$

**Indice de Periodo de Vibración = 0.156**

### 18 INDICE DE DUCTILIDAD

Obteniéndose la Ductilidad Demandada,

$$\mu_d = 0.018$$

Ductilidad Ofrecida

$$\mu_{of} = 0.46$$

El Balance de Ductilidad seria entonces:

$$Bd = \mu_{of} - \mu_d = 0.442$$

de tabla 3.16

**Índice de Ductilidad = 0.0**

### 19. INDICE DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO (Estabilidad Lineal)

Utilizando el programa AEAI, para el calculo del factor por pandeo Geométrico (anexo A-3)

$$\alpha = 49.6589$$

**Indice de colapso por pandeo Geométrico = 0.14**

## VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Sustituyendo los valores obtenidos en los índices de vulnerabilidad.

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 0.8311 + 0.8412 + 0.8313 + 514 + 0.8315 + 1.6416$$

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 2.5844$$

Calculo de Vulnerabilidad Nivel II

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 3.7517 + 3.7518 + 2.519$$

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 0.935$$

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 0.6 * \text{Vulnerabilidad Nivel I} + 0.4 * \text{Vulnerabilidad Nivel II}$$

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 1.92$$

De tabla 3.17 el puente Don Luis de Moscoso poco y se considera como de prioridad 4.

Se calculara la vulnerabilidad Proyectada, para ejemplo.

De tabla 3.18  $K = 0.75$

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = K + 0.6 \text{ Vulnerabilidad Nivel I}$$

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = 2.3$$



Fotografía 4.1 Puesto Don Luis de Moscoso

TABLA 4.1 RESUMEN DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

Puente "Don Luis de Moscoso"			
11. Índice de ubicación	Zona Sísmica = 1.00		11 = 0.65
	Zona de Inundación: = 0.3		
12. Índice de Tráfico	Carga de Tráfico	Carga de Tráfico Real = T3-S3	12 = 0.72
		Carga de Tráfico de Diseño = HS-25	
	Importancia de la Carretera	Vías Principales = 1.0	
13. Índice de Norma Usada para el Diseño	Año de Norma = Posterior a 1992		13 = 0.20
14. Índice del Estado del Sistema Estructural	Índice del Estado del Sistema Estructural = 0.045		14 = 0.045
15. Índice de Sistema Estructural	Factor de Superestructura	Puente Viaducto = 1.0	15 = 0.82
	Factor de Subestructura	Tipo Pared = 0.7	
	Factor de Condición de Apoyo	Condición de apoyo intermedio = 0.75	
16. Índice de Funcionalidad	Factor de Deflexión = 0.2		16 = 0.25
	Factor de Longitud de Apoyo = 0.30		
17. Índice de Periodo de Vibración	Periodo de Vibración del Suelo = 0.05 seg.		17 = 0.156
	Periodo de Vibración de la Estructura = 0.32 seg.		
18. Índice de Ductilidad	Índice de Ductilidad = 0.0		18 = 0.0
19. Índice de Colapso por Pandeo Geométrico	Índice de Colapso por Pandeo Geométrico = $\alpha = 49.658$		19 = 0.14
VUL. NIVEL I = 2.58 ( $V_i = 0.8311 + 0.8412 + 0.8313 + 514 + 0.8315 + 1.6416$ )	VUL. NIVEL II = 0.935 ( $V_i = 3.7517 + 3.7518 + 2.519$ )	VUL. EST. = 1.92 ( $V_i = 0.6^*V_i + 0.4^*V_i$ )	VUL. PROY. = 2.3 ( $V_i = k + 0.6^*V_i$ )

## 4.2 PUENTE LA MASCOTA

### 4.2.1 DESCRIPCIÓN.

El puente La Mascota se encuentra ubicado en la Prolongación de la 59 Av. Sur, en el municipio de San Salvador.

Esta estructura consta de dos tramos. Posee una longitud total de 50.00 metros, con claros de 30.00 metros y 20.00 metros. Presenta un esviaje en la dirección NE de 45°.

Se describen a continuación los datos generales de la estructura:

Especificaciones de los materiales para los elementos estructurales:

- Para vigas y diafragmas  $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ , el acero de preesfuerzo posee resistencia última de 18,900  $\text{kg/cm}^2$
- Para losa  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$
- Para pilas  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$

Las vigas longitudinales son de concreto preesforzado AASHTO estándar tipo III, para el tramo de 20.00 mts. y tipo V para el tramo de 30.00 mts. en cada tramo se tienen 7 vigas espaciadas a 2.37 metros.

La losa posee un espesor de 20.00 cms. y esta constituida por elementos de celosía.

Las vigas están soportadas por la pila y los estribos, a través de apoyos elastoméricos reforzados.

Los diafragmas son de concreto reforzado con una sección de 40x 25 cm para las vigas tipo III y de 60x 30 cm para el tipo V.

La superestructura está sostenida por una pila central, la cual es un marco con tres columnas cuyas dimensiones varían desde 1.00 x 0.50 mts. en su parte superior, a 1.65 x 0.50 mts. en la base; la viga de cabezal es de 1.50 mts. de altura y un ancho de 1.64 metros, se encuentra ubicada con un ángulo de 45° con respecto al eje de las columnas.

### 4.2.2 EVALUACION DE VULNERABILIDAD

#### 11. INDICE DE UBICACION.

##### 1.1 Zona Sísmica

De tabla 14 del formato de Inspecciones Principales en Puentes, tenemos que el puente se encuentra ubicado en la zona I y de acuerdo a lo establecido en la metodología de evaluación de los índices de vulnerabilidad:

Índice para Zona I = 1.00

##### 1.2 Zona de Inundación.

De tabla 15 del formato de Inspecciones Principales en Puentes, el puente se encuentra ubicado en una zona no inundable, por lo que de acuerdo con la tabla 3.5 Índice de zona de inundación,

ZNI = 0.3

entonces

$$\text{Indice de Ubicación} = \frac{1.0 + 0.3}{2}$$

$$\text{Indice de Ubicación} = 0.65$$

## 12. INDICE DE TRÁFICO

### 2.1 Carga de Tráfico

De la tabla 16 del formato de inspección principal de cada puente, se tiene:

Carga de Trafico de Diseño = HS-20

Carga de Trafico Real = C3

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = \frac{\text{carga de tráfico real}}{\text{Carga de trafico de diseño}}$$

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = 0.64$$

De tabla 3.6 Carga de Trafico, el valor de carga de tráfico es:

Carga de Trafico = 0.40

### 2.2 Importancia de la Carretera.

El puente se encuentra ubicado en una vía secundaria, por lo que de tabla 3.7 Factor de Clasificación de Red Vial.

Importancia de la Carretera = 0.80

Entonces:

$$\text{Indice de Tráfico} = 0.7 * \text{Carga de Trafico} + 0.3 * \text{Importancia de la Carretera}$$

$$\text{Indice de Tráfico} = 0.7 * 0.4 + 0.3 * 0.8$$

$$\text{Indice de Tráfico} = 0.52$$

### 13. INDICE DE NORMA USADA PARA EL DISEÑO

El puente fue construido recientemente, en 1998, de tabla 3.8 Índice de Norma usada para el Diseño

$$\text{Índice de Norma usada para el Diseño} = 0.20$$

### 14. INDICE DEL ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.

Obteniéndose este índice del formato de Inspecciones Principales en puentes

$$I_4 = 0.03 \frac{JE}{4} + 0.05 \frac{AP}{4} + 0.40 \frac{SP}{4} + 0.40 \frac{SB}{4} + 0.05 \frac{FU}{4} + 0.05 \frac{AC}{4} + 0.02 \frac{CA}{4}$$

$$I_4 = 0.03 \frac{(1)}{4} + 0.05 \frac{(1)}{4} + 0.40 \frac{(4)}{4} + 0.40 \frac{(2)}{4} + 0.05 \frac{(0)}{4} + 0.05 \frac{(3)}{4} + 0.02 \frac{(2)}{4}$$

$$\text{Índice del Estado del Sistema Estructural} = 0.6675$$

### 15. INDICE DE TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

#### 5.1 Factor de Superestructura

El puente posee dos vanos, entonces, de tabla 3.10 Valoración de Factor de Superestructura

$$\text{Valoración} = 1.0$$

#### 5.2 Factor de subestructura

El tipo de subestructura que posee el puente La Mascota es una pila con estructura de marco, por lo que de tabla 3.11 Valoración de Factor de Subestructura:

$$\text{Valoración} = 0.70$$

#### 5.3 Factor de condiciones de apoyo

La superestructura, se encuentra simplemente apoyada en la pila y estribos, obteniendo entonces, de tabla 3.12. Valoración de condiciones de apoyo

$$\text{Valoración} = 1.0$$

$$\text{Índice de Sistema Estructural} = \frac{\text{factor de superestructura} + \text{factor de subestructura} + \text{factor de condiciones de apoyo}}{3}$$

$$\text{Índice de Sistema Estructural} = 0.90$$

## 16. INDICE DE FUNCIONALIDAD

### 6.1 Factor de deflexión.

Se evalúan los dos tramos, obteniéndose resultados mas criticos en el tramo de 30.0 metros.

La deflexión permitida es obtenida de la tabla 3.13

Deflexión permitida = 2.82 cm

Deflexión actuante = 2.19 cm

$$\text{Deflexión relativa} = DR = \frac{\text{Deflexión Actuante}}{\text{Deflexión Permitida}}$$

$$DR = 1.28$$

De tabla 3.14 factor de deflexión = 0.60

### 6.2 Factor de Longitud de apoyo.

Calculando el valor de N, según la metodología propuesta, para determinar la longitud de apoyo mínima permitida:

$$N = (305 + 2.5L + 10H) (1 + 0.000125 S^2) / 10$$

Se tiene:

Para tramo I

L : longitud del claro entre apoyos (mt) = 30.00

H : altura promedio de la(s) pila(s) (mt) = 12.43

S : ángulo de inclinación del soporte medido desde una línea normal al eje longitudinal del claro.(grados) = 45°

$$N = (305 + 2.5 ( 30.00) + 10 ( 12.43)) (1 + 0.000125 (45)^2) / 10$$

$$N = 63.20 \text{ cm}$$

Para tramo II

L = 20.00 mts.

H = 12.43 mts.

S = 45°

$$N = (305 + 2.5 ( 20.00) + 10 ( 12.43)) (1 + 0.000125 (45)^2) / 10$$

$$N = 60.05 \text{ cm}$$

La longitud mínima permitida sería  $N = 63.20\text{cm}$ .

La longitud actuante, es obtenida de la tabla 5 del formato de Inspecciones Principales en Puentes.

Longitud de apoyo = 0.73

$$\text{Longitud de apoyo relativa} = \text{LAR} = \frac{\text{Longitud de apoyo actuante}}{\text{Longitud de apoyo mínima permitida}}$$

$$\text{LAR} = 1.16$$

De tabla 3.15 Factor de Longitud de Apoyo

$$\text{Factor de Longitud de Apoyo} = 0.80$$

Entonces:

$$\text{Índice de Funcionalidad} = \frac{\text{factor de deflexión} + \text{factor de longitud de apoyo}}{2}$$

$$\text{Índice de Funcionalidad} = 0.7$$

## 17. INDICE DE PERÍODO DE VIBRACION

Calculo de Periodo del Suelo

Datos:

$$e = 0.75$$

$$\sigma = 9.5 \text{ ton/m}^2$$

$$\phi = 30^\circ$$

utilizando la ecuación de J. R. Hall

$$V_{so} = 109.70 (2.97 - e) \sigma^{0.25}$$

$$V_{so} = 109.70 (2.97 - 0.75) (0.667 \times 0.95)^{0.25}$$

$$V_{so} = 217.28$$

$$T = 4 D/V_{so} = 0.064 \text{ seg.}$$

Periodo de la Estructura

Para el calculo del periodo de la Estructura se utilizo el programa Robot Millennium .

$$T_e = 1.25 \text{ seg.}$$

Se tiene entonces

$$\text{Indice de Periodo de Vibración} = 1 - \left| \frac{1.25 - 0.064}{1.25} \right|$$

$$\text{Indice de Periodo de Vibración} = 0.0512$$

#### 18. INDICE DE DUCTILIDAD DEMANDADA

Obteniéndose la Ductilidad Demandada, utilizando el Programa NonLin, con los registros del sismo del 10 de octubre de 1986 del CIG 1

$$\mu_d = 2.248$$

para otros sismos, se obtuvo los resultados siguientes:

$$\text{México} = 2.35$$

$$\text{Northridge} = 2.51$$

$$\text{CIG2} = 2.15$$

Ductilidad Ofrecida

$$\mu_{of} = 4.74$$

El Balance de Ductilidad sería entonces:

$$B_d = \mu_{of} - \mu_d = 2.49$$

De tabla 3.16

$$\text{Índice de Ductilidad} = 0.6$$

#### 19. INDICE DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO (Estabilidad Lineal)

Utilizando el programa AEAll, para el cálculo del factor por pandeo Geométrico (anexo A-3)

$$\alpha = 12.561811$$

$$\text{Indice de Colapso por pandeo Geométrico} = \frac{1}{\sqrt{12.5611}}$$

$$\text{Indice de colapso por pandeo Geométrico} = 0.28$$

## VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Sustituyendo los valores obtenidos en los índices de vulnerabilidad.

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 0.8311 + 0.8412 + 0.8313 + 514 + 0.8315 + 1.6416$$

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 6.37$$

Calculo de Vulnerabilidad Nivel II

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 3.7517 + 3.7518 + 2.519$$

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 3.142$$

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 0.6 * \text{Vulnerabilidad Nivel I} + 0.4 * \text{Vulnerabilidad Nivel II}$$

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 5.08$$

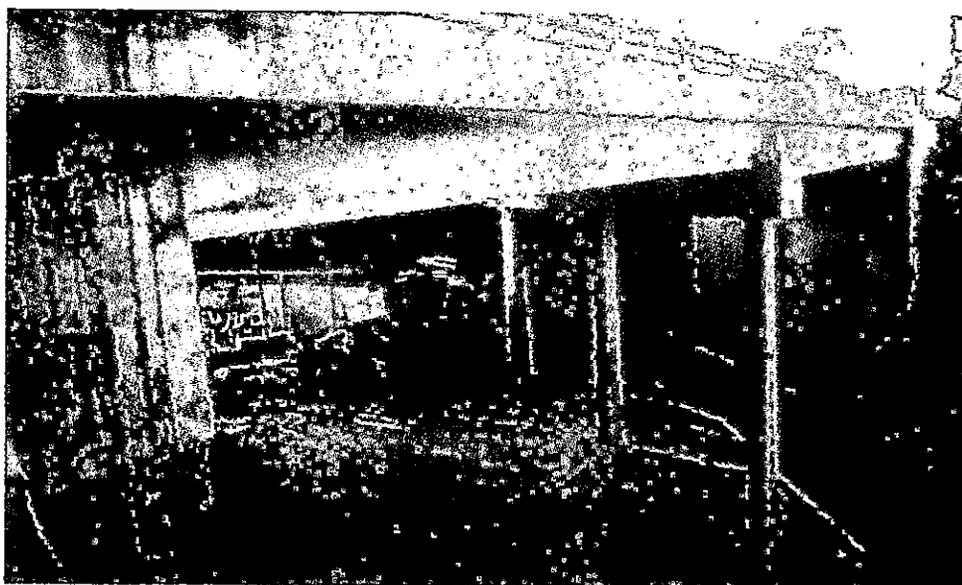
De tabla 3.17 el puente La Mascota es medianamente vulnerable y se considera como de prioridad 3

Se calculara la vulnerabilidad Proyectada, para ejemplo.

De tabla 3.18  $K = 1.50$

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = K + 0.6 \text{ Vulnerabilidad Nivel I}$$

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = 5.32$$



Fotografía 4.2 Puente La Mascota

TABLA 4.2 RESUMEN DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE PUENTE LA MASCOTA

Puente "La Mascota"			
11. Índice de ubicación	Zona Sísmica = 1.00		11= 0.65
	Zona de Inundación: = 0.3		
12. Índice de Tráfico	Carga de Tráfico	Carga de Tráfico Real = C3	12= 0.52
		Carga de Tráfico de Diseño = HS-20	
	Importancia de la Carretera	Vías Secundarias = 0.80	
13. Índice de Norma Usada para el Diseño	Año de Norma = Posterior a 1992		13= 0.20
14. Índice del Estado del Sistema Estructural	Índice del Estado del Sistema Estructural = 0.668		14= 0.668
15. Índice de Sistema Estructural	Factor de Superestructura	Puente Viaducto = 1.0	15= 0.90
	Factor de Subestructura	Estructura de Marco = 0.7	
	Factor de Condición de Apoyo	Simplemente Apoyada = 1.0	
16. Índice de Funcionalidad	Factor de Deflexión = 0.6		16 = 0.70
	Factor de Longitud de Apoyo = 0.8		
17. Índice de Periodo de Vibración	Periodo de Vibración del Suelo = 0.064		17 = 0.0512
	Periodo de Vibración de la Estructura = 2.25		
18. Índice de Ductilidad	Índice de Ductilidad = 0.0		18= 0.0
19. Índice de Colapso por Pandeo Geométrico	Índice de Colapso por Pandeo Geométrico = $\alpha = 12.5611$		19 = 0.28
VUL. NIVEL I= 6.37 ( $V_i = 0.8311 + 0.8412 + 0.8313 + 514 + 0.8315 + 1.6416$ )	VUL. NIVEL II = 3.142 ( $V_i = 3.7517 + 3.7518 + 2.519$ )	VUL. EST. = 5.08 ( $V_i = 0.6^*V_i + 0.4^*V_i$ )	VUL. PROY. = 5.32 ( $V_i = k + 0.6^*V_i$ )

### 4.3 PUENTE ARENAL DE MONSERRAT

#### 4.3.1 DESCRIPCIÓN.

El puente Arenal de Monserrat, se encuentra ubicado en la prolongación de la 59 Av. Sur, en San Salvador.

La estructura consta de un tramo. Posee una longitud total de 31.20 metros. Las vigas se encuentran simplemente apoyadas en los estribos de concreto.

Datos generales de la estructura:

Especificaciones de los materiales para los elementos estructurales:

- Para vigas  $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ , el acero de preesfuerzo posee resistencia última de  $18,900 \text{ kg/cm}^2$
- para diafragmas  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$
- Para losa  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$

Las vigas longitudinales son de concreto preesforzado AASHTO estándar tipo V, se tienen 7 vigas espaciadas a 2.37 metros.

La losa posee un espesor de 20.00 cms. y esta constituida por elementos de celosía.

Las vigas están soportadas por la pila y los estribos, a través de apoyos elastoméricos reforzados con placas de acero.

Los diafragmas son de concreto reforzado con una sección de 60x 60 cm.

#### 4.3.2 EVALUACION DE VULNERABILIDAD

##### 11 INDICE DE UBICACION.

###### 1.1 Zona Sísmica

De tabla 14 del formato de Inspecciones Principales en Puentes, tenemos que el puente se encuentra ubicado en la zona I y de acuerdo a lo establecido en la metodología de evaluación de los índices de vulnerabilidad :

$$\text{Índice para Zona I} = 1.00$$

###### 1.2 Zona de Inundación.

De tabla 15 del formato de Inspecciones Principales en Puentes, el puente se encuentra ubicado en una zona no inundable, por lo que de acuerdo con la tabla 3.5 Índice de zona de inundación,

$$\text{ZNI} = 0.3$$

entonces

$$\text{Indice de Ubicación} = \frac{1.0 + 0.3}{2}$$

$$\text{Indice de Ubicación} = 0.65$$

## 12. INDICE DE TRÁFICO

### 2.1 Carga de Tráfico

De la tabla 16 del formato de inspección principal de cada puente, se tiene:

Carga de Tráfico de Diseño = HS-20

Carga de Tráfico Real = C3

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = \frac{\text{carga de tráfico real}}{\text{Carga de tráfico de diseño}}$$

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = 0.64$$

De tabla 3.6 Carga de Tráfico, el valor de carga de tráfico es:

Carga de Tráfico = 0.40

### 2.2 Importancia de la Carretera.

El puente se encuentra ubicado en una vía secundaria, por lo que de tabla 3.7 Factor de Clasificación de Red Vial.

Importancia de la Carretera = 0.80

Entonces:

$$\text{Indice de Tráfico} = 0.7 * \text{Carga de Tráfico} + 0.3 * \text{Importancia de la Carretera}$$

$$\text{Indice de Tráfico} = 0.7 * 0.4 + 0.3 * 0.8$$

$$\text{Indice de Tráfico} = 0.52$$

### 13. INDICE DE NORMA USADA PARA EL DISEÑO

El puente fue construido en el año de 1998, entonces, de tabla 3.8 Índice de Norma usada para el Diseño

**Índice de Norma usada para el Diseño = 0.20**

### 14. INDICE DEL ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.

Obteniéndose este índice de los resultados del formato de Inspecciones Principales en puentes

$$I_4 = 0.03 \frac{JE}{4} + 0.05 \frac{AP}{4} + 0.40 \frac{SP}{4} + 0.40 \frac{SB}{4} + 0.05 \frac{FU}{4} + 0.05 \frac{AC}{4} + 0.02 \frac{CA}{4}$$

$$I_4 = 0.03 \frac{(0)}{4} + 0.05 \frac{(1)}{4} + 0.40 \frac{(4)}{4} + 0.40 \frac{(0)}{4} + 0.05 \frac{(0)}{4} + 0.05 \frac{(0)}{4} + 0.02 \frac{(3)}{4}$$

**Índice del Estado del Sistema Estructural = 0.43**

### 15. INDICE DE TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

#### 5.1 Factor de Superestructura

El puente esta constituido de un vano, entonces, de tabla 3.10 Valoración de Factor de Superestructura

**Valoración = 0.50**

#### 5.2 Factor de subestructura

El tipo de subestructura que posee el puente, son estribos de concreto, tipo pared; se obtiene entonces, de tabla 3.11 Valoracion de Factor de Subestructura:

**Valoración = 0.70**

#### 5.3 Factor de condiciones de apoyo

La superestructura, se encuentra simplemente apoyada en los estribos, obteniendo entonces, de tabla 3.12. Valoración de condiciones de apoyo

**Valoración = 1.0**

$$\text{Indice de Sistema Estructural} = \frac{\text{factor de superestructura} + \text{factor de subestructura} + \text{factor de condiciones de apoyo}}{3}$$

Índice de Sistema Estructural = 0.73

## 16. INDICE DE FUNCIONALIDAD

### 6.1 Factor de deflexión.

La deflexión permitida es obtenida de la tabla 3.13, utilizando un valor de L de 30.00 metros

Deflexión permitida = 3.00 cm

Deflexión actuante = 2.68 cm

$$\text{Deflexión relativa} = DR = \frac{\text{Deflexión Actuante}}{\text{Deflexión Permitida}}$$

$$DR = 1.12$$

De tabla 3.14 factor de deflexión = 0.60

### 6.2 Factor de Longitud de apoyo.

Calculando el valor de N, según la metodología propuesta, para determinar la longitud de apoyo mínima permitida:

$$N = (305 + 2.5L + 10H) (1 + 0.000125 S^2) / 10$$

Se tiene:

Para tramo I

$$L = 31.20$$

$$H = 11.00$$

$$S = 0^\circ$$

$$N = (305 + 2.5 (31.20) + 10 (11.00)) (1 + 0.000125 (0)^2) / 10$$

$$N = 49.30 \text{ cm}$$

La longitud mínima permitida sería N = 49.30 cm.

La longitud actuante, es obtenida de la tabla 5 del formato de Inspecciones Principales en Puentes.

Longitud de apoyo = 1.05

$$\text{Longitud de apoyo relativa} = LAR = \frac{\text{Longitud de apoyo actuante}}{\text{Longitud de apoyo mínima permitida}}$$

$$LAR = 2.13$$

De tabla 3.15 Factor de Longitud de Apoyo

Factor de Longitud de Apoyo = 0.30

Entonces:

$$\text{Índice de Funcionalidad} = \frac{\text{factor de deflexión} + \text{factor de longitud de apoyo}}{2}$$

**Índice de Funcionalidad = 0.45**

### 17. INDICE DE PERÍODO DE VIBRACION

Periodo del Suelo

Datos:

$$e = 0.75$$

$$\sigma = 9.5 \text{ ton/ m}^2$$

$$\phi = 30^\circ$$

utilizando la ecuación de J. R. Hall

$$V_{so} = 109.70 (2.97 - e) \sigma^{0.25}$$

$$V_{so} = 109.70 (2.97 - 0.75) (0.667 \times 0.95)^{0.25}$$

$$V_{so} = 217.28$$

$$T = 4 D/V_{so} = 0.064 \text{ seg.}$$

Como la subestructura esta compuesta únicamente por dos estribos macizos tenemos:

**Índice de Periodo de Vibración = 0.0**

### 18. INDICE DE DUCTILIDAD

Obteniéndose la Ductilidad Demandada, utilizando el Programa NonLin, con los registros del sismo del 10 de octubre de 1986, en el CIG 1

$$\mu_d = 2.248$$

para otros sismos, se obtuvo los resultados siguientes:

México = 2.35

Northridge = 2.51

CIG2 = 2.15

Ductilidad Ofrecida

$$\mu_{of} = 4.74$$

El Balance de Ductilidad sería entonces:

$$B_d = \mu_{of} - \mu_d = 2.49$$

Para la evaluación de una estructura de este tipo, es necesario realizar un análisis utilizando la teoría elementos finitos.

Como la subestructura esta compuesta únicamente por dos estribos macizos tenemos:

$$\text{Índice de Ductilidad} = 0.0$$

19. INDICE DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO (Estabilidad Lineal)

Utilizando el programa AEAll, para el calculo del factor por pandeo Geométrico (anexo A-3)

$$\alpha = 87.23568$$

$$\text{Indice de Colapso por pandeo Geométrico} = \frac{1}{\sqrt{87.23568}}$$

$$\text{Indice de colapso por pandeo Geométrico} = 0.10$$

## VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Sustituyendo los valores obtenidos en los índices de vulnerabilidad.

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 0.8311 + 0.8412 + 0.8313 + 514 + 0.8315 + 1.6416$$

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 4.64$$

Calculo de Vulnerabilidad Nivel II

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 3.7517 + 3.7518 + 2.519$$

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 0.25$$

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 0.6 * \text{Vulnerabilidad Nivel I} + 0.4 * \text{Vulnerabilidad Nivel II}$$

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 2.88$$

De tabla 3.17 el puente Arenal de Monserrat es poco vulnerable, considerado como prioridad 4

Se calculara la vulnerabilidad Proyectada, para ejemplo.

De tabla 3.18  $K = 0.75$

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = K + 0.6 \text{ Vulnerabilidad Nivel I}$$

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = 3.53$$



Fotografía 4.3 Puente Arenal de Monserrat

TABLA 4.3 RESUMEN DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE PUENTE ARENAL DE MONSERRAT

Puente "Arenal de Monserrat"			
11. Índice de ubicación	Zona Sísmica = 1.00		I1 = 0.65
	Zona de Inundación: = 0.3		
12. Índice de Tráfico	Carga de Tráfico	Carga de Tráfico Real = C3	I2 = 0.52
		Carga de Tráfico de Diseño = HS-20	
	Importancia de la Carretera	Vías Secundarias = 0.8	
13. Índice de Norma Usada para el Diseño	Año de Norma = Posterior a 1992		I3 = 0.20
14. Índice del Estado del Sistema Estructural	Índice del Estado del Sistema Estructural = 0.43		I4 = 0.43
15. Índice de Sistema Estructural	Factor de Superestructura	Puente Soportado por estribos = 0.50	I5 = 0.73
	Factor de Subestructura	Columna Tipo Pared = 0.7	
	Factor de Condición de Apoyo	Simplemente apoyada = 1.0	
16. Índice de Funcionalidad	Factor de Deflexión = 0.6		I6 = 0.45
	Factor de Longitud de Apoyo = 0.3		
17. Índice de Período de Vibración	Estribos macizos		I7 = 0.0
18. Índice de Ductilidad	Estribos macizos		I8 = 0.0
19. Índice de Colapso por Pandeo Geométrico	Índice de Colapso por Pandeo Geométrico = $\alpha = 87.235$		I9 = 0.10
VUL. NIVEL I = 4.64 ( $V_i = 0.8311 + 0.8412 + 0.8313 + 5/4 + 0.8315 + 1.6416$ )	VUL. NIVEL II = 0.25 ( $V_i = 3.7517 + 3.7518 + 2.519$ )	VUL. EST. = 2.88 ( $V_i = 0.6^*V_i + 0.4^*V_i$ )	VUL. PROY. = 3.53 ( $V_i = k + 0.6^*V_i$ )

#### 4.4 PUENTE AV. CUBA Y 8ª Y 10ª AV. SUR

##### 4.4.1 DESCRIPCION

El puente se encuentra ubicado en la intersección de la Av. Cuba y 8ª y 10ª Av. Sur, en la ciudad de San Salvador.

Esta estructura consta de tres claros, en el primer y tercer claro, existen dos ramificaciones, una ubicada en la Av. Cuba y la otra sobre la 8ª y 10ª Av. Sur.

Tienen una longitud total de 99.30 metros, con claros de 31.20 metros, 40.00 metros y 28.10 mt.

Se describen a continuación los datos generales de la estructura:

Especificaciones de los materiales para los elementos estructurales:

- Para vigas, losa y pilas  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- Acero estructural ASTM A-36
- Fundaciones  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Las vigas longitudinales son vigas cajón de concreto, en el tramo central se tienen 9 vigas, en la ramificación de la Av. Cuba se tienen 5 vigas, en la 8ª y 10ª Av. Sur se tienen 4 vigas.

La losa posee un espesor de 20.00 cms. y es colado in situ con las vigas cajón.

Las vigas están soportadas por la pila y los estribos, a través de apoyos elastoméricos reforzados con placas de acero.

Los diafragmas son de concreto reforzado con una sección de 40x 25 cm para las vigas tipo III y de 60x 30 cm para el tipo V.

La superestructura está sostenida por dos pilas, las cuales forman un marco con tres columnas en cuyo extremo superior se dividen en forma de Y, la parte superior de las pilas es un tablero formado de vigas y losa.

#### 4.4.3 EVALUACION DE VULNERABILIDAD

##### 11 INDICE DE UBICACION.

###### 1.1 Zona Sísmica

De tabla 14 del formato de Inspecciones Principales en Puentes, tenemos que el puente se encuentra ubicado en la zona I y de acuerdo a lo establecido en la metodología de evaluación de los índices de vulnerabilidad :

$$\text{Índice para Zona I} = 1.00$$

###### 1.2 Zona de Inundación.

De tabla 15 del formato de Inspecciones Principales en Puentes, el puente se encuentra ubicado en una zona no inundable, por lo que de acuerdo con la tabla 3.5 Índice de zona de inundación,

$$\text{ZNI} = 0.3$$

entonces

$$\text{Índice de Ubicación} = \frac{1.0 + 0.3}{2}$$

$$\text{Índice de Ubicación} = 0.65$$

##### 12. INDICE DE TRÁFICO

###### 2.1 Carga de Tráfico

De la tabla 16 del formato de inspección principal de cada puente, se tiene:

Carga de Trafico de Diseño = HS-20

Carga de Trafico Real = C3

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = \frac{\text{carga de tráfico real}}{\text{Carga de trafico de diseño}}$$

$$\text{Relación de Carga de Tráfico} = 0.64$$

De tabla 3.6 Carga de Trafico, el valor de carga de tráfico es:

$$\text{Carga de Trafico} = 0.40$$

###### 2.3 Importancia de la Carretera.

Se considera, que el puente está ubicado en una vía secundaria.

De tabla 3.7 Factor de Clasificación de Red Vial.

Importancia de la Carretera = 0.80

Entonces:

Indice de Tráfico= 0.7\* Carga de Trafico + 0.3\* Importancia de la Carretera

$$\text{Indice de Tráfico} = 0.7 * 0.40 + 0.3 * 0.80$$

**Indice de Tráfico= 0.52**

### 13. INDICE DE NORMA USADA PARA EL DISEÑO

El año de construcción del puente es de 1999, entonces, de tabla 3.8 Índice de Norma usada para el Diseño

**Índice de Norma usada para el Diseño = 0.20**

### 14. INDICE DEL ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.

Obteniéndose este índice de los resultados del formato de Inspecciones Principales en puentes

$$I_4 = 0.03 \frac{JE}{4} + 0.05 \frac{AP}{4} + 0.40 \frac{SP}{4} + 0.40 \frac{SB}{4} + 0.05 \frac{FU}{4} + 0.05 \frac{AC}{4} + 0.02 \frac{CA}{4}$$

$$I_4 = 0.03 \frac{(1)}{4} + 0.05 \frac{(1)}{4} + 0.40 \frac{(2)}{4} + 0.40 \frac{(0)}{4} + 0.05 \frac{(0)}{4} + 0.05 \frac{(0)}{4} + 0.02 \frac{(0)}{4}$$

**Índice del Estado del Sistema Estructural = 0.22**

### 15. INDICE DE TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

#### 5.1 Factor de Superestructura

El puente esta constituido de tres vano, entonces, de tabla 3.10 Valoración de Factor de Superestructura

**Valoración = 1.0**

#### 5.2 Factor de subestructura

El tipo de subestructura que posee el puente, en las pilas es de tipo marco, de tabla 3.11 Valoración de Factor de Subestructura:

**Valoración = 0.70**

### 5.3 Factor de condiciones de apoyo

La superestructura, se encuentra simplemente apoyada en los estribos y pilas, entonces, de tabla 3.12

Valoración de condiciones de apoyo,

Valoración = 1.0

$$\text{Índice de Sistema Estructural} = \frac{\text{factor de superestructura} + \text{factor de subestructura} + \text{factor de condiciones de apoyo}}{3}$$

**Índice de Sistema Estructural = 0.90**

## 16. INDICE DE FUNCIONALIDAD

### 6.1 Factor de deflexión.

Se analizan ambas ramas, obteniéndose que el tramo crítico es el de  $L = 22.2$  mt.

La deflexión permitida es obtenida de la tabla 3.13

Deflexión permitida = 2.15 cm

Deflexión actuante = 2.36 cm

$$\text{Deflexión relativa} = DR = \frac{\text{Deflexión Actuante}}{\text{Deflexión Permitida}}$$

$$DR = 0.97$$

De tabla 3.14 factor de deflexión = 0.20

### 6.2 Factor de Longitud de apoyo.

Calculando el valor de N, según la metodología propuesta, para determinar la longitud de apoyo mínima permitida:

$$N = (305 + 2.5L + 10H) (1 + 0.000125 S^2) / 10$$

Se tiene:

Se analizaran los dos tramos

Para rama de la 8ª y 10ª Av. Sur

Tramo 1

$$L = 31.20 \text{ mt}$$

$$H = 4.25 \text{ mt}$$

$$S = 0^\circ$$

$$N = (305 + 2.5 (31.20) + 10 (4.25)) (1 + 0.000125 (0)^2) / 10$$

$$N = 42.55 \text{ cm}$$

Tramo 2

$$L = 40.00 \text{ mt}$$

$$H = 5.00 \text{ mt}$$

$$S = 0^\circ$$

$$N = (305 + 2.5 (40.00) + 10 (5.00)) (1 + 0.000125 (0)^2) / 10$$

$$N = 45.50 \text{ cm}$$

Tramo 3

$$N = 42.78 \text{ cm}$$

Para rama de la Av. Cuba

Tramo 1

$$N = 45.70 \text{ cm}$$

Tramo 3

$$N = 41.80 \text{ cm}$$

La longitud mínima permitida sería  $N = 45.70 \text{ cm}$

La longitud actuante, es obtenida de la tabla 5 del formato de Inspecciones Principales en Puentes.

Longitud de apoyo =  $50.00 \text{ cm}$

$$\text{Longitud de apoyo relativa} = \text{LAR} = \frac{\text{Longitud de apoyo actuante}}{\text{Longitud de apoyo mínima permitida}}$$

$$\text{LAR} = 1.09$$

De tabla 3.15 Factor de Longitud de Apoyo

$$\text{Factor de Longitud de Apoyo} = 0.80$$

Entonces:

$$\text{Índice de Funcionalidad} = \frac{\text{factor de deflexión} + \text{factor de longitud de apoyo}}{2}$$

$$\text{Índice de Funcionalidad} = 0.50$$

#### 17 INDICE DE PERIODO DE VIBRACIÓN

Debido a que no se tienen datos de suelo, se tomara el valor de T de acuerdo a la tabla de propiedades Dinámicas del Suelo de San Salvador.

De donde  $T_s = 0.05$  seg

Periodo de la Estructura

Para el calculo del periodo de la Estructura se utilizo el programa Robot Millennium .

$T_e = 1.96$  seg.

Entonces :

$$\text{Índice de Periodo de Vibración} = 1 - \left| \frac{1.96 - 0.05}{1.96} \right|$$

$$\text{Índice de Periodo de Vibración} = 0.026$$

#### 19 INDICE DE DUCTILIDAD

Ductilidad Demandada,

$$\mu_d = 0.802$$

Ductilidad Ofrecida

$$\mu_{of} = 1.764$$

El Balance de Ductilidad seria entonces:

$$Bd = \mu_{of} - \mu_d = 0.962$$

de tabla 3.16

$$\text{Índice de Ductilidad} = 0.0$$

### 19. INDICE DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO (Estabilidad Lineal)

Utilizando el programa AEAll, para el calculo del factor por pandeo Geométrico (Anexo A-3)

$$\alpha = 18.2856$$

$$\text{Indice de Colapso por pandeo Geometrico} = \frac{1}{\sqrt{18.2856}}$$

$$\text{Indice de colapso por pandeo Geométrico} = 0.23$$

#### VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Sustituyendo los valores obtenidos en los índices de vulnerabilidad.

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 0.8311 + 0.8412 + 0.8313 + 514 + 0.8315 + 1.6416$$

$$\text{Vulnerabilidad Nivel I} = 3.81$$

Calculo de Vulnerabilidad Nivel II

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 3.7517 + 3.7518 + 2.519$$

$$\text{Vulnerabilidad Nivel II} = 0.669$$

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 0.6 * \text{Vulnerabilidad Nivel I} + 0.4 * \text{Vulnerabilidad Nivel II}$$

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = 2.55$$

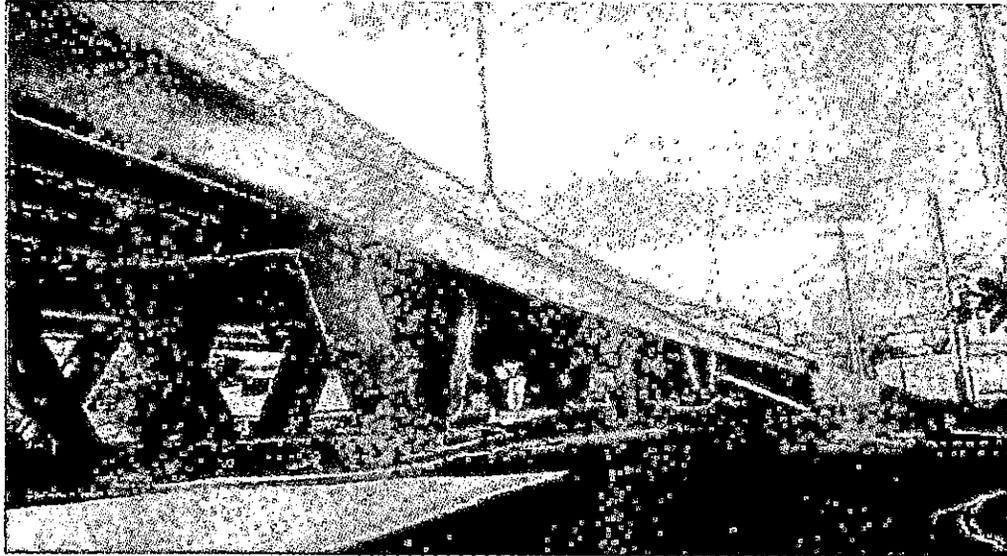
De tabla 3.17 el puente de Av. Cuba es poco vulnerable y se considera como de prioridad 4

Se calculara la vulnerabilidad Proyectada, para ejemplo.

De tabla 3.18  $K = 0.75$

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = K + 0.6 \text{ Vulnerabilidad Nivel I}$$

$$\text{Vulnerabilidad Proyectada} = 3.04$$



Fotografía 4.4 Puente Av. Cuba y 8ª y 10ª Av. Sur

TABLA 4.4 RESUMEN DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE PUENTE AV. CUBA Y 8ª Y 10ª AV SUR

Puente "Av. Cuba y 8ª y 10ª Av. Sur"			
11. Índice de ubicación	Zona Sísmica = 1.00		11 = 0.65
	Zona de Inundación: = 0.3		
12. Índice de Tráfico	Carga de Tráfico	Carga de Tráfico Real = C3	12 = 0.52
		Carga de Tráfico de Diseño = HS-20	
	Importancia de la Carretera	Vías Secundarias = 0.8	
13. Índice de Norma Usada para el Diseño	Año de Norma = Posterior a 1992		13 = 0.20
14. Índice del Estado del Sistema Estructural	Índice del Estado del Sistema Estructural = 0.22		14 = 0.22
15. Índice de Sistema Estructural	Factor de Superestructura	Puente Viaducto = 1.0	15 = 0.90
	Factor de Subestructura	Tipo Marco = 0.7	
	Factor de Condición de Apoyo	Simplemente apoyada = 1.0	
16. Índice de Funcionalidad	Factor de Deflexión = 0.2		16 = 0.50
	Factor de Longitud de Apoyo = 0.8		
17. Índice de Periodo de Vibración	Periodo de Vibración del Suelo = 0.05		17 = 0.026
	Periodo de Vibración de la Estructura = 1.96		
18. Índice de Ductilidad	Índice de Ductilidad = 0.0		18 = 0.0
19. Índice de Colapso por Pandeo Geométrico	Índice de Colapso por Pandeo Geométrico = $\alpha = 18.2856$		19 = 0.23
VUL. NIVEL I = 3.81 ( $V_i = 0.8311 + 0.8412 + 0.8313 + 514 + 0.8315 + 1.6416$ )	VUL. NIVEL II = 0.669 ( $V_i = 3.7517 + 3.7518 + 2.519$ )	VUL. EST. = 2.55 ( $V = 0.6^*V_i + 0.4^*V_i$ )	VUL. PROY. = 3.04 ( $V = k + 0.8^*V_i$ )

1.76 13.2 Mixto  
 2. Vicarjon  
 1. Bailey  
 6.16 Vipac  
 1. Vicom Baveda  
 41.36 Losa  
 15.84 Cerche  
 2.64 Coje  
 5.28

42  
 3  
 2

## 4.5 RESULTADO DEL PROCEDIMIENTO DE INSPECCIONES

### 4.5.1 GENERALIDADES

A lo largo de la carretera CA-1 se encuentran 88 estructuras, el 18% del total de estas, se encuentran clasificadas como tipo Losa (elemento principal es losa de concreto), el 47% son Bóveda, el 15% clasificados como Mixto (cuyo elemento principal es la viga metálica de alma llena y tablero de concreto), 1% es de tipo VICON (elemento principal es la viga de concreto armado), el 6% tipo Caja (puentes cuya geometría es un rectángulo cerrado, hecha en la mayoría de los casos de concreto), el 7% es VIPRE (elemento principal es la viga de concreto preesforzado), 3% Cercha (cuyo elemento principal es una estructura metálica reticular), 2% VICAJON (cuyo elemento principal es la viga cajón).

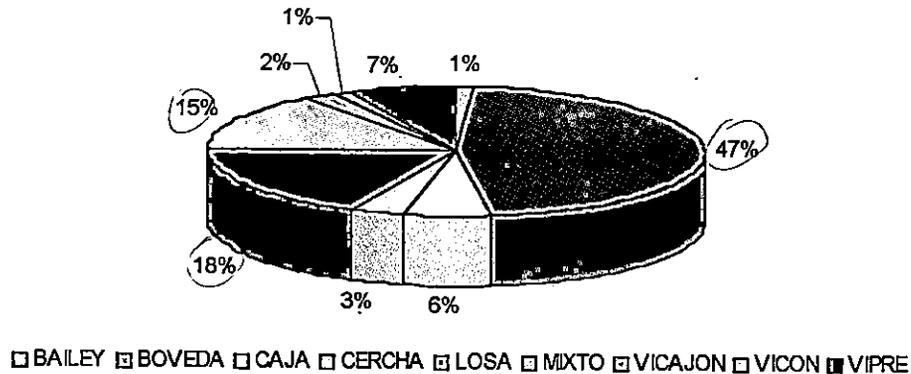


Figura 4.1 Tipos de Puentes. Carretera CA-01

A continuación, se describe la distribución de los puentes en la CA-1 por su ubicación por zona y por departamento.

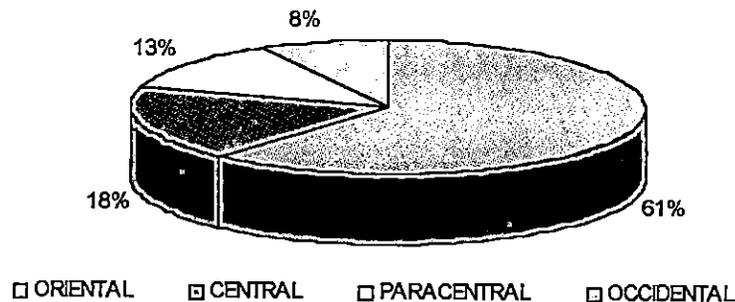


Figura 4.2 Ubicación de Puentes por Zona

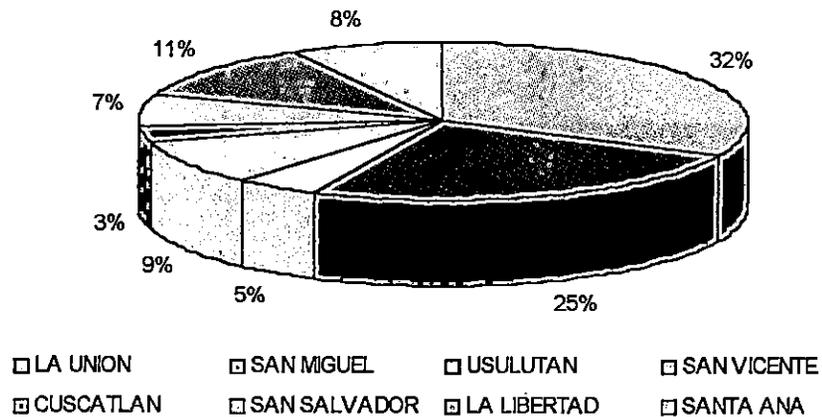


Figura 4.3 Ubicación de Puentes por Departamento

#### 4.5.2 DAÑOS MAS FRECUENTES

La importancia de conocer los daños que presentan las obras de paso en El Salvador es grande, ya que con ello se podrá determinar, el tipo de medida correctiva en cada caso particular. A continuación, se describen los principales daños encontrados en estas estructuras a lo largo de la carretera CA-1 utilizando la metodología de inspecciones de puentes, que es parte de la evaluación de Vulnerabilidad. Se espera un comportamiento similar, en el resto de carreteras de la red vial de El Salvador.

El concreto es el material constructivo predominante en los puentes encontrados, sus daños varían en gravedad y extensión de un puente a otro. Los daños más comunes son las fisuras por flexión o cortante llegando a ser en algunos casos, mayores de 1cm. Otros daños no menos importantes son la pérdida de material, acero de refuerzo expuesto, degradación del concreto, eflorescencia y filtraciones.

Los daños del concreto antes mencionados han sido encontrados en vigas y tableros, igualmente en pilas y estribos donde las filtraciones son severas. La frecuencia de estos daños se presenta a continuación.

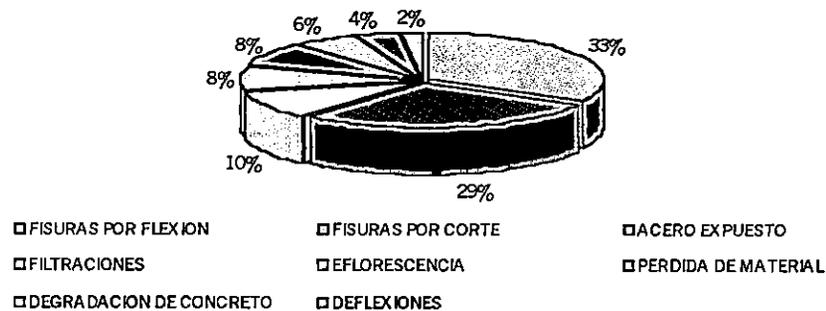


Figura 4.4 Frecuencia de Daños en Elementos de Concreto



Fotografía 4.5 Acero de Refuerzo Expuesto en Tablero de Concreto



Fotografía 4.6 Agrietamiento y Pérdida de Material en Elementos de Concreto

El acero estructural presenta un número de daños o deterioros más reducido que en el concreto, pero no menos perjudiciales. Los principales deterioros que presentan los elementos de acero de los puentes de nuestro país, es el alto nivel de corrosión en la mayoría, encontrándose en algunos casos elementos con capas de material oxidado de 2mm de espesor; la degradación de la pintura y la ausencia total o parcial de ella, es algo que está presente en casi todos los puentes, siendo una de las causas principales de la corrosión en dichos elementos; el pandeo de elementos es un daño poco frecuente.

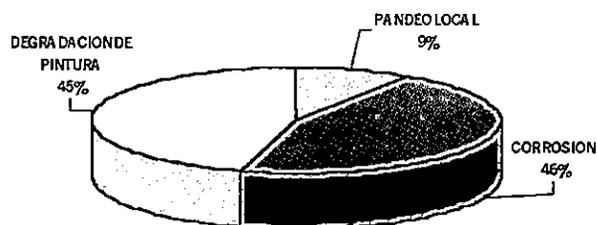
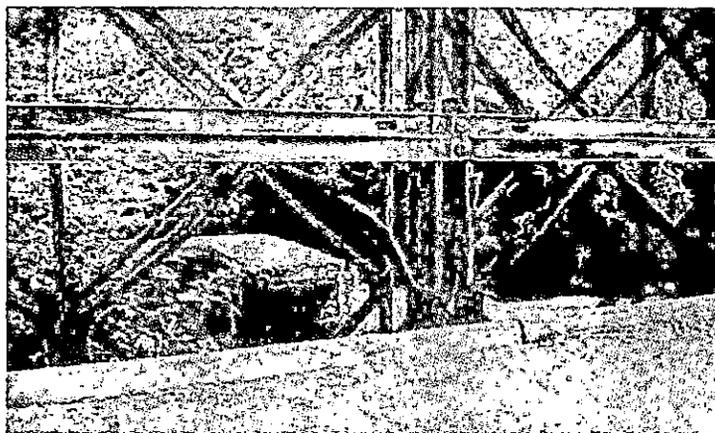


Figura 4.5 Frecuencia de Daños en Elementos de Acero



Fotografía 4.7 Pandeo y Corrosión en Elementos de Acero

La mampostería es un sistema constructivo comunmente utilizado en estructuras de bóveda y estribos de puentes. Sus daños más frecuentes son el agrietamiento del mortero y elementos de mampostería, las excesivas filtraciones, degradación de la mampostería, pérdida de elementos de mampostería y mortero.

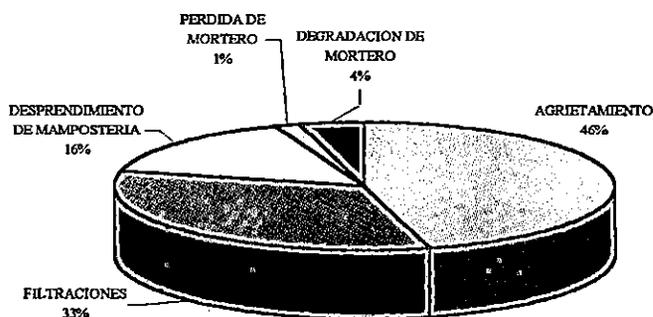
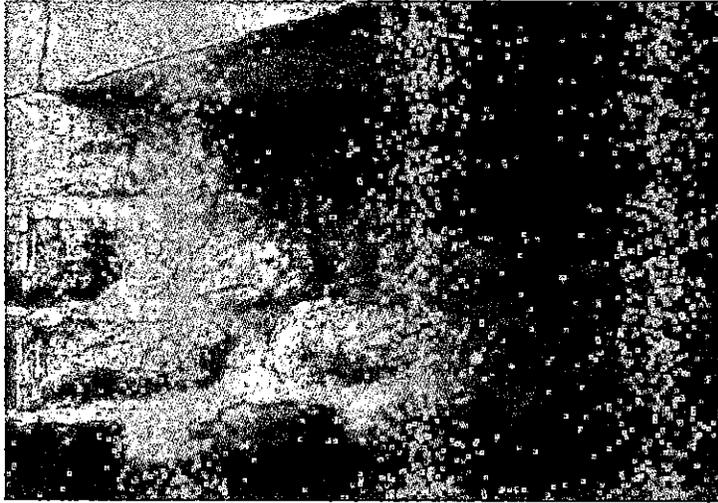
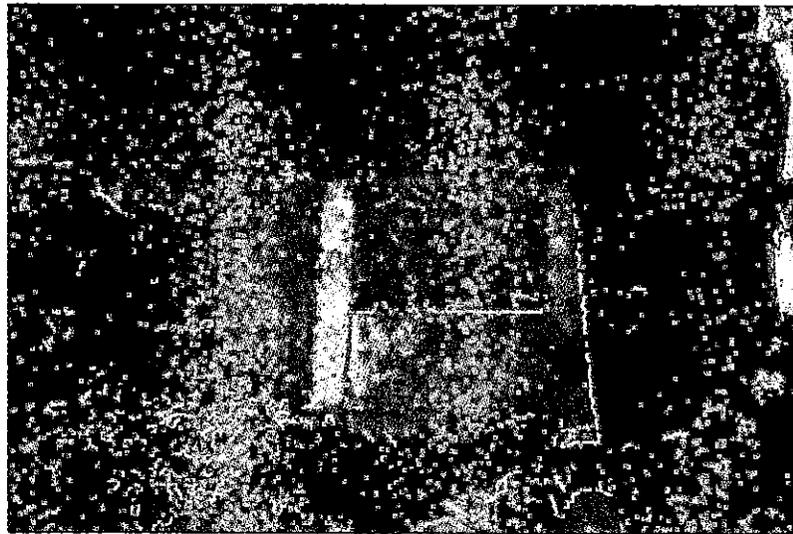


Figura 4.6 Frecuencia de Daños en Elementos de Mampostería



Fotografía 4.8 Agrietamiento en Estribos de Mampostería



Fotografía 4.9 Agrietamiento y Perdida de Elementos de Mampostería

Elementos importantes del puente que fueron evaluados, son los apoyos, juntas de expansión, capa de rodamiento, aceras y barandas. De estos la mayoría, no posee importancia estructural, a excepción de los apoyos y juntas de expansión. Los daños en los elementos de apoyo varían dependiendo del tipo de elemento. Entre los daños más comunes encontramos corrosión y degradación de pintura; en juntas de expansión la presencia de materiales como concreto asfáltico, pequeñas rocas y tierra son los daños más comunes. La capa de rodamiento, merece mención especial, debido a que se encontró estructuras que no

poseen este elemento, factor que contribuye a que el tablero aumente su vulnerabilidad ante la intemperie. Sus principales daños son el agrietamiento, la formación de canales, corrugas y baches. En aceras, las fisuras, pérdida de material, acero expuesto y en el peor de los casos la falta total o parcial de estas, son los daños más frecuentes. En las barandas se encontró daños por fisuras, acero expuesto y pérdida de material, en barandas de concreto y mampostería; en barandas de acero son la corrosión, pandeo de elementos y degradación de pintura. El problema más grave encontrado es la destrucción total o parcial de estos elementos causada por accidentes de tránsito

#### 4.5.3 PRINCIPALES CAUSAS QUE ORIGINAN LOS DAÑOS.

En el concreto, de los daños más comunes e importantes se tiene fisuras y pérdida de material, las cuales pueden ser causadas por diversos factores, entre ellos el incremento excesivo de esfuerzos en los elementos del puente, provocados por excesos en cargas de tráfico, impacto, sismo, inundaciones, o accidentes de tránsito; la corrosión del acero de refuerzo como producto de su exposición al ambiente y productos químicos. La degradación y eflorescencia son daños atribuibles a la falta de control de calidad de los agregados y componentes del concreto, así como a la acción del medio ambiente. La corrosión en el acero estructural, es causada por la exposición al medio ambiente, falta de capa de rodamiento, (concreto estructural es sometido a desgaste) principalmente a aquellos con alto grado de salinidad, al agua, sustancias químicas, sumado a la falta de protección adecuada de la superficie; el pandeo de elementos es un daño atribuible a incrementos o excedencia de los esfuerzos admisibles del material o a factores accidentales.

En la mampostería, la pérdida de elementos puede ser causada por el agrietamiento en el mortero de unión, empujes del terreno en los elementos, en el caso de estribos; crecimiento de vegetación entre los elementos, incremento de cargas provocada por acciones de tráfico, sismo, etc.

Los deterioros que pueden ser causados debido a estos factores, pueden evitarse o minimizarse al ser tomados en cuenta en la fase de planeación, diseño y construcción de la estructura.

#### 4.5.4 REPARACIONES MAS FRECUENTES.

La base fundamental para realizar una reparación, es conocer las causas que originaron el deterioro del elemento, de esta forma se corregirá el daño a la vez que se combatirán las causas que lo provocaron. Para la elección del procedimiento y tipo de reparación, se debe tomar en cuenta la particularidad del elemento tanto en la geometría, el material y tipo de elemento, debiendo optar por aquella en la cual se garantice el correcto funcionamiento estructural y funcional de la estructura. En estructuras de concreto,

los trabajos de reparación más frecuentes son el sellado de grietas utilizando inyección con resinas epóxicas y otras sustancias cementantes; el reforzamiento de vigas, tableros, estribos y pilas mediante encamisados, concreto lanzado, fibras de carbono o la construcción de nuevos elementos que ayuden a soportar los esfuerzos generados por las condiciones de carga que actúan sobre el puente.

Los trabajos de reparación comúnmente realizados en estructuras de acero son la remoción de capa de material oxidado, renovación de pintura anticorrosiva, reforzamiento de perfiles de acero, reparación de soldaduras fisuradas, reposición y ajuste de pernos y remaches.

En la mampostería las reparaciones más frecuentes abarcan la reposición y sustitución de elementos, reforzamiento de la unión de los elementos, construcción de elementos de refuerzo.

Entre los trabajos de mantenimiento y reparación rutinarios tenemos impermeabilización de capa de rodamiento, limpieza de sistemas o elementos de drenaje, bacheo, reparación de juntas de expansión, protección de terraplenes.

#### 4.5.5 EVALUACION DE VULNERABILIDAD PROYECTADA PARA LOS PUENTES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-1.

Se realizó el procedimiento de inspección en todos los puentes y obras de paso ubicados sobre la carretera CA-1, entre los puntos fronterizos El Amatillo y San Cristóbal, con las Repúblicas de Honduras y Guatemala respectivamente, inspeccionando un total de 88 estructuras, para lo que se utilizó el formato de Inventario Básico de Puentes, el formato de Inventario Complementario de Puentes, ambos parte de Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes, también se utilizaron los formatos de Inventario Básico de Puentes (IBP) y el formato de Inspecciones Principales de Puentes (IPP) creados en el contexto de este trabajo de graduación, con el propósito de evaluar el estado físico de estas estructuras y recolectar la información necesaria para la evaluación de la Vulnerabilidad de ellas. Con toda la información obtenida al finalizar las inspecciones, el paso siguiente es la evaluación de la Vulnerabilidad Estructural de estas obras, sin embargo para realizar este procedimiento es indispensable realizar ensayos o pruebas a cada uno de los puentes, por ejemplo estudios de las propiedades del suelo y medición de vibraciones, además de contar con información proveniente de planos y memorias de cálculo. Basándose en lo anterior se realizó este procedimiento a cuatro ejemplos particulares, descritos al inicio de este capítulo.

Como no se contaba con esta información para todos los casos, se desarrolló el procedimiento de evaluación de la Vulnerabilidad Proyectada, concepto introducido con la intención de evaluar, puentes de los cuales no se tiene información estructural.

TABLA 4.5 RESUMEN DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD PROYECTADA DE PUENTES EN LA CARRETERA CA-1

CODIGO	NOMBRE	Índice de Ubicación	Índice de Tráfico	Índice de Norma	Ind. de Est. Estructural	I. De Tipo de Sist. Estructural	Índice de Funcionalidad	Vulnerabilidad Nivel I	Vulnerabilidad Proyectada	Nivel de Prioridad
MORSM17PR1056CA01147+150	El Rebalse	1.00	0.93	1.00	0.89	0.90	0.60	8.6	8.2	Prioridad 2
MORLU12PR1230CA01197+150	El Lagarero	0.65	0.93	1.00	0.93	0.90	0.60	8.5	8.1	Prioridad 2
MORLU12PR1230CA01209+800	Goascorán	0.65	0.72	1.00	0.99	0.90	0.40	8.3	8.0	Prioridad 2
MORLU12PR1230CA01202+200	La Garita	0.65	0.93	1.00	0.90	0.90	0.40	8.0	7.8	Prioridad 2
MORSM17PR1056CA01154+500	Güisocoyol	0.65	0.93	1.00	0.89	0.90	0.40	8.0	7.8	Prioridad 2
MORUS16PR1364CA01113+300	San Buenaventura	0.65	0.72	0.80	0.91	0.73	0.25	7.4	5.9	Prioridad 3
MORSM17PR1056CA01151+200	Miraflores	1.00	0.93	1.00	0.86	0.63	0.00	7.3	5.9	Prioridad 3
MORSM17PR1056CA01145+500	El Papalón	1.00	0.93	1.00	0.87	0.47	0.00	7.2	5.8	Prioridad 3
MPCSV10PR0722CA01076+350	Quebrada Seca	0.65	0.58	0.80	0.96	0.82	0.00	7.2	5.8	Prioridad 3
MCELL02PR0265CA01034+050	Amayo	0.65	0.72	0.80	0.79	0.73	0.40	7.0	5.7	Prioridad 3
MORSM17PR1056CA01157+800	San Antonio	0.65	0.93	1.00	0.86	0.63	0.00	7.0	5.7	Prioridad 3
MORLU03PR1234CA01159+900	El Caulotillo	0.65	0.93	1.00	0.86	0.63	0.00	7.0	5.7	Prioridad 3
MORSM17PR1056CA01156+500	La Piedad	0.53	0.93	1.00	0.86	0.63	0.00	6.8	5.6	Prioridad 3
MORLU08PR1056CA01177+100	Palo Blanco	0.65	0.93	0.80	0.87	0.63	0.00	6.8	5.6	Prioridad 3
MORLU03PR1234CA01158+900	El Zanjón Prieto	0.65	0.93	1.00	0.86	0.47	0.00	6.8	5.6	Prioridad 3
MORLU12PR1230CA01196+150	El Zope	0.65	0.93	0.80	0.85	0.63	0.00	6.8	5.6	Prioridad 3
MORLU14PR1230CA01191+150	Sírama	0.65	0.93	1.00	0.83	0.47	0.00	6.7	5.5	Prioridad 3
MORLU08PR1056CA01171+100	El Quebradón	0.65	0.93	0.80	0.86	0.47	0.00	6.7	5.5	Prioridad 3
MORLU03PR1234CA01165+650	Las Pitas	0.65	0.93	0.80	0.85	0.47	0.00	6.6	5.5	Prioridad 3
MORLU14PR1230CA01179+900	El Papalón	0.65	0.72	0.80	0.85	0.63	0.00	6.6	5.5	Prioridad 3
MORLU08PR1056CA01171+350	Pozos Tibios	0.65	0.93	0.80	0.84	0.47	0.00	6.6	5.5	Prioridad 3
MORLU14PR1230CA01179+400	El Caragüito	0.65	0.93	0.80	0.81	0.63	0.00	6.5	5.4	Prioridad 3

MORLU14PR1230CA01180+200	Tololo	0.65	0.72	0.80	0.83	0.63	0.00	6.5	5.4	Prioridad 3
MORSM17PR1356CA01134+800	RESORTESA	0.65	0.72	0.80	0.66	0.73	0.40	6.4	5.3	Prioridad 3
MORLU14PR1230CA01189+600	Conchagua	0.65	0.93	1.00	0.55	0.90	0.40	6.3	5.3	Prioridad 3
MORLU14PR1230CA01182+700	La Maltés	0.65	0.72	0.80	0.81	0.47	0.00	6.2	5.2	Prioridad 3
MCELL03PR0265CA01016+750	Santa Eduviges	0.65	0.72	0.50	0.86	0.47	0.00	6.2	5.2	Prioridad 3
MORSM17PR1056CA01145+000	La gallina	1.00	0.93	1.00	0.66	0.47	0.00	6.1	5.2	Prioridad 3
MORLU12PR1230CA01198+450	El Caliche	0.65	0.72	0.80	0.76	0.47	0.00	6.0	5.1	Prioridad 3
MOCSA01PR0112CA01088+050	Candelaria	0.65	0.72	0.80	0.74	0.47	0.00	5.9	5.0	Prioridad 3
MCESS17PR0429CA01006+300	Paso Soyapango	0.65	0.72	0.50	0.51	0.90	0.60	5.9	5.0	Prioridad 3
MOCSA10PR1378CA01060+850	Paso Santa Ana	0.65	0.72	0.80	0.55	0.73	0.40	5.8	5.0	Prioridad 4
MCELL02PR0265CA01032+130	Rio Sucio	0.65	0.72	0.80	0.44	0.90	0.60	5.7	4.9	Prioridad 4
PCESS17PR0429CA01005+850	Plaza Soyapango	0.65	0.72	0.20	0.80	0.47	0.00	5.7	4.9	Prioridad 4
MPCCU14PR0529CA01027+700	De Michapa	0.65	0.72	0.80	0.66	0.47	0.00	5.5	4.8	Prioridad 4
MPCCU14PR1056CA01028+700	Cantón El Centro	0.65	0.72	0.80	0.65	0.47	0.00	5.4	4.8	Prioridad 4
MCESS07PR0429CA01008+600	Santa Lucia	0.65	0.72	0.80	0.61	0.47	0.00	5.2	4.6	Prioridad 4
PCESS17PR0429CA01006+000	Hiper Paiz	0.65	0.72	0.20	0.70	0.47	0.00	5.2	4.6	Prioridad 4
MCESS13PR0529CA01016+000	Los Olivos	0.65	0.72	0.80	0.52	0.47	0.00	4.8	3.6	Prioridad 4
MOCSA01PR0112CA01087+300	Guajoyo	0.65	0.72	0.80	0.51	0.47	0.00	4.7	3.6	Prioridad 4
MORSM17PR1056CA01146+800	Maduya	0.65	0.93	1.00	0.43	0.47	0.00	4.7	3.5	Prioridad 4
MORLU08PR1056CA01169+250	El Gavilán	0.65	0.93	0.80	0.45	0.47	0.00	4.6	3.5	Prioridad 4
MCELL11PR0256CA01010+200	Paso SISA-Banco Cuscatlán	0.65	0.72	0.20	0.42	0.90	0.25	4.6	3.5	Prioridad 4
MCELL03PR0265CA01016+100	Los Cedros	0.65	0.72	0.80	0.46	0.47	0.00	4.5	3.4	Prioridad 4
MCELL03PR0265CA01021+900	Fabrica Ladriblock	0.65	0.72	0.80	0.45	0.47	0.00	4.5	3.4	Prioridad 4
MPCSV10PR0722CA01081+600	Riío Frió	0.65	0.72	0.80	0.41	0.73	0.00	4.4	3.4	Prioridad 4
MORLU12PR1230CA01194+150	El Mogote	0.65	0.63	0.80	0.44	0.47	0.00	4.3	3.3	Prioridad 4
MORSM17PR1356CA01135+900	3e Brigada de Infantería	0.65	0.72	0.80	0.42	0.47	0.00	4.3	3.3	Prioridad 4

MOCSA01PR0112CA01089+800	Tierra Blanca	0.65	0.72	0.80	0.41	0.47	0.00	4.2	3.3	Prioridad 4
MORLU12PR1230CA01203+584	Agua Salada	0.65	0.72	0.80	0.22	0.73	0.40	4.1	3.2	Prioridad 4
MORSM09PR1356CA01128+750	El Coyote	0.65	0.72	0.50	0.40	0.47	0.00	3.9	3.1	Prioridad 4
MORLU12PR1230CA01206+500	Agua Zarca	0.65	0.93	0.80	0.20	0.63	0.00	3.5	2.9	Prioridad 4
MORLU12PR1230CA01204+600	Sin Nombre	0.65	0.72	0.80	0.24	0.63	0.00	3.5	2.9	Prioridad 4
MCELL01PR0256CA01007+900	Santa Elena	0.65	0.72	0.50	0.31	0.47	0.00	3.5	2.8	Prioridad 4
MCESS14PR0429CA01003+450	Acelhuate-Eureka	0.65	0.72	0.80	0.24	0.47	0.00	3.4	2.8	Prioridad 4
MORUS11PR0942CA01100+900	Mercedes Umaña	0.65	0.42	0.80	0.24	0.73	0.00	3.4	2.8	Prioridad 4
MPCCU03PR0529CA01038+075	El Carmen	0.65	0.72	0.80	0.23	0.47	0.00	3.3	2.8	Prioridad 4
MORLU12PR1230CA01207+915	Puente Roto	0.65	0.72	0.50	0.21	0.47	0.00	3.0	2.5	Prioridad 4
MORLU12PR1230CA01208+068	Quebrada Seca	0.65	0.72	0.50	0.21	0.47	0.00	3.0	2.5	Prioridad 4
MPCSV07PR0722CA01089+500	Puente Cuscatlán	1.00	0.72	0.20	0.01	0.90	0.25	2.8	2.4	No Prioritario
MORSM17PR1056CA01142+800	Don Luis de Moscoso	0.65	0.72	0.20	0.05	0.90	0.25	2.7	2.4	No Prioritario
MORLU03PR1234CA01163+800	La Mina	0.65	0.93	0.80	0.04	0.47	0.00	2.6	2.3	No Prioritario
MORLU03PR1234CA01164+080	Villa Hermosa	0.65	0.93	0.80	0.04	0.47	0.00	2.6	2.3	No Prioritario
MCELL02PR0265CA01039+400	La Curva	0.65	0.72	0.80	0.06	0.47	0.00	2.5	2.2	No Prioritario
MORSM05PR1356CA01121+280	Las Lilas	0.65	0.72	0.80	0.01	0.73	0.00	2.4	2.2	No Prioritario
MORSM09PR1356CA01125+400	Los Tanques	0.65	0.72	1.00	0.01	0.47	0.00	2.4	2.2	No Prioritario
MORLU08PR1234CA01168+800	El Coco	0.65	0.72	0.80	0.04	0.47	0.00	2.4	2.2	No Prioritario
MORSM09PR1356CA01127+400	El 28	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORSM17PR1356CA01131+400	El Jalacatal	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORLU12PR1230CA01205+500	Las Bateas	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MOCSA10PR0112CA01071+100	Comecayo	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORSM09PR1356CA01124+900	El 126	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORSM05PR1356CA01122+700	El Güegüecho	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORSM09PR1356CA01124+200	El Jobo	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario

MPCSV10PR0722CA01071+900	El Junquillal	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORSM09PR1356CA01126+975	El Papalón	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORUS16PR1364CA01109+600	El Pito	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MOCSA10PR0112CA01072+750	El Ranchador	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORSM09PR1356CA01123+350	El Rodeo	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MPCSV01PR1341CA01059+800	Iitzmataco	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MPCSV05PR1340CA01047+600	Los Talpetates	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MOCSA01PR0112CA01096+000	Piedras Azules	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORSM09PR1356CA01128+000	Valle Alegre	0.65	0.72	0.80	0.01	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MORUS05PR0942CA01106+850	La Cebadilla	0.65	0.72	0.80	0.00	0.47	0.00	2.2	2.1	No Prioritario
MCELL01PR0429CA01007+300	La Ceiba (derecha)	0.65	0.72	0.50	0.01	0.47	0.00	2.0	1.9	No Prioritario
MCELL01PR0266CA01007+750	Entrada a Santa Elena	0.65	0.72	0.50	0.01	0.47	0.00	2.0	1.9	No Prioritario
MPCSV10PR0722CA01089+200	El Quebracho	0.65	0.72	0.20	0.01	0.47	0.00	1.7	1.8	No Prioritario
MPCSV10PR0722CA01088+000	Los Mangos	0.65	0.72	0.20	0.01	0.47	0.00	1.7	1.8	No Prioritario

**CAPÍTULO V**  
**BASE DE DATOS**  
**VIP – UES**  
**VULNERABILIDAD E INVENTARIO DE PUENTES**

# **MANUAL DE USUARIO**

## **VIP – UES**

### **Vulnerabilidad e Inventario de Puentes – UES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
"VULNERABILIDAD DE PUENTES EN EL SALVADOR"  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

## 5.1 INTRODUCCIÓN

Una base de datos es un sistema informático cuyo propósito principal es almacenar información y hacer que esté disponible en el momento requerido. Los sistemas de base de datos se diseñan para manejar grandes cantidades de información; el manejo incluye, tanto la definición de las estructuras para el almacenamiento de la información, como los mecanismos para el manejo de la misma. Una base de datos en Microsoft Access puede estar compuesta por tablas, consultas, formularios, informes, módulos, etc.

Las tablas son una colección de datos sobre un tema específico, como longitud del puente, tipo de puentes, departamento de ubicación, etc. La utilización de una tabla diferente para cada tema significa que se almacenan los datos sólo una vez, lo cual hace aumentar la eficacia de la base de datos, y reduce errores de entrada de datos. Las consultas son las solicitudes de información a la base de datos. Los formularios son las interfaces de ambiente Windows que maneja Access para la interacción con el usuario, en un formulario se puede presentar, eliminar, cambiar, e introducir la información de una o más tablas. Un informe es un método eficaz de presentar los datos en formato impreso, dado que se tiene el control sobre el tamaño y el aspecto de todo el informe, puede mostrar la información en la manera que desee verla. Un módulo es una colección de declaraciones, código y procedimientos en el lenguaje de programación que utilice la base de datos. La principal ventaja de Microsoft Access se debe a que posee como lenguaje de programación Visual Basic para aplicaciones, uno de los lenguajes más conocidos.

## 5.2 EL SISTEMA VULNERABILIDAD E INVENTARIO DE PUENTES (VIP-UES)

El VIP-UES hace uso, casi en su totalidad, de formularios donde el usuario introducirá o consultará los datos. Estos han sido ideados para que sean fáciles de manejar en un entorno amigable para el usuario, así como intuitivo para un ingeniero. El VIP-UES sigue las normas estándar de cualquier programa que funcione bajo Windows.

El VIP-UES incluye cuatro aspectos básicos para la gestión de puentes: información general (inventario), el cual consiste en un archivo de datos generales de las obras; inspección detallada (inspección), por medio de ella se obtiene el estado de la estructura; evaluación (valoración) y priorización en donde se analiza la información disponible del puente, se califica de acuerdo a su condición y se define la prioridad de atención (priorización) para cada estructura. La figura 5.1 muestra la interrelación que existe entre los aspectos antes mencionados, los cuales constituyen módulos dentro del VIP-UES.

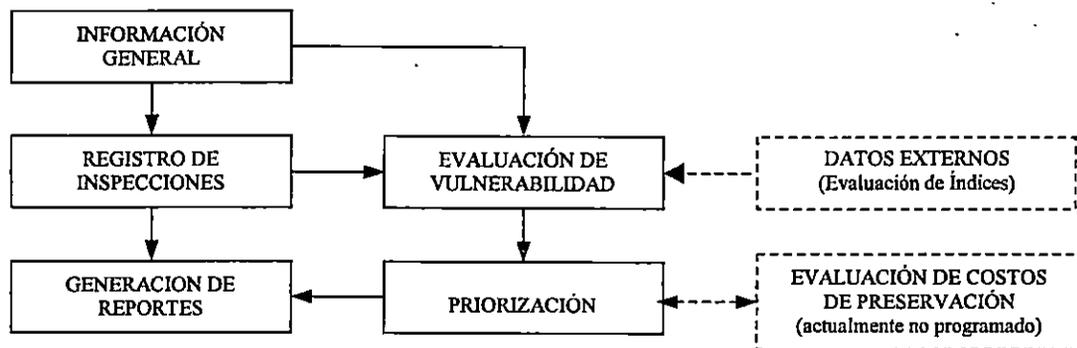


Figura 5.1 Estructura Modular del VIP-UES.

## 5.3 PANEL DE CONTROL PRINCIPAL

Al entrar al programa aparece el panel de control principal, que es el menú que le permite desplazarse dentro de la aplicación, como lo muestra la figura 5.2 y desde el cual se ejecutan todas las funciones del VIP-UES. Presenta cuatro opciones:

1. Inspecciones de puentes
2. Analizar índices de vulnerabilidad
3. Análisis de resultados
4. Salir

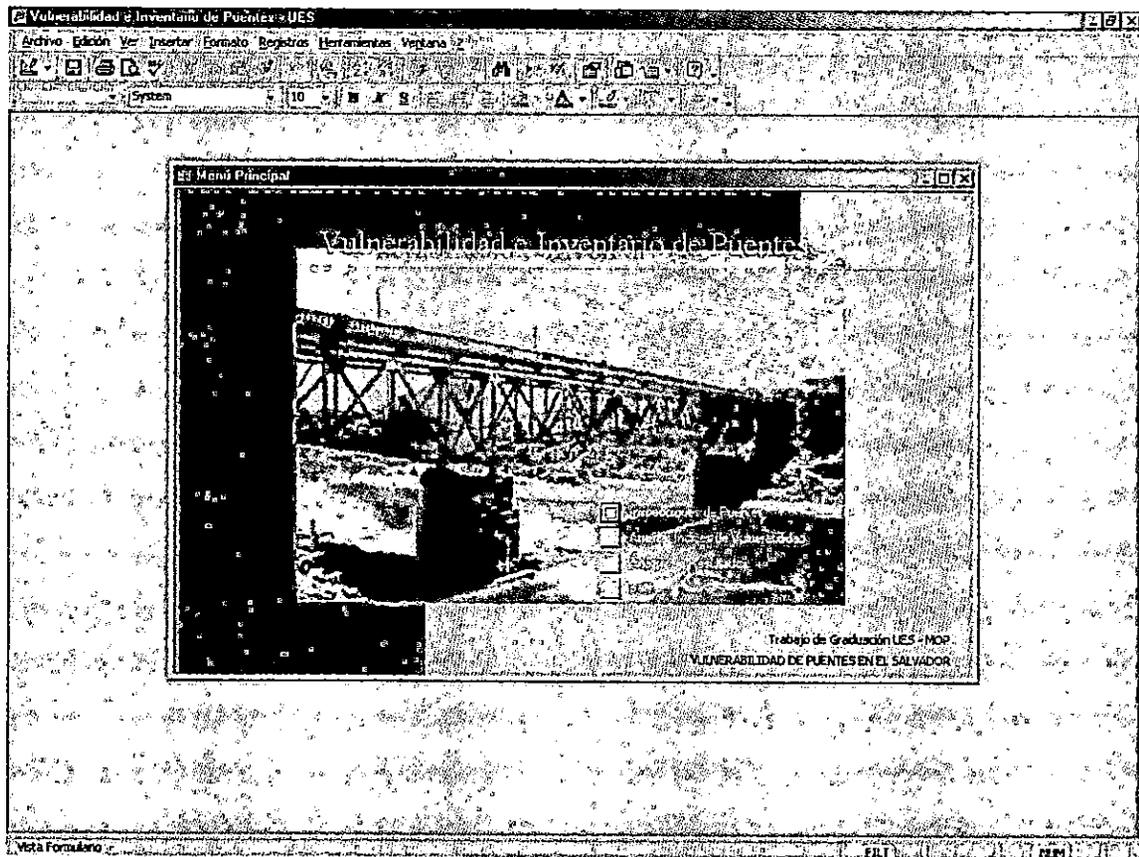


Figura 5.2 Menú principal del VIP-UES

### 5.3.1 INSPECCIONES DE PUENTES

Esta opción contiene todo lo relacionado con los registros de inspección, se pueden agregar o consultar.

Al entrar en esta opción, se despliega un menú de tres opciones:

- 1.1 Agregar registros de inspección
- 1.2 Consultar registros de inspección
- 1.3 Menú principal

#### 5.3.1.1 Agregar Registros de Inspección

Esta opción permite la adición de registros de inspección a la base de datos, los registros pueden ser del formato básico, formato de inspección principal y fotografías del puente. Las opciones que se muestran son:



zona seleccionada anteriormente y muestra en la lista de departamentos únicamente aquellos que pertenecen a dicha zona, de igual forma se obtiene la lista de municipios, desplegando únicamente los municipios que pertenecen al departamento seleccionado. La red se selecciona de la lista, el tramo deberá escribirse, y estará de acuerdo a la codificación que el M.O.P. posee para los tramos, la carretera se seleccionará de la lista, se escribe el estacionamiento, el tipo de obstáculo y el nombre del obstáculo. Con los datos generales y de ubicación del puente, la aplicación automáticamente genera un código para la identificación del puente. Estos datos deben estar completos para poder ejecutar la codificación automática, en caso contrario no se generará el código.

En la segunda parte se anotan datos de la geometría del puente, como lo muestra la figura 5.4. Estos datos incluyen el tipo de puente que se selecciona presionando el icono que corresponde al tipo de puente, el material de la losa o tablero se selecciona colocando la verificación a la casilla correspondiente, de igual manera se selecciona el material de la capa de rodadura, se anota la longitud total del puente y el número de claros que posee. En caso que el puente presente más de un claro, en la tabla siguiente del Formato Básico se anota la longitud y tipo de cada claro. Después se anota el ancho total, ancho de calzada, número de carriles, ancho y longitud de acera izquierda y derecha; altura, longitud y material de las barandas externas e internas, se especifica si el puente es curvo, si tiene drenajes, si tiene ruta alterna y el ángulo de esviaje.

Archivo Edición Ver Insertar Formato Registros Herramientas Verdana

Tablero

Concreto
  Metal
  Madera
  Mampostería

Concreto
  Asfalto
  Madera
  Grava

Longitud Total del Puente: 998.60 mts.
  No es Abierto: 5

VIGAS	CARGES (mts)	TIPO
1	63.80	VICAJON
2	90.0	VICAJON
3	90.0	VICAJON
4	90.0	VICAJON

SANONES	CARGES (mts)	TIPO
1	63.80	VICAJON
2		
3		
4		

Abierto: 17.50 mts.
  No es Abierto: 7.60 mts.
  Abierto a Cero: 2

Ancho de Área Izquierda: 1.50 mts.
  No es Abierto: 1.50 mts.

Ancho de Área Derecha: 420.50 mts.
  No es Abierto: 420.50 mts.

CARGAS	IZQUIERDA		DERECHA	
	ESTERNA	INTERNA	ESTERNA	INTERNA
ALFARDEOS	1.0	0.85	1.0	0.85
CONCRETO	410.0		410.0	
MATERIAL	Molástica	Concreto	Molástica	Concreto

Si
  No

Si
  No

Si
  No

Si
  No

Ancho de Área Elevada: 0 Grados

Registro: 3 de 30

Vista Formulario

Figura 5.4 Segunda parte del formato básico de inspecciones

En la tercera parte del formato (ver figura 5.5) se especifica el tipo de información disponible del puente, tal como datos estructurales, estudios de suelos, crecidas máximas, control de pesos de vehículos, conteos de tráfico, esquemas y fotografías existentes.

**INFORMACIÓN DISPONIBLE DEL PUENTE**

Estudios de Suelos	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No	Estudios de Suelos	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
Control de Pesos de Vehículos	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No	Control de Pesos de Vehículos	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
Conteos de Tráfico	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No	Esquemas y Fotografías Existentes	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No

Figura 5.5 Tercera parte del formato básico de inspecciones

Al final del formato se cuenta con cuatro opciones que le permiten guardar o eliminar el Formato Básico, ver el Formato de Inspección Principal o las fotografías del puente, se selecciona el icono que ejecuta la acción deseada. Las opciones son:



Guarda el Formato Básico y sale al menú de adición de registros para adicionar otro formato básico o cualquiera de los otros, o regresar al menú anterior.



Cancela la entrada del registro y pregunta si está seguro que desea eliminar el formato, si selecciona "Si" eliminará el registro y saldrá al menú de adición de registros, si selecciona "No" permanecerá en la ventana actual.



Guarda el formato básico y abre el formato de inspección principal para completarlo, transfiriendo los datos generales del Formato Básico al Formato de Inspecciones Principales para la identificación del puente. En el módulo de consulta, este icono busca el último registro disponible del formato de inspección principal para el puente correspondiente y lo muestra.



Abre el formato de fotografías en modo adición para la creación de un nuevo registro. Transfiere los datos necesarios para la identificación del puente del Formato Básico al formato de fotografías. En el modo consulta muestra las fotografías existentes del puente seleccionado, permitiendo la adición, modificación, eliminación o sustitución de las fotografías.

#### 5.3.1.1.2 Formato de Inspección Principal

Este formato se encuentra dividido en seis hojas, las tablas del Formato de Inspección Principal se distribuyen de la siguiente forma:

**Hoja 1:**

1. Capa de rodamiento
2. Ancho de calzada
3. Juntas de expansión
4. Aparatos de apoyo
5. Longitudes de apoyo
6. Distancia vertical libre

**Hoja 2:**

7. Superestructura

**Hoja 3:**

8. Subestructura

**Hoja 4:**

Continuación de la subestructura

**Hoja 5:**

9. Fundaciones
10. Accesos
11. Aceras y barandas
12. Hidráulico

**Hoja 6:**

13. Complementarios
14. Zona Sísmica
15. Zona de Inundación
16. Cargas
17. Ruta alterna
18. Cauce
19. Sobre carga real
20. Mantenimiento
21. Sensibilidad Regional
22. Antigüedad del puente
23. Importancia funcional
24. Magnitud del trabajo de reparación

Si se llama desde el formato básico cuando se está adicionando datos nuevos, se transferirá los datos para la identificación del puente, por lo que se inicia la entrada de datos para la tabla 1 del formato. Si se llama desde el menú de adición de registros, será necesario escribir los datos para la identificación del puente: código, nombre, inspector y fecha de inspección. Se hace necesario, entonces, que el Formato Básico de Inspección del puente seleccionado se encuentre almacenado en la base de datos antes de iniciar la introducción del Formato de Inspección Principal.

El código del puente deberá escribirse en letras mayúsculas para que sea reconocido por el programa

Cuando se llama desde el módulo consulta muestra el último registro de inspección en modo de solo lectura del puente seleccionado. La figura 5.6 muestra los datos básicos para la identificación del puente y las tres primeras tablas del F.I.P.

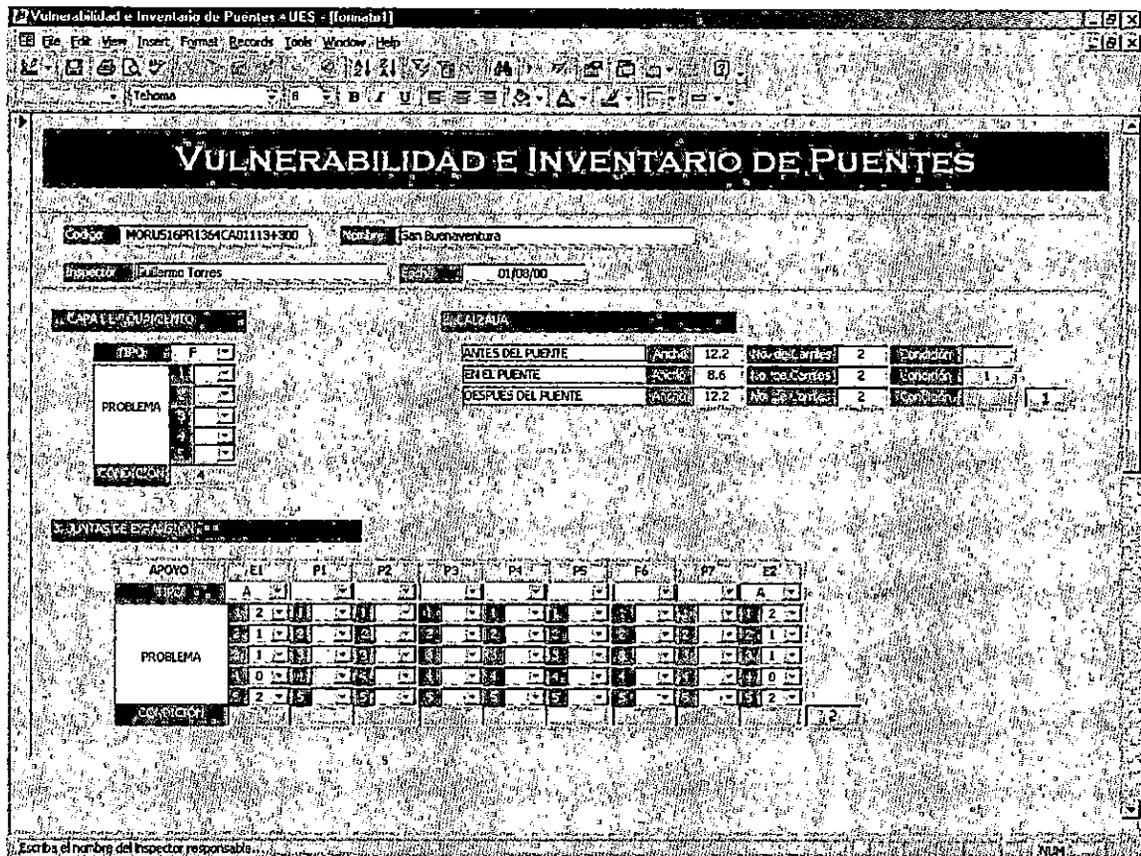


Figura 5.6 Datos básicos para la identificación del puente y tres primeras tablas del formato de inspección principal

Las tablas son correspondientes con el formato de inspección principal, los tipos de elemento se seleccionan como letras, cada elemento tiene sus tipos correspondientes. De igual forma los problemas corresponden a los del formato de inspección principal y se escogen de una lista de números la valoración para cada problema. Lo mismo aplica para la condición de apoyo de la superestructura y sistema estructural de la superestructura y subestructura, como puede verse en la figura 5.7.

APOYO		EI			PI			P2			P3			P4		
TIPO	PROBLEMA	TIPO	PROBLEMA	TIPO	PROBLEMA	TIPO	PROBLEMA	TIPO	PROBLEMA	TIPO	PROBLEMA	TIPO	PROBLEMA	TIPO	PROBLEMA	
CAPI TEL	1-10	PUN TO FRONTAL	1-10	PED RESTAL	1-10	CAN TERAL	1-10	CAPI TEL	1-10	FUS TE	1-10	PED RESTAL	1-10	CAPI TEL	1-10	

Figura 5.7 Tabla de subestructura del formato de inspección principal

Al final del formato de inspección principal, se observan tres iconos que permiten adicionar fotos para el puente, guardar y salir o regresar a la página anterior. A continuación se detalla la función de cada uno de ellos.



Le permite regresar a la página anterior del formato de inspección y pregunta si desea eliminar el registro actual.



Permite ver o adicionar las fotografías del puente que se está consultando o adicionando.



Termina la entrada del registro de inspección, guarda el registro y sale al menú de adición de registros de inspección.

Todas las hojas del formato, en la esquina inferior derecha, tienen dos iconos con flechas que indican la dirección a la cual se moverá cuando termine de introducir o ver los datos de la hoja actual. La flecha con dirección a la derecha indica que quiere ver la hoja siguiente del formato, la flecha con dirección a la izquierda indica que quiere ver la hoja anterior del formato. Cuando esté introduciendo datos y regrese a la hoja anterior, se eliminarán los registros de la hoja actual, el programa pide su confirmación para la eliminación del registro y retorno a la hoja anterior. Los registros eliminados no son recuperables, por lo que al volver a la hoja donde se eliminó el registro, usted deberá introducir nuevamente los datos del registro. En caso de estar en modo consulta, simplemente mostrará la hoja anterior, sin eliminar datos.

#### 5.3.1.1.3 Fotografías

Cuando se ingresa al formato de fotografías (ver figura 5.8) desde el formato de inspección principal, se transferirá los datos para la identificación del puente, si se llama desde el menú de adición de registros, será necesario escribir los datos para la identificación del puente.

Se dispone de diez fotografías para describir el puente, así como sus daños. Para introducir una fotografía se debe hacer clic derecho sobre un espacio vacío y seleccionar la opción "Insertar objeto...". Luego aparece la ventana insertar objeto, en la cual se selecciona el tipo de fotografía a insertar, como objeto o desde archivo. Si la fotografía se encuentra en un archivo se selecciona la segunda opción y se presiona el botón "Examinar...". Aparece el cuadro Examinar en donde se busca la ruta de acceso del archivo de imagen a insertar, se selecciona el archivo y se presiona "Aceptar". Al regresar al cuadro Insertar objeto se presiona nuevamente "Aceptar" y la fotografía será insertada en el cuadro vacío seleccionado.

Cuando se desea cambiar una fotografía, se realiza el procedimiento anterior de igual forma y la fotografía existente será reemplazada automáticamente por la fotografía nueva seleccionada. Para borrar una fotografía existente se selecciona y presiona la tecla "Suprimir" o "Delete". En algunos casos es posible

que la fotografía no se vea completa, puesto que el espacio disponible para cada una es pequeño, en tal caso se hace doble clic sobre la fotografía para que un editor de imágenes la amplie y pueda verse completamente. En un editor de imágenes es posible modificar las propiedades de la imagen, tal como su tamaño, claridad, color, etc.



Figura 5.8 Formato de fotografías de puentes

Al final del formato se encuentra el botón "Salir" que termina la adición o consulta del registro de fotografías y regresa el programa al menú de adición de registros.

#### 5.3.1.1.4 Menú Anterior

Esta opción le permite regresar a la función de Inspecciones de Puentes.

#### 5.3.1.2 Consultar Registros de Inspecciones

Se dispone de dos formas de consulta de registros, la primera es una consulta por ubicación, en la cual se selecciona un área (zona, departamento o carretera), en la que están comprendidos varios puentes interés. La segunda forma, permite una consulta más específica a través de un mapa en el cual se representa mediante puntos la ubicación exacta de cada puente.

#### 5.3.1.2.1 Consultar por ubicación

Al ingresar a la consulta por ubicación aparece en la pantalla tres carpetas, conteniendo la forma en que quiere consultar los registros: por zona, departamento o carretera. En cada una de estas carpetas debe seleccionar una de las opciones que aparecen: una de las zonas de nuestro país, uno de los departamentos o una de las carreteras según corresponda. El botón "Ver" le mostrará el formato básico de inspecciones conteniendo únicamente los registros que incluyan la selección realizada. Con las barras de desplazamiento de registros (ver figura 5.9) puede moverse de un puente a otro hasta encontrar el de su interés. El botón "General" muestra el formato básico conteniendo los registros de todos los puentes del país. Si presiona, en el Formato Básico, el icono del Formato de Inspección Principal, el programa buscará el último registro de inspección principal correspondiente al puente seleccionado y lo mostrará. El botón "Salir" devuelve el control al menú de consulta de registros de inspección.

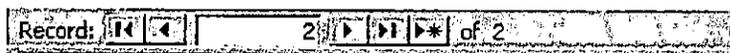


Figura 5.9 Barra de desplazamiento de registros

#### 5.3.1.2.2 Consultar por mapa

Al ingresar a esta opción, aparece un mapa completo de El Salvador dividido en departamentos, posee además las dos carreteras principales CA-1 y CA-2; y las zonas inundables.

Al hacer clic sobre el nombre de un departamento, aparece una ventana con un mapa ampliado del departamento seleccionado, como se muestra en la figura 5.10. Este mapa contiene las zonas de inundación y las carreteras principales. Sobre las carreteras se encuentran representados, por medio de botones, los puentes inventariados. Colocando el puntero del ratón sobre un botón se muestra el nombre y el estacionamiento del puente señalado. Haciendo clic a un botón, se accesa al Formato Básico de Inspección del puente seleccionado, desde el cual se puede ver el último Formato de Inspección Principal o el formato de fotografías. El botón "General", de la misma ventana, muestra los registros de los Formatos Básicos de todos los puentes localizados en dicho departamento. El botón "Salir" regresa al mapa general de El Salvador. Para finalizar la consulta por mapa, se presiona el botón "Cerrar" de la ventana, con lo que regresará al menú de consulta de registros de inspección.

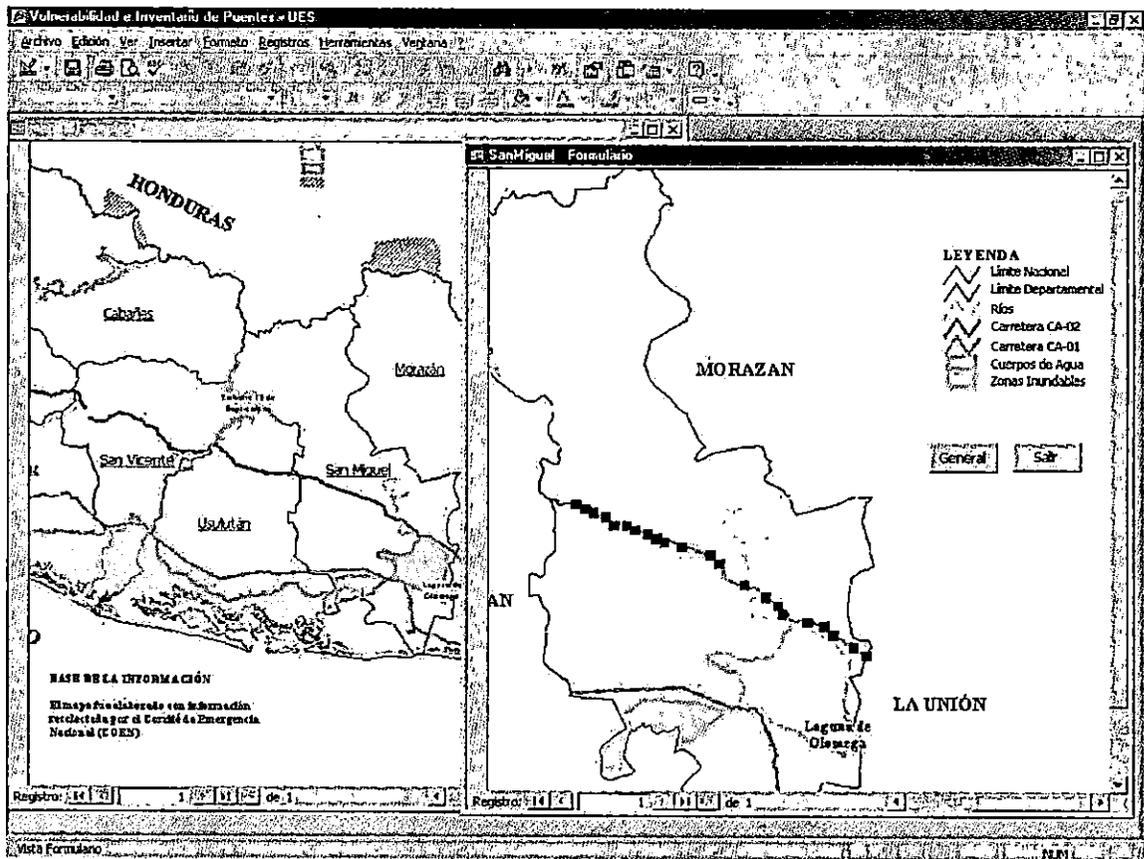


Figura 5.10 Ventanas de consulta por mapa

### 5.3.1.3 Menú Principal

Al hacer clic en este botón, se traslada al menú principal.

## 5.3.2 ANALIZAR ÍNDICES DE VULNERABILIDAD

En este, se evalúan los Índices de Vulnerabilidad del modelo propuesto. Contiene una carpeta para cada índice, en la que aparecen el título, una breve descripción del índice y los parámetros necesarios para evaluarlo. Es necesario completar el formato de inspección principal antes de realizar el análisis de la vulnerabilidad, puesto que de dicho formato se obtienen datos para el análisis.

Los índices de ubicación y de estado del sistema estructural son calculados automáticamente basándose en los registros de inspección, por lo que en sus carpetas únicamente aparece el valor del índice. Para los demás índices será necesario de la intervención del usuario, para definirlos deberá seleccionar entre varias opciones, en otros además, será necesario escribir valores numéricos en los lugares

correspondientes. Los valores de la Vulnerabilidad Estructural y la Vulnerabilidad Proyectada son calculados automáticamente conforme se completan los factores que definen los índices de vulnerabilidad. La figura 5.11 muestra la ventana para el análisis de los índices de vulnerabilidad. En la esquina inferior derecha se encuentra el botón "Ductilidad Ofrecida", el cual proporciona el acceso al módulo de cálculo de la ductilidad ofrecida para una columna circular. El botón "Terminar" localizado en la zona inferior derecha de la hoja, guarda la información proporcionada y cierra la hoja de introducción de datos devolviendo el control al menú principal.

**VULNERABILIDAD E INVENTARIO DE PUENTES**  
EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE VULNERABILIDAD

Código: MORU516PR1364CA01113+300      Departamento: Usulután  
 Nombre: San Buenaventura      Carretera: CA01  
 Inspeccion: Carlos, Ramirez, Torres      Estacionamiento: 113+300      Fecha de inspección: 13/08/00

11. Ubicación | 12. Tráfico | 13. Normas | 14. Estado del Sistema | 15. Tipo de Sistema | 16. Funcionalidad | 17. Periodo de vibración | 18. Ductilidad | 19. Colapso

**15. ÍNDICE DE TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL**  
 En este índice se consideran los distintos tipos de configuraciones estructurales empleadas en el diseño de puentes. Se evalúa si un puente es viaducto, los tipos de elementos que soportan la superestructura y sus condiciones de apoyo en la subestructura.

**5.1 Factor de Superestructura**

- Puente viaducto
- Puente soportado por estribos

**5.2 Factor de Subestructura**

- Columna simple
- Dos o más columnas con viga de cabezal continuo
- Armadura
- Estructura de marco
- Columna tipo pared

**5.3 Factor de Condiciones de Apoyo**

- Puentes integrales
- Puentes en condiciones de apoyo intermedio
- Puentes simplemente apoyados

Índice de Tipo de Sistema Estructural = 0.000

**ÍNDICE DE VULNERABILIDAD GLOBAL = 4.722**

Ductilidad Ofrecida      Terminar

Figura 5.11 Ventana para el análisis de los Índices de vulnerabilidad

### 5.3.2.1 Ductilidad ofrecida de una columna circular

Como puede verse en el flujograma de la figura 5.12, los datos requeridos para el cálculo de la ductilidad ofrecida de una columna circular son: diámetro de la sección, diámetro del núcleo confinado de concreto, número de varillas, área total de acero, profundidad de la varilla extrema de refuerzo, altura total de la columna, profundidad del eje neutro para la condición última y la condición de fluencia, carga vertical aplicada, excentricidad de la carga, esfuerzo de fluencia del concreto y esfuerzo de fluencia del acero.

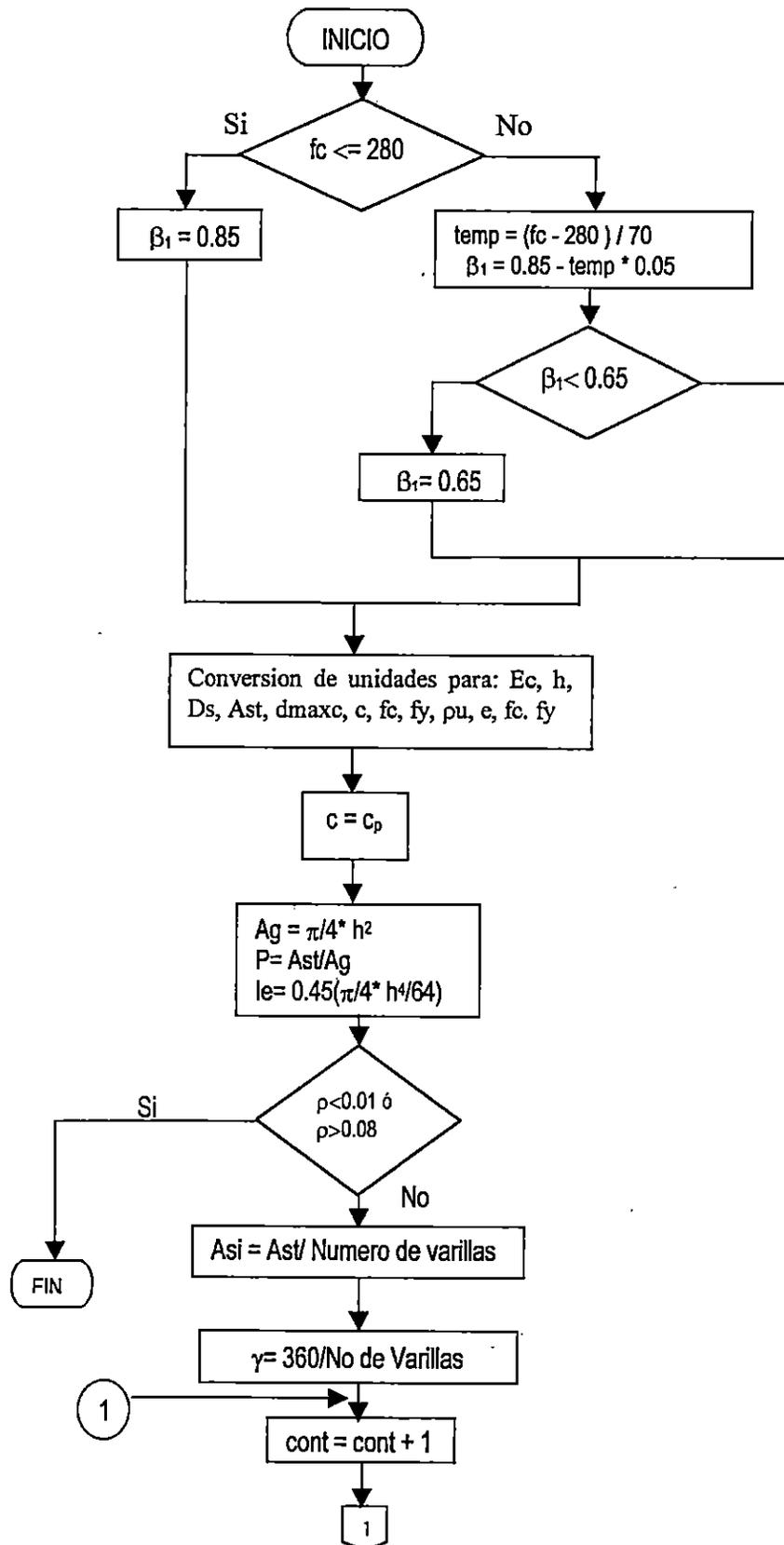


Fig. 5.12 Flujograma para el cálculo de la ductilidad ofrecida de una columna circular

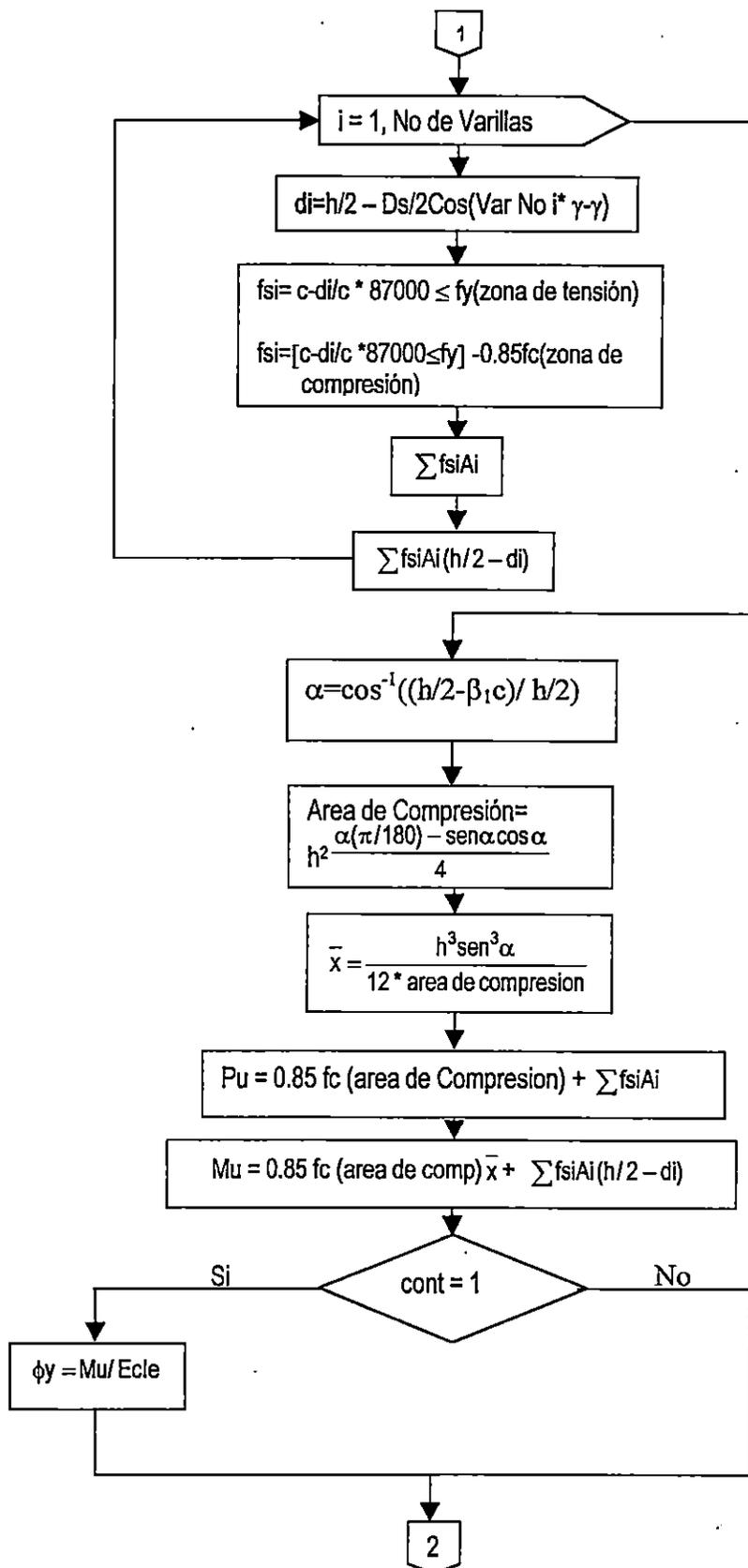


Fig. 5.13 Continuación del flujograma para el cálculo de la ductilidad ofrecida de una columna circular

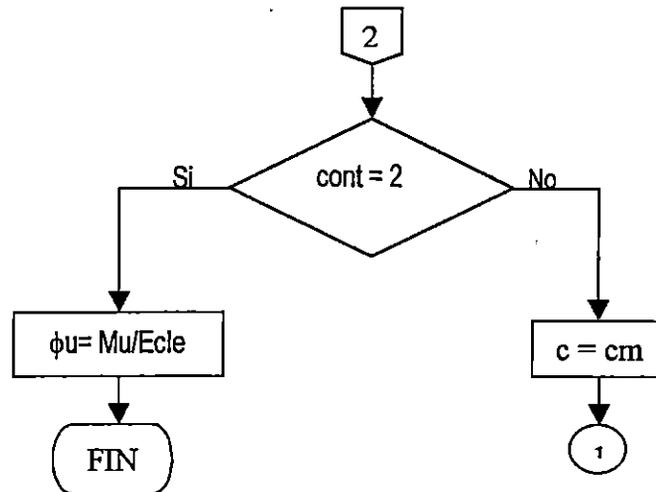


Fig. 5.14 Continuación del flujograma para el cálculo de la ductilidad ofrecida de una columna circular

Si el valor de la profundidad del eje neutro para la condición última es igual a cero, los valores de la carga vertical y excentricidad serán requeridos, puesto que el programa automáticamente buscará el valor de la profundidad del eje neutro que satisface la condición de la carga y la excentricidad, con esos valores obtendrá la ductilidad ofrecida. Cuando el valor de la profundidad del eje neutro es diferente de cero, tomará este valor para realizar el cálculo sin importar los valores de la carga vertical y la excentricidad. El programa también supone la cantidad de acero de refuerzo longitudinal se encuentra distribuido uniformemente en el número de varillas de la sección y que las varillas tienen separaciones iguales. El tiempo de ejecución es proporcional al número de varillas en la sección transversal, puesto que el programa debe calcular la deformación en cada una de ellas. La figura 5.15 muestra la ventana en la que se introducen los datos para el cálculo y el resultado que se obtiene.

Una vez introducidos los datos, el botón "Calcular" indica al programa el inicio del cálculo, el botón "Salir" regresa el control a la ventana de análisis de los índices de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad e Inventario de Puentes - UES

File Edit View Insert Format Records Tools Window Help

Teloma

SeeCamble Form

## VULNERABILIDAD E INVENTARIO DE PUENTES ANÁLISIS DE UNA SECCIÓN CIRCULAR DE COLUMNA

DATOS DE ENTRADA		DATOS DE SALIDA	
Díámetro de la Sección:	$h =$ <input type="text"/> mts.	Momento Plástico:	$M_p =$ <input type="text"/> kg·m
Díámetro del Núcleo Confinado de Concreto:	$D_c =$ <input type="text"/> mts.	Momento Último:	$M_u =$ <input type="text"/> kg·m
Número de Varillas:	$N =$ <input type="text"/>	Ductilidad Ofrecida:	<input type="text"/>
Área Total de Acero:	$A_{st} =$ <input type="text"/> m <sup>2</sup>		
Profundidad de la Varilla de Refuerzo Extrema:	$d_{max} =$ <input type="text"/> mts.		
Altura Total Considerada:	$L =$ <input type="text"/> mts.		
Profundidad del Eje Neutro:			
Condición Última:	$c =$ <input type="text"/> 0.000000 mts.		
Condición de Fluencia:	$cp =$ <input type="text"/> mts.		
Carga Vertical Aplicada:	$P_u =$ <input type="text"/> kg.		
Excéntrica de la Carga Vertical:	$e =$ <input type="text"/> mts.		
Esfuerzo de Fluencia en el Concreto:	$f'_c =$ <input type="text"/> kg/cm <sup>2</sup>		
Esfuerzo de Fluencia del Acero:	$f_y =$ <input type="text"/> kg/cm <sup>2</sup>		

Form View

Figura 5.15 Máscara de entrada de datos para el cálculo de la ductilidad ofrecida

### 5.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentan los resultados de los formatos de inspección y análisis de Vulnerabilidad en forma estadística para su fácil comprensión y análisis, como se muestra en la figura 5.16. Esta ventana le permite seleccionar el tipo de informe que desea obtener, así como la extensión de la información a considerar. Es posible generar informes de:

1. Cantidad de puentes
2. Tipos de puentes
3. Número de claros
4. Listados de priorización (según vulnerabilidad estructural)
5. Vulnerabilidad proyectada

Cada uno de los anteriores tipos de informes puede obtenerse a escala nacional, por carretera, por zona o por departamento. Para generarlos se debe seleccionar en el recuadro superior el tipo de informe

deseado, y en el recuadro inferior la extensión del informe, luego se presiona el botón "Ver" ubicado en la zona inferior de la hoja. El informe generado se puede imprimir utilizando la barra de herramientas de la vista previa del informe o la opción "Imprimir..." del menú Archivo. En el recuadro "Otros" se encuentran informes que se generan únicamente a nivel nacional, tales como:

1. Elementos de puente comúnmente dañados
2. Clasificación de acuerdo a la longitud total
3. Listado de priorización de acuerdo a los registros de inspección

Para generar estos registros de inspección se selecciona el deseado y se presiona el botón "Ver" ubicado en el mismo recuadro. El botón, "Salir" termina la generación de informes y regresa el control al menú principal.

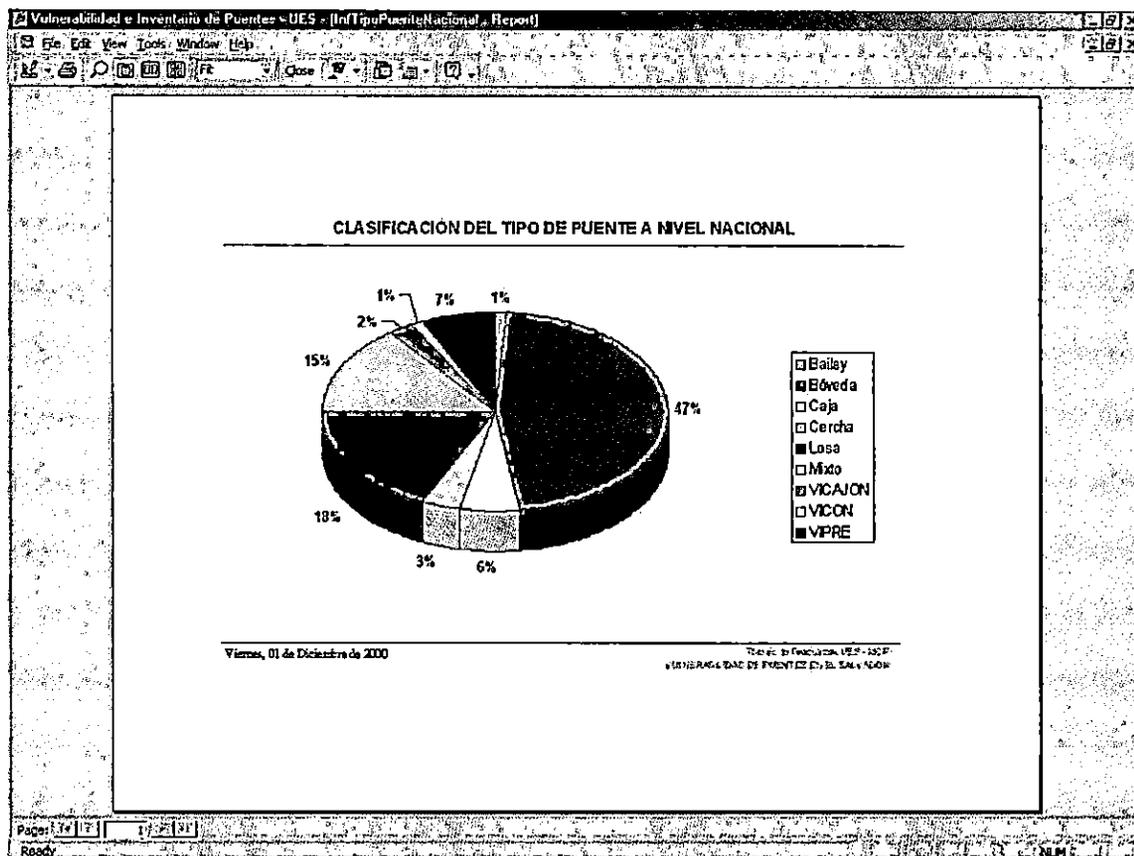


Figura 5.16 Ejemplo de informe generado por la aplicación

#### 5.3.4 SALIR

Termina la sesión en la aplicación y regresa el control a Microsoft Access. Para salir de la aplicación y de Microsoft Access, se selecciona la opción "Salir" del menú "Archivo".

#### 5.4 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

El sistema VIP-UES es una aplicación realizada en Microsoft Access, por lo que es necesario que sea instalado en la computadora desde la que será ejecutada. Los requerimientos mínimos para el funcionamiento óptimo de la aplicación son:

- Microsoft Access
- Procesador 400 Mz
- 64 MB de memoria RAM
- 1 GB de memoria fija

#### 5.5 SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

- a) Al momento de introducir el Formato de Inspección Principal, puede producirse el mensaje "Uso no válido de la propiedad Null", en este caso se debe presionar el botón "Finalizar" y luego eliminar el registro introducido del puente en todas las hojas. Posteriormente introducir nuevamente el registro.
- b) El mensaje "Imposible ir al registro especificado" se produce cuando se trata de acceder a un registro que no existe dentro de la base de datos.
- c) El programa no permite la introducción de datos cuando en la casilla de problema sobre la que se escribirá la valoración, se posiciona el cursor con el ratón y luego se trata de escribir. Para solucionar esto se recomienda que el primer problema se complete escogiendo de la lista utilizando el ratón, y luego se presione la tecla "Entrar" para moverse a la siguiente casilla de problema. El formato está diseñado para ser completado con la utilización del ratón, por lo que se prefiere su uso.
- d) Las casillas ha llenar en el formato únicamente pueden contener el tipo o valoración establecida en el manual del formato. Los tipos o valoraciones se encuentran en la lista correspondiente a cada casilla, por lo que si se introduce un texto o número diferente a los elementos de la lista, se genera el

mensaje "El texto introducido no es uno de los elementos de la lista", y a continuación el programa le pide que introduzca uno de los elementos de la lista.

- e) El mensaje "El campo es muy pequeño para almacenar la información", se produce cuando la longitud del texto que está introduciendo en la casilla correspondiente es mayor a la capacidad de almacenar del campo. Revise los datos introducidos y verifique la longitud de las cadenas de texto.

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 CONCLUSIONES

- Con el método propuesto, el cual evalúa de una forma completa, los parámetros que determinan la vulnerabilidad de un puente se logrará establecer la propensión a sufrir daños que afecten su funcionamiento seguridad y duración.
- La implementación inmediata del procedimiento de Inspecciones Principales de Puentes, mejorará las labores de mantenimiento, reparación y administración de recursos, que el Ministerio de Obras Publicas realiza en estas obras.
- El procedimiento de Inspecciones Principales, ha sido creado con el propósito de recolectar la información necesaria para el procedimiento de Evaluación de la Vulnerabilidad, además es utilizado para realizar una priorización de las estructuras según el nivel de daño observado en las inspecciones.
- A pesar que el formato de Inspección Principal de Puentes, ha sido creado para evaluar éstas estructuras, puede ser utilizado para evaluar cualquier otros tipo de obra de paso.
- Es de vital importancia, identificar y analizar las causas de los daños mas frecuentes en los puentes y obras de paso en El Salvador; ya que al conocerlas se definirán soluciones integrales que corrijan el daño y combatan sus orígenes.
- Con la aplicación de la metodología de evaluación de la Vulnerabilidad estructural propuesta, se obtiene la información necesaria para la toma de decisiones referentes al mantenimiento reparación o sustitución de una estructura.
- Se observa que los puentes analizados cumplen los requerimientos de ductilidad, ya que en todos los casos la demanda de ductilidad de la estructura es inferior a la ductilidad ofrecida, para los sismos considerados.
- En los puentes de un solo claro soportados por estribos, el valor obtenido de Vulnerabilidad Nivel II es muy bajo. Se espera que otras estructuras de este tipo tengan el mismo comportamiento.

- La elección del modelo y tipo de análisis de los puentes, influirá en la obtención de los resultados de la Vulnerabilidad Estructural. El modelo elegido debe representar lo mas aproximado posible las características de cada estructura en particular.
- La obtención del índice de Vulnerabilidad Proyectada, proporciona un estimado de la vulnerabilidad estructural que se espera posea la estructura; por lo que es necesario que se realice un análisis estructural a todos los puentes.
- Al evaluar la Vulnerabilidad Proyectada a los puentes ubicados en la Carretera CA-1, se observa que un 33 % se encuentra en el rango minimamente vulnerable, por lo que no son prioritarios, un 32% se encuentra en un estado poco vulnerable o prioridad 2, el 30% se encuentra medianamente vulnerable o prioridad 3 y el 5% se encuentra muy vulnerable, o en prioridad 2.
- Es de mención especial, que el hecho que un puente se encuentre en niveles bajos de vulnerabilidad, no indica que se debe descuidar su mantenimiento preventivo.
- Comparando los resultados obtenidos de los ejemplos a los cuales se les aplico el procedimiento de evaluación de la Vulnerabilidad Estructural y la Vulnerabilidad Proyectada, se observa que coinciden en el nivel de prioridad, por lo tanto la evaluación de la Vulnerabilidad Proyectada se considera un método valido para determinar el nivel de prioridad de las estructuras.
- Con la creación del banco de datos, se pretende generar una hoja de vida de los puentes, con la cual es posible establecer, a lo largo del tiempo, una tipificación de daños para las estructuras de nuestro país.
- El banco de datos agiliza la manipulación de la información de los puentes, con la generación de reportes estadísticos, listados de priorización e información general de cada puente. Esta información, es posible obtenerla de manera general o clasificarla, ya sea por carretera, zona o departamento.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable, que el personal que realiza las inspecciones principales a los puentes, posean conocimientos básicos en procedimientos de inspección e identificación de los daños que podría presentar la estructura.
- A los puentes que se encuentren con daños severos, es conveniente realizar inspecciones detalladas, utilizando equipo especial, para dar un diagnóstico mas preciso de la condición del puente, así como posibles soluciones.
- Basados en la evaluación de la vulnerabilidad, será de utilidad, el establecer programas permanentes de evaluación y mantenimiento a los puentes, con el fin que daños menores que podrían causar el inhabilitamiento de la estructura, sean corregidos a tiempo.
- Se recomienda establecer un control periódico de cargas de los vehículos, que circulan en las principales carreteras de nuestro país, con el objetivo de poseer un registro y contar con información real cuando se requiera el análisis de los puentes.
- Es conveniente establecer el control de la calidad de los materiales en la ejecución de las obras y registrarlos en la base de datos, para mantenimiento, refuerzos y futuras investigaciones.
- La base de datos se limita únicamente a la obtención de la priorización de los puentes, sin embargo es posible ampliar el programa para incluir un modulo de mantenimiento, el cual sugiera posibles acciones de preservación para los elementos del puente. Las acciones a considerar deberán estar en función del elemento dañado y del tipo y grado de daño que este presente.
- Cada acción de preservación considerada en el módulo de mantenimiento, supondrá un costo determinado. Puede, entonces, incluirse un modulo para la evaluación de los costos implicados en cada una de las alternativas de preservación. De esta manera el administrador tendrá un criterio más amplio para la toma de decisiones, y distribución de los recursos.

- Realizar inspecciones o registros cuando un puente sea sometido a reparación o demolición, con el objetivo de comparar el estado estructural que posea el puente, con el que se esperaría que tuviese.
- Llevar a cabo investigaciones acerca de inundaciones y crecidas de ríos, orientadas a determinar la magnitud o impacto que la fuerza del agua ejerce sobre el puente.

## **ANEXOS**

# ANEXO A-1

## MANUAL DEL FORMATO DE INVENTARIO BASICO DE PUENTES (IBP)

- CODIGO:

Cadena de caracteres alfanuméricos producto de la fusión de datos obtenidos del inventario básico, siendo este único para cada puente. La formación de este código se describe enseguida.

- NOMBRE DEL PUENTE

Indica el nombre propio del puente, en el caso de desconocerse colocar el nombre del río, población o comunidad que pueda identificarlo y si no se conoce ninguna de la información antes mencionada identificarlo como "sin nombre".

- AÑO DE CONSTRUCCION

Esta información en muchos casos se puede obtener de una las placas de identificación que poseen los puentes, de no estar disponible se puede obtener de planos constructivos u otros documentos que contengan información del puente.

- CONSTRUCTOR

Nombre de la empresa constructora que efectuó la construcción del puente.

- ① PROPIETARIO

Indica quien es el propietario de la vía, el cual puede ser el Ministerio de Obras Publicas en la mayoría de los casos o un particular. Utilizar una letra M cuando el propietario sea el M.O.P. y una letra P de ser un particular.

M = MOP      P = Particular

Colocar las letras que identifiquen el propietario, en las casillas agrupadas en ① del código.

- ② ZONA

El Salvador está dividido en las siguientes zonas:

OC: Occidental ( Ahuachapán, Santa Ana, Sonsonate)

CE: Central ( La Libertad, Chalatenango, San Salvador)

OR: Oriental ( San Miguel, Morazán, Usulután, La Unión)

PC: Para – Central ( Cuscatlán, Cabañas, San Vicente, La Paz)

Colocar las letras que identifiquen la zona, en las casillas agrupadas en ② del código.

- ③ DEPARTAMENTO

La división política de El Salvador determina 14 departamentos que son:

- AH: Ahuachapán
- SA: Santa Ana
- SO: Sonsonate
- LL: La Libertad
- CH: Chalatenango
- SS: San Salvador
- CU: Cuscatlán
- CA: Cabañas
- SV: San Vicente
- LP: La Paz
- US: Usulután
- SM: San Miguel
- MO: Morazán
- LU: La Unión

Colocar las letras que identifiquen el departamento, en las casillas agrupadas en ③ del código.

- ④ MUNICIPIO

Nombre del municipio donde se localiza el puente.

Colocar el código que identifique el municipio, en las casillas agrupadas en ④ del código.

**TABLA A-1.1 CODIGOS DE MUNICIPIOS**

AHUACHAPAN	Ahuachapán	01
	Apaneca	02
	Atiquizaya	03
	Concepción de Ataco	04
	El Refugio	05
	Guaymango	06
	Jujutla	07
	San Francisco Menéndez	08
	San Lorenzo	09
	San Pedro Puxtla	10
	Tacuba	11
	Turín	12

SANTA ANA	Candelaria de la Frontera	01
	Coatepeque	02
	Chalchuapa	03
	El Congo	04
	El Porvenir	05
	Masahuat	06
	Metapán	07
	San Antonio Pajonal	08
	San Sebastián Salitrillo	09
	Santa Ana	10
	Santa Rosa Guachipilín	11
	Santiago de la Frontera	12
	Texistepeque	13
SONSONATE	Acajutía	01
	Armenia	02
	Caluco	03
	Cuisnahuat	04
	Ishuatán	05
	Izalco	06
	Juayúa	07
	Nahuizalco	08
	Nahuilingo	09
	Salcoatitán	10
	San Antonio del Monte	11
	San Julián	12
	Santa Catarina Masahuat	13
	Santo Domingo de Guzmán	14
	Sonsonate	15
	Sonzacate	16
CHALATENANGO	Agua Caliente	01
	Arcatao	02
	Azacualpa	03
	Citalá	04
	Comalapa	05
	Concepción Quezaltepeque	06
	Chalatenango	07
	Dulce Nombre de María	08
	El Carrizal	09

	El Paraíso	10
	La Laguna	11
	La Palma	12
	La Reina	13
	Las Vueltas	14
	Nombre de Jesús	15
	Nueva Concepción	16
	Nueva Trinidad	17
	Ojos de agua	18
	Potonico	19
	San Antonio de la Cruz	20
	San Antonio Los Ranchos	21
	San Fernando	22
	San Francisco Lempa	23
	San Francisco Morazán	24
	San Ignacio	25
	San Isidro Labrador	26
	San José Cancasque	27
	San José la Flores	28
	San Luis del Carmen	29
	San Miguel de Mercedes	30
	San Rafael	31
	Santa Rita	32
	Tejutla	33
LA LIBERTAD	Antiguo Cuscatlán	01
	Ciudad Arce	02
	Colón	03
	Comasagua	04
	Chiltiupan	05
	Huisúcar	06
	Jayaque	07
	Jicalapa	08
	La Libertad	09
	Nuevo Cuscatlán	10
	Nueva San Salvador	11
	Quezaltepeque	12
	Sacacoyo	13
	San José Villanueva	14

	San Juan Opico	15
	San Matías	16
	San Pablo Tacachico	17
	Tamanique	18
	Talnique	19
	Teotepeque	20
	Tepecoyo	21
	Zaragoza	22
SAN SALVADOR	Aguilares	01
	Apopa	02
	Ayutuxtepeque	03
	Ciudad Delgado	04
	Cuscatancingo	05
	El Paisnal	06
	Guazapa	07
	Ilopango	08
	Mejicanos	09
	Nejapa	10
	Panchimalco	11
	Rosario de Mora	12
	San Marcos	13
	San Martín	14
	San Salvador	15
	Santiago Texacuango	16
	Santo Tomás	17
	Soyapango	18
	Tonacatepeque	19
CUSCATLAN	Candelaria	01
	Cojutepeque	02
	Carmen	03
	El Rosario	04
	Monte de San Juan	05
	Oratorio de Concepción	06
	San Bartolomé Perulapía	07
	San Cristóbal	08
	San José Guayabal	09
	San Pedro Perulapán	10
	San Rafael Cedros	11

	San Ramón	12
	Santa Cruz Analquito	13
	Santa Cruz Michapa	14
	Suchitoto	15
	Tenancingo	16
LA PAZ	Cuyultitán	01
	El Rosario	02
	Jerusalén	03
	Mercedes la Ceiba	04
	Olocuilta	05
	Paraíso de Osorio	06
	San Antonio Masahuat	07
	San Emigdio	08
	San Francisco Chinameca	09
	San Juan Nonualco	10
	San Juan Talpa	11
	San Juan Tepezontes	12
	San Luis	13
	San Miguel Tepezontes	14
	San Pedro Masahuat	15
	San Pedro Nonualco	16
	San Rafael Obrajuelo	17
	Santa María Ostuma	18
	Santiago Nonualco	19
	Tapalhuaca	20
	Zacatecoluca	21
CABANAS	Cinquera	01
	Guacotecti	02
	Ilobasco	03
	Jutiapa	04
	San Isidro	05
	Sensuntepeque	06
	Tejutepeque	07
	Victoria	08
	Villa Dolores	09
SAN VICENTE	Apastepeque	01
	Guadalupe	02
	San Cayetano Istepeque	03

	Santa Clara	04
	Santo Domingo	05
	San Esteban Catarina	06
	San Ildefonso	07
	San Lorenzo	08
	San Sebastián	09
	San Vicente	10
	Tecoluca	11
	Tepetitán	12
	Verapaz	13
USULUTAN	Alegría	01
	Berlín	02
	California	03
	Concepción Batres	04
	El Triunfo	05
	Ereguayquín	06
	Estansuelas	07
	Jiquilisco	08
	Jucuapa	09
	Jucuarán	10
	Mercedes Umaña	11
	Nueva Granada	12
	Ozatlán	13
	Puerto el Triunfo	14
	San Agustín	15
	San Buenaventura	16
	San Dionisio	17
	Santa Elena	18
	San Francisco Javier	19
	Santa María	20
	Santiago de María	21
	Tecapán	22
	Usulután	23
SAN MIGUEL	Carolina	01
	Ciudad Barrios	02
	Comacarán	03
	Chapeltique	04
	Chinameca	05

	Chirilagua	06
	El Tránsito	07
	Lolotique	08
	Moncagua	09
	Nueva Guadalupe	10
	Nuevo Edén de San Juan	11
	Quelepa	12
	San Antonio del Mosco	13
	San Gerardo	14
	San Jorge	15
	San Luis de la Reina	16
	San Miguel	17
	San Rafael Oriente	18
	Sesori	19
	Uluazapa	20
MORAZAN	Arambala	01
	Cacaopera	02
	Corinto	03
	Chilanga	04
	Delicias de Concepción	05
	El Divisadero	06
	El Rosario	07
	Gualococtí	08
	Guatajiagua	09
	Joateca	10
	Jocoaitique	11
	Jocoro	12
	Lolotiquillo	13
	Meanguera	14
	Osicala	15
	Perquín	16
	San Carlos	17
	San Fernando	18
	San Francisco Gotera	19
	San Isidro	20
	San Simón	21
	Sensembra	22
	Sociedad	23

	Torola	24
	Yamabal	25
	Yoloaiquín	26
LA UNION	Anamorós	01
	Bolívar	02
	Concepción de Oriente	03
	Conchagua	04
	El Carmen	05
	El Sauce	06
	Intipucá	07
	La Unión	08
	Lislique	09
	Meanguera del Golfo	10
	Nueva Esparta	11
	Pasaquina	12
	Polorós	13
	San Alejo	14
	San José	15
	Santa Rosa de Lima	16
	Yayantique	17
	Yucuaiquín	18

- ⑤ RED

La red vial se encuentra dividida en:

ES: Especial

PR: Primaria

SE: Secundaria

TE: Terciaria

RA: Rural A

RB: Rural B

Colocar las letras que identifiquen el tipo de red, en las casillas agrupadas en ⑤ del código.

- ⑥ TRAMO

De acuerdo al sistema de inventario vial se ha generado un número de cuatro (4) dígitos el que identifica al tramo de carretera en el que se encuentra el puente.

Para obtener este código confróntese el Inventario Vial del Ministerio de Obras Públicas.

Colocar el código que identifique el tramo indicado, en las casillas agrupadas en ⑥ del código.

- ⑦ CARRETERA

El código de carretera es un valor alfanumérico compuesto por las letras **CA** que significa carretera, seguidas de dos números los que identifican la carretera. Para conocer este código es necesario confrontar el Inventario Vial del Ministerio de Obras Públicas.

Colocar el código que identifique la carretera, en las casillas agrupadas en ⑦ del código.

- ⑧ ESTACIONAMIENTO

Es un valor compuesto de dos (2) números cada uno compuesto de tres (3) dígitos enlazados por el signo + el primer número corresponde el kilómetro y el segundo a los metros. Para conocer el estacionamiento donde se localiza el puente confronte el Inventario Vial del Ministerio de Obras Públicas, si no es posible obtener el estacionamiento de esta forma use el odómetro de su vehículo y determine la estación del inicio del puente en progresiva.

Colocar el estacionamiento correspondiente, en las casillas agrupadas en ⑧ del código.

- OBSTÁCULO

Tipo de Obstáculo:

Se refiere al tipo de obstáculo que está salvando el puente.

Nombre:

Indica el nombre propio del obstáculo salvado y/o su código en el caso de ser una carretera.

- TIPO DE PUENTE

El tipo de puente está dado por el miembro principal de la superestructura, marcar con una X la figura que describa el tipo de puente. Siendo los más comunes los que se detallan a continuación:

- VICON: Puente cuyo elemento principal es la viga de concreto armado.
- VIPRES: Puente cuyo elemento principal es la viga de concreto pre-esforzado.
- BOVEDA: Son puentes construidos en forma de bóveda, pueden ser de concreto o mampostería como ladrillos, piedra u otro material, se debe especificar el elemento predominante del cual esté fabricado.
- SUPER-SPAN: Son puentes tipo bóveda cuya estructura es una lámina metálica y sobre la cual se construye un relleno:
- CAJA: Son puentes tipo cajón, cuya estructura es una figura geométrica rectangular cerrada y hecha en la mayoría de casos de concreto.
- ARCO: Son puentes cuyo elemento principal es un arco que sirve de sustentación a los otros elementos.

- CERCHA: Son puentes cuyo elemento principal es una estructura metálica reticular.
- COLGANTE: Son puentes cuyos elementos principales son cables a los cuales se sujetan otros elementos.
- MADERA: Son puentes cuyo elemento principal es la viga de madera.
- MIXTO: Son puentes cuyo elemento principal es la viga metálica de alma llena y tablero de concreto.
- LOSA: Son puentes cuyo elemento principal es la losa de concreto y sirve de tablero al mismo tiempo.
- VICAJON: Son puentes cuyo elemento principal es la viga cajón.
- BAILEY: Son puentes modulares prefabricados.

- MATERIAL DE LOSA/TABLERO

Se refiere al material estructural de la losa o tablero. Marque con una X el tipo de material que corresponda.

- MATERIAL DE CAPA DE RODADURA.

Se refiere al material superficial sobre el cual circulan los vehículos. Marque con una X el tipo de material que corresponda.

- LONGITUD TOTAL DEL PUENTE.

Se refiere a la longitud entre estribo y estribo del puente.

- NUMERO DE VANOS.

Se debe especificar el número de vanos, longitud y el tipo de cada uno de ellos.

- ANCHO TOTAL.

Distancia medida de extremo a extremo del puente en la sección transversal.

- ANCHO DE CALZADA

Distancia efectiva sobre la cual circulan los vehículos.

- NUMERO DE CARRILES.

Indica el número de carriles que posee la calzada.

- ANCHO DE ACERA

Distancia disponible para el paso peatonal en los dos extremos de la calzada.

- PUENTE CURVO

Anotar si existe alguna curvatura en el puente.

- ANGULO DE ESVIAJAMIENTO

Anotar el ángulo de inclinación del soporte (en grados) medido desde la línea normal al eje longitudinal del claro.

- **BARANDA**

Anotar la altura de la baranda y el material del que esté hecho, tanto para la baranda derecha e izquierda, como exterior e interior..

- **DRENAJE**

Anotar la existencia de drenajes en el tablero para la evacuación de agua.

- **RUTA ALTERNA**

Indicar la existencia de una ruta alterna en caso de cierre del puente, debido a reparación, mantenimiento o colapso del puente.

- **INFORMACION DISPONIBLE DEL PUENTE**

Verificar la existencia de otro tipo de información:

- Estructurales: planos, memorias de calculo, etc.
- Crecidas máximas: tirantes máximos registrados.
- Registro de conteos de tráfico.
- Estudios de suelo.
- Control de pesos de vehículos
- Esquemas y fotografías existentes( obtenidas de inspecciones anteriores)

- **INSPECTOR**

Nombre de la persona responsable de la inspección.

- **FECHA**

Fecha de la inspección.

## ANEXO A-2

### MANUAL DEL FORMATO DE INSPECCIONES PRINCIPALES DE PUENTES (IPP)

El propósito de este manual, es servir como un estándar y proporcionar uniformidad en los procedimientos y políticas, para determinar la condición física y evaluación de la vulnerabilidad de los puentes de nuestro país.

Este manual proporciona los lineamientos para realizar la evaluación de los puentes, utilizando el Formato de Inspección Principal de Puentes.

A continuación se mencionan y codifican los elementos componentes del puente que serán evaluados, se incluye también los problemas que éstos pueden presentar con sus respectivos códigos.

El formato de inspección está estructurado de la siguiente manera:

- Los tipos de elementos se codificarán con una letra mayúscula
- Los problemas del elemento se codificarán con un número. La intensidad del problema será evaluada en una escala numérica de condición de 0 a 4, donde la condición 0 corresponde al mínimo daño o daño no apreciable. Condición 4 corresponde a la condición de daño severo. El número de condición será colocado en la casilla adyacente al número del problema que se observe en el elemento. La condición para cada problema de los elementos se encuentra detallada a continuación
- Los estribos se identifican por la letra E, siendo el estribo izquierdo E1 y el estribo derecho E2; en el sentido creciente del estacionamiento de la carretera.
- Las pilas se identifican de la forma siguiente: Pn, donde P significa pila y n un número entero, que indica el número de la pila en orden creciente en el sentido del estacionamiento de la carretera.
- Los claros se identificaran por los elementos de la subestructura que lo soportan, por ejemplo el claro E1-P1 representa el claro comprendido entre el estribo izquierdo y la pila 1, P3-P4 representa el claro comprendido entre la pila 3 y la pila 4.
- Cuando el puente no cuente con un elemento especificado en el formato, en éste se colocara un guión en la casilla correspondiente.

#### DETERMINACION DE CONDICIÓN.

La condición para cada elemento, se determinará tomando la mayor calificación de los daños que presenta dicho elemento

La condición final para cada tabla se determinará utilizando el criterio anterior, aplicado a la condición de cada elemento, la cual se anotará en la casilla ubicada en la parte inferior de cada tabla.

### 1. CAPA DE RODAMIENTO.

Superficie que cubre el tablero y sobre la cual circulan los vehículos.

**TABLA A-2.1 EVALUACION DE CAPA DE RODAMIENTO**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Concreto Asfáltico	1	Corrugas	No se observan	0
				10%-50% de la superficie	2
				> 50% de la superficie	3
		2	Canales	No se observan	0
				10%-50% de la superficie	3
				> 50% de la superficie	4
		3	Fisuras	No se observan	0
				0.1 – 0.4 mm	2
				> 0.4 mm	3
		4	Depresiones o baches	No se observan	0
				< 20% de la superficie	2
				20%-50% de la superficie	3
> 50% de la superficie	4				
B	Concreto Hidráulico	1	Fisuras	No se observan	0
				0.1 – 0.4 mm	2
				> 0.4 mm	3
		2	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				El acero de refuerzo esta corroido entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	2
				El acero esta corroido en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	3
		3	Eflorescencia	No se observa	0
				10%- 50% de la superficie	2
				> 50 % de la superficie	3
		4	Depresiones o baches	No se observan	0
				< 20% de la superficie	2
				20%-50% de la superficie	3
				> 50% de la superficie	4
		5	Canales	No se observan	0
				10%-50% de la superficie	3
> 50% de la superficie	4				
C	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	1
				10% -40%	2
				> 40%	3
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				10%- 40%	2
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	3

		3	Humedad	La madera se observa seca	0
				Húmedo en puntos aislados	2
				Madera muy húmeda	3
D	Metálica	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	2
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	3
		2	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	1
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	2
		3	Fractura de soldaduras	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		4	Pérdida de pernos o remaches	No existe pérdida	0
				Cualquier pérdida	4
		E	Balaste o tierra	1	Erosión
Formación de pequeños canales	2				
Formación de canales de gran tamaño que dificulten el tráfico vehicular	4				
2	Depresiones o baches			No se observan baches	0
				Agujeros 10-50 cm diámetro	3
				Agujeros > 50 cm diámetro	4
F	No existe capa de rodamiento	No existe capa de rodamiento los vehículos circulan sobre el tablero		4	

## 2. CALZADA

Se toman en cuenta todos los elementos que la conforman: número de carriles, calzada; anotándose sus dimensiones.

*Ancho de Calzada:* distancia transversal medida entre las aceras y sobre la cual circulan los vehículos. Esta se medirá antes, sobre y después del puente.

*Número de Carriles:* se refiere a la capacidad del puente de permitir líneas de flujo de vehículos al mismo tiempo. Estos se tomarán antes, sobre y después del puente. Se calificara con la condición 1 si existen dos o más carriles y se calificara con la condición 3, si únicamente posee un carril.

## 3. JUNTAS DE EXPANSION

Abertura, espacio entre un estribo y el tablero o entre dos secciones del tablero, para permitir su deformación o desplazamiento, debido a movimientos longitudinales del tablero o de los elementos que lo soportan, que pueden ser inducidos por temperatura, movimientos del suelo, etc.

En caso de que el número de juntas exceda el contemplado en el formato, se deberá adjuntar una hoja el formato correspondiente y reenumerar las juntas.

**TABLA A-2.2 EVALUACION DE JUNTAS DE EXPANSION**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Elastomérico	1	Degradación del elastómero.	No existe degradación	1
				Se observan indicios de degradación	2
				Degradación moderada	3
				Degradación severa	4
		2	Desprendimiento del elastómero	No se observa	1
				Ligeros desprendimientos	2
				Desprendimiento avanzado	3
				Desprendimiento severo	4
		3	Despegues y fallos en el sistema de anclaje de la junta.	No se observan deterioros	1
				Se observan indicios de deterioros	2
				Daños moderados	3
				Despegues y fallos severos en el sistemas de anclajes	4
		4	Defectos en el funcionamiento (desplazamientos longitudinales o transversales insuficientes o impedidos, presencia de piedras y gravillas que impiden un deslizamiento adecuado	No se observan deterioros	0
				Se indicios de daños	2
				Defectos moderados	3
				Defectos severos de funcionamiento	4

		5	Irregularidades en su alzado (una parte de la junta puede estar en un plano superior al otro labio, produciéndose impactos al paso del tráfico).	No se observan daños	1
				Inicio de deterioros	2
				Daños moderados	3
				Daños severos	4
B	Finger	1	Despegues y fallos en el sistema de anclaje de la junta.	No se observan deterioros	1
				Se observan indicios de deterioros	2
				Daños moderados	3
				Despegues y fallos severos en el sistemas de anclajes	4
		2	Defectos en el funcionamiento (desplazamientos longitudinales o transversales insuficientes o impedidos, presencia de piedras y gravillas que impiden un deslizamiento adecuado.	No se observan deterioros	0
				Existen indicios de daños	2
				Defectos moderados	3
				Defectos severos de funcionamiento	4
		3	Irregularidades en su alzado (una parte de la junta puede estar en un plano superior al otro labio, produciéndose impactos al paso del tráfico).	No se observan daños	1
				Inicio de deterioros	2
				Daños moderados	3
				Daños severos	4
		4	Material de relleno deteriorado o arrancado.	No se observan daños	1
				Inicio de deterioro	2
				Deterioro moderado	3
				Deterioro avanzado y severo	4
5	Corrosión	Ausencia de corrosión	1		
		Aparición de corrosión en puntos aislados	2		
		Corrosión significativa	3		
		Corrosión avanzada, daños severos	4		
C	Asfalto	1	Despegues y fallos en el sistema de anclaje de la junta.	No se observan deterioros	1
				Se observan indicios de deterioros	2
				Daños moderados	3
				Despegues y fallos severos en el sistemas de anclajes	4

		2	Defectos en el funcionamiento (desplazamientos longitudinales o transversales insuficientes o impedidos, presencia de piedras y gravillas que impiden un deslizamiento adecuado.	No se observan deterioros	0
				Se indicios de daños	2
				Defectos moderados	3
				Defectos severos de funcionamiento	4
		3	Irregularidades en su alzado (una parte de la junta puede estar en un plano superior al otro labio, produciéndose impactos al paso del tráfico).	No se observan daños	1
				Inicio de deterioros	2
				Daños moderados	3
				Daños severos	4
		4	Material de relleno deteriorado o arrancado.	No se observan daños	1
				Inicio de deterioro	2
				Deterioro moderado	3
				Deterioro avanzado y severo	4
D	Junta libre	1	Defectos en el funcionamiento (desplazamientos longitudinales o transversales insuficientes o impedidos, presencia de piedras y gravillas que impiden un deslizamiento adecuado.	No se observan deterioros	0
				Se indicios de daños	2
				Defectos moderados	3
				Defectos severos de funcionamiento	4
		2	Irregularidades en su alzado (una parte de la junta puede estar en un plano superior al otro labio, produciéndose impactos al paso del tráfico).	No se observan daños	1
				Inicio de deterioros	2
				Daños moderados	3
				Daños severos	4
		3	Problemas en cubierta protectora	En buena condición	0
				Cubierta dañada < 20% de su longitud	2
				Cubierta dañada 20%-050% de su longitud	3
				Cubierta con daños < 50% de su longitud	4

#### 4. APARATOS DE APOYOS

Estos son dispositivos especiales que soportan la superestructura, el cual posee propiedades especiales, tales como disminución de rotación, disminución de fuerzas de impacto en la subestructura, etc., que trasladan las cargas hacia la subestructura.

En caso de que el número de pilas exceda a las contempladas en el formato, se deberá adjuntar una hoja del formato correspondiente y reenumerar las pilas

**TABLA A-2.3 EVALUACION DE APARATOS DE APOYO**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Elastomérico	1	Pandeo lateral por compresión	No se observan daños	1
				Se observan indicios de pandeo	2
				Daños significativos	3
				Daño severo	4
		2	Deformación vertical desigual en líneas de apoyo	No se observa deformaciones	1
				Daños ligeros, se observan deformaciones pequeñas	2
				Deformaciones moderadas	3
				Deformaciones excesivas	4
		3	Fisuras superficiales	No se observan daños	1
				Aparición de fisuras	2
				Fisuras significativas	3
				Se observan fisuras avanzadas y severas	4
		4	Fisuras radiales	No se observan daños	1
				Aparición de fisuras	2
				Fisuras significativas	3
				Se observan fisuras avanzadas y severas	4
		5	Deformaciones por cortante	No se observan deformaciones	1
				Aparición de deformaciones	2
				Deformaciones moderadas	3
				Deformaciones excesivas severas	4
		6	Desplazamiento de posición original	No se observan daños	1
				Ligeros desplazamientos	2
				Desplazamientos moderados	3
				Desplazamientos excesivos del apoyo	4
		7	Depósitos de agua debido a depresiones en la superficie	No se observan depósitos	0
				Aparición de depósitos	2
				Daños significativos	3
				Daños severos	4
B	Pot	1	Rotación causada por deformaciones	No se observan	1
				Rotaciones ligeras	2
				Rotación moderada	3
				Rotaciones excesivas, daños severos	4

		2	Estallido de sellos y despegues en unión elastómero - metal	No se observan daños	1		
				Daños leves	2		
				Estallido de sellos y despegues significativos	3		
				Daños severos	4		
		3	Corrosión	Ausencia de corrosión	0		
				Aparición de corrosión en puntos aislados	2		
				Corrosión significativa	3		
				Corrosión avanzada, daños severos	4		
		4	Desplazamiento de apoyos de su posición original	No se observan desplazamientos	1		
				Desplazamientos mínimos	2		
				Daños significativos	3		
				Desplazamientos excesivos	4		
		5	Suciedad	No existe suciedad	0		
				Poca suciedad	2		
				Cantidad moderada	3		
				Obstrucciones excesivas	4		
		6	Depósitos de agua debido a depresiones en la superficie	No se observan depósitos	0		
				Aparición de depósitos	2		
				Daños significativos	3		
				Daños severos	4		
		C	Acero	1	Deslizamiento verticales o laterales	No se observan desplazamientos	1
						Pequeños desplazamientos	2
						Desplazamientos moderados	3
						Desplazamientos excesivos	4
2	Soldaduras fisuradas			Ausencia de fisuras	1		
				Aparición de fisuras	2		
				Fisuración avanzada	3		
				Soldadura fisurada en la mayor parte de su longitud	4		
3	Corrosión			Ausencia de corrosión	0		
				Aparición de corrosión en puntos aislados	2		
				Corrosión significativa	3		
				Corrosión avanzada, daños severos	4		
4	Desplazamiento de apoyos de su posición original			No se observan desplazamientos	1		
				Desplazamientos mínimos	2		
				Desplazamientos significativos	3		
				Desplazamientos excesivos	4		
5	Suciedad			No existe suciedad	0		
				Poca suciedad	2		
				Cantidad moderada	3		
				Obstrucciones excesivas	4		
6	Depósitos de agua debido a depresiones en la superficie			No se observan depósitos	0		
				Aparición de depósitos	2		
				Daños significativos	3		
				Daños severos	4		

		7	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento incipiente en la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	3
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	4
D	Rodo o patín	1.	Rotación causada por deformaciones	No se observan	1
				Rotaciones ligeras	2
				Rotación moderada	3
				Rotaciones excesivas, daños severos	4
		2	Desplazamiento de apoyos de su posición original	No se observan desplazamientos	1
				Desplazamientos mínimos	2
				Daños significativos	3
				Desplazamientos excesivos	4
		3	Suciedad	No existe suciedad	0
				Poca suciedad	2
				Cantidad moderada	3
				Obstrucciones excesivas	4
		4	Corrosión	Ausencia de corrosión	0
				Aparición de corrosión en puntos aislados	2
				Corrosión significativa	3
				Corrosión avanzada, daños severos	4
		5	Depósitos de agua debido a depresiones en la superficie	No se observan depósitos	0
				Aparición de depósitos	2
				Daños significativos	3
				Daños severos	4
E	Deslizantes	1	Placa de desplazamiento deteriorada	No se observan deterioros	1
				Se observan daños ligeros	2
				Deterioro avanzados	3
				Placa de desplazamiento con deterioros severos	4
		2	Corrosión	Ausencia de corrosión	0
				Aparición de corrosión en puntos aislados	2
				Corrosión significativa	3
				Corrosión avanzada, daños severos	4
		3	Deslizamiento defectuoso	No se observan deslizamientos	1
				Aparición de deslizamiento defectuosos	2
				Presencia de deslizamientos defectuosos	3
				Deslizamiento severos	4
		4	Separación de las placas	No se observan separaciones	1
				Se observan ligeras separaciones	2
				Separaciones significativas	3

			Separaciones excesivas	4
5	Bloque de material bituminoso parcial o totalmente desplazamiento con respecto a la placa de desplazamiento	No se observan desplazamientos	1	
		Desplazamientos mínimos	2	
		Desplazamientos significativos	3	
		Desplazamientos excesivos	4	
6	Suciedad	No existe suciedad	0	
		Poca suciedad	2	
		Cantidad moderada	3	
		Obstrucciones excesivas	4	
7	Depósitos de agua debido a depresiones en la superficie	No se observan depósitos	0	
		Aparición de depósitos	2	
		Daños significativos	3	
		Daños severos	4	

### 5. LONGITUDES DE APOYO

Es la longitud de la porción de los elementos longitudinales que están soportados por los elementos de la subestructura. Esta deberá medirse desde el extremo del elemento longitudinal hasta el borde del elemento de la subestructura que lo soporta. En los estribos solamente se tomará una medida, izquierda o derecha, dependiendo del estribo considerado. En el caso de las pilas existirán dos medidas, una correspondiente al lado izquierdo y otra al lado derecho.

En caso de que el número de pilas exceda a las contempladas en el formato, se deberá adjuntar una hoja del formato correspondiente y reenumerar las pilas.

### 6. DISTANCIA VERTICAL LIBRE

Se considerarán dos aspectos:

- Bajo el puente es la distancia medida en metros desde la parte inferior de la superestructura hasta el tirante actual del río.
- Sobre el puente o gálibo vertical, es la distancia medida en metros desde la calzada y cualquier tipo de obstáculo superior colocado en el puente, que pueda limitar el paso de vehículos. Se calificara con la condición 1, si la distancia vertical es mayor o igual a 5.3 mts; con la condición 2, si la distancia vertical es mayor que 3.80 mts y menor a 5.30 mts; y con la condición 3 si la distancia vertical es menor o igual a 3.80 mts.

Se tomara para cada claro y en caso de que el número de claros exceda a las contempladas en el formato, se deberá adjuntar una hoja del formato correspondiente y reenumerar los claros.

## 7. SUPERESTRUCTURA

La constituyen los elementos que soportan el tablero sobre el cual circulan los vehículos, incluyendo este. Se encuentran dispuestos a lo largo de todo el puente. Los elementos longitudinales se encuentran sujetos transversalmente por el diafragma, y sobre ellos el tablero.

En caso de que el número de claros exceda a los contempladas en el formato, se deberá adjuntar una hoja del formato correspondiente y reenumerar los claros.

En el caso que la superestructura en un claro particular, posea un elemento de diferentes materiales, se deberá adjuntar una hoja del formato correspondiente y reenumerar los claros, por ejemplo elementos longitudinales de acero y elementos longitudinales de concreto o madera en el mismo claro.

### 7.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

TABLA A-2.4 TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

TIPO	DESCRIPCIÓN
1	Estructura de marco
2	Puentes de arco
3	Puentes soportados por elementos de armaduras
4	Puentes colgantes
5	Puentes Bailey
6	Puentes integrales
7	Viga continua
8	Viga en cada claro
9	Bóveda
10	Caja

### 7.2 CONDICIONES DE APOYO

TABLA A-2.5 TIPO DE CONDICION DE APOYO

TIPO	DESCRIPCION
1	Apoyos simples
2	Empotrados
3	Apoyo articulados

### 7.3 LONGITUDINAL

**TABLA A-2.6 EVALUACION DE ELEMENTOS LONGITUDINALES DE SUPERESTRUCTURA**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Acero Estructural	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4
		2	Pandeo local	No existe pandeo apreciable	0
				Pandeo incipiente o poco apreciable	3
				Pandeo total del elemento	4
		3	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras ≥ 0.1 mm	4
		4	Delaminación del acero	No existe delaminación apreciable	0
				Cualquier grado de delaminación	4
		5	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		6	Pérdida de pernos o remaches	No existe pérdida	0
				Cualquier pérdida	4
		7	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3

				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		8	Pandeo global	No existe pandeo apreciable	0
				El pandeo en la pila es notorio pero no severo	3
				El pandeo en la pila es excesivo y puede colapsar	4
B	Concreto armado	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
		4	Acero expuesto	> 60%	4
				No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
		5	Pérdida de material	El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	4
				No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
		6	Eflorescencia	Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
				No se observa	0
10%- 50% de la superficie	2				
7	Deflexiones	> 50 % de la superficie	3		
		No se observan deflexiones	0		
		Deflexiones pequeñas de poca importancia funcional	3		
				Deflexiones excesivas de mucha importancia funcional	4

C	Concreto pretensado	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60%	4
		4	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	4
		5	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
		6	Eflorescencia	No se observa	0
10%- 50% de la superficie	2				
> 50 % de la superficie	3				
7	Deflexiones	No se observan deflexiones	0		
		Deflexiones pequeñas de poca importancia funcional	3		
		Deflexiones excesivas de mucha importancia funcional	4		
D	Concreto postensado	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3

				> 60%	4
		4	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	4
		5	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
		6	Eflorescencia	No se observa	0
				10%- 50% de la superficie	2
				> 50 % de la superficie	3
		7	Deflexiones	No se observan deflexiones	0
				Deflexiones pequeñas de poca importancia funcional	3
				Deflexiones excesivas de mucha importancia funcional	4
E	Cables de acero	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4
		2	Ruptura de hilos	No se aprecian hilos rotos	0
				<10% de los hilos esta roto	2
				10%-30% de los hilos esta roto	3
				>30% de los hilos esta roto	4
		3	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2

				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
F	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
				< 10% de superficie	2
				10% -40%	3
				> 40%	4
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				< 10% de la superficie	2
				10%- 40%	3
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4
		3	Corrosión o pedida de clavos y/o pernos	No existe corrosión o perdida	0
				<10% de perdida o corrosión	2
				10%-30% de perdida o corrosión	3
				>30% de perdida o corrosión	4
G	Mampostería	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	<i>No se observan fisuras</i>	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Desprendimiento de mampostería	No se detectan pérdidas de elementos	0
				< 10% de perdida de elemento	2
				Entre el 10% y el 30% de perdidas de elementos	3
				> 30% del perdidas de elementos	4
		4	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
		5	Degradación del mortero	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60%	4
		6	Perdida de mortero	No se detectan pérdidas de mortero	0
				< 10% de perdida de mortero	2
				Entre el 10% y el 30% de perdida de mortero	3
				> 30% del perdida de mortero	4

**7.4 DIAFRAGMA**

**TABLA A-2.7 EVALUACION DE ELEMENTOS DE DIAFRAGMA DE SUPERESTRUCTURA**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Acero estructural	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4
		2	Pandeo local	No existe pandeo apreciable	0
				Pandeo incipiente o poco apreciable	3
				Pandeo total	4
		3	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras ≥ 0.1 mm	4
		4	Delaminación del acero	No existe delaminación apreciable	0
				Cualquier grado de delaminación	4
		5	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		6	Perdida de pernos o remaches	No existe perdida	0
				Cualquier perdida	4
		7	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		8	Pandeo global	No existe pandeo apreciable	0
				El pandeo en la pila es notorio pero no severo	3
				El pandeo en la pila es excesivo y puede colapsar	4

B	Concreto armado	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60%	4
		4	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	4
		5	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
		6	Eflorescencia	No se observa	0
10%- 50% de la superficie	2				
> 50 % de la superficie	3				
7	Deflexiones	No se observan deflexiones	0		
		Deflexiones pequeñas	3		
		Deflexiones excesivas de mucha importancia	4		
C	Concreto pretensado	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60%	4

		4	Acero expuesto	No existe corrosión	0		
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2		
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3		
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	4		
		5	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0		
				Existen pequeños desprendimientos	2		
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3		
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4		
		6	Eflorescencia	No se observa	0		
				10%- 50% de la superficie	2		
				> 50 % de la superficie	3		
		7	Deflexiones	No se observan deflexiones	0		
				Deflexiones pequeñas de poca importancia funcional	3		
				Deflexiones excesivas de mucha importancia funcional	4		
		D	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
						< 10% de superficie	2
10% -40%	3						
> 40%	4						
2	Astillamiento			No se observa astillamiento	0		
				< 10% de la superficie	2		
				10%- 40%	3		
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4		
3	Corrosión o pedida de clavos y/o pernos			No existe corrosión o perdida	0		
				<10% de perdida o corrosión	2		
				10%-30% de perdida o corrosión	3		
				>30% de perdida o corrosión	4		

## 7.5 TABLERO

### TABLA A-2.8 EVALUACION DE TABLERO

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Acero	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4
		2	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras ≥ 0.1 mm	4
		3	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		4	Perdida de pemos o remaches	No existe perdida	0
				Cualquier perdida	4
		5	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		6	Deflexiones	No se observan deflexiones	0
				Deflexiones pequeñas	3
				Deflexiones excesivas de mucha importancia	4
		B	Concreto armado	1	Fisuras por flexión
Fisuras < 0.1 mm	2				
Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3				
Fisuras > 0.4 mm	4				
2	Fisuras por cortante			No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3

				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60% de la superficie	4
		4	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	4
		5	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
		6	Eflorescencia	No se observa	0
				10%- 50% de la superficie	2
				> 50 % de la superficie	3
		7	Deflexiones	No se observan deflexiones	0
				Deflexiones pequeñas	3
				Deflexiones excesivas de mucha importancia	4
C	Concreto pretensado	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60%	4

		4	Acero expuesto	No existe corrosión	0		
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2		
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3		
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	4		
		5	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0		
				Existen pequeños desprendimientos	2		
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3		
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4		
		6	Eflorescencia	No se observa	0		
				10%- 50% de la superficie	2		
				> 50 % de la superficie	3		
		7	Deflexiones	No se observan deflexiones	0		
				Deflexiones pequeñas	3		
				Deflexiones excesivas de mucha importancia	4		
		D	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
						< 10% de superficie	2
10% -40%	3						
> 40%	4						
2	Astillamiento			No se observa astillamiento	0		
				< 10% de la superficie	2		
				10%- 40%	3		
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4		
3	Corrosión o pedida de clavos y/o pemos			No existe corrosión o perdida	0		
				<10% de perdida o corrosión	2		
				10%-30% de perdida o corrosión	3		
				>30% de perdida o corrosión	4		
E	Losas aligerada	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0		
				Fisuras < 0.1 mm	2		
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3		
				Fisuras > 0.4 mm	4		

		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
		4	Pérdida de material	> 60% de la superficie	4
				No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
		5	Eflorescencia	Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
				No se observa	0
				10%- 50% de la superficie	2
		6	Ruptura de sellos o uniones entre miembros	> 50 % de la superficie	3
				No se observa ruptura de sellos o uniones	0
< 10% de la longitud del sello	2				
10%-30% del sello	3				
				> del 30% del sello	4

## 8. SUBESTRUCTURA.

Son los soportes del puente, pueden ser de varios tipos y estar ubicados tanto en los extremos de los puentes, los cuales llamaremos estribos, como en los tramos intermedios y a los cuales llamaremos pilas.

Las partes componentes de la subestructura son capitel, fuste y pedestal. El pedestal es la parte inferior de la pila o estribo que se apoya en las fundaciones. Fuste es el cuerpo principal de la pila. El capitel es la parte superior de la pila o estribo en la cual se apoyan los elementos de la superestructura.

El muro frontal es el cuerpo principal del estribo. Muro lateral es la prolongación del muro frontal en los costados del estribo, que es utilizado para confinar el terraplén.

En caso de que el número de pilas exceda a las contempladas en el formato, se deberá adjuntar una hoja del formato correspondiente y reenumerar las pilas.

## 8.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

TABLA A-2.9 TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

TIPO	DESCRIPCIÓN
1	Columna simple
2	Marco
3	Armadura
4	Dos o más columnas
5	Columna simple con viga superior
6	Dos o más columnas con viga de cabezal continua
7	Tipo pared
8	Dos o más columnas con viga de cabezal separada
9	Dos o más columnas arriostradas
10	Marco mixto

## 8.2 ESTRIBOS

### 8.2.1 CAPITEL

TABLA A-2.10 EVALUACION DE CAPITEL DE LOS ESTRIBOS

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Concreto	1	Fisuras de apoyo	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		4	Aplastamiento del concreto	No es apreciable	0
				Presencia de fisuras verticales	3
				Ensanchamiento en la sección transversal	4
		5	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4

		6	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	4
		7	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60%	4
		8	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
		B	Acero	1	Corrosión
Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2				
El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3				
El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4				
2	Fisuras por flexión			No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras $\geq$ 0.1 mm	4
3	Fisuras por cortante			No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras $\geq$ 0.1 mm	4
4	Degradación de la pintura			Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
5	Pérdida de pernos o remaches			No existe pérdida	0
				Cualquier pérdida	4
6	Fractura o soldaduras deficientes			Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2

				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
C	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
				< 10% de superficie	2
				10% -40%	3
				> 40%	4
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				< 10% de la superficie	2
				10%- 40%	3
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4
		3	Corrosión o pedida de clavos y/o pernos	No existe corrosión o perdida	0
				<10% de perdida o corrosión	2
				10%-30% de perdida o corrosión	3
				>30% de perdida o corrosión	4
		4	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	4
		D	Mampostería	1	Fisuras por flexión
Fisuras < 0.1 mm	2				
Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3				
Fisuras > 0.4 mm	4				
2	Fisuras por cortante			No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
3	Desprendimiento de mampostería			No se detectan pérdidas de elementos	0
				< 10% de perdida de elemento	2
				Entre el 10% y el 30% de perdidas de elementos	3
				> 30% del perdidas de elementos	4
4	Filtración o humedad			No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
5	Degradación del mortero			No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60% de la superficie	4
6	Perdida de mortero			No se detectan pérdidas de mortero	0
				< 10% de perdida de mortero	2
				Entre el 10% y el 30% de perdida de mortero	3
				> 30% del perdida de mortero	4

## 8.2.2 MURO FRONTAL Y MURO LATERAL

### TABLA A-2.11 EVALUACION DE MURO FRONTAL Y MURO LATERAL DE ESTRIBOS

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCIÓN	CONDICION
A	Concreto	1	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Aplastamiento del concreto	No es apreciable	0
				Presencia de fisuras verticales	3
				Ensanchamiento en la sección transversal	4
		4	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
		5	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	4
		6	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
Entre 20-60% de la superficie	3				
> 60% la superficie	4				
7	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0		
		Las filtraciones o la humedad es pequeña	2		
		La filtración o humedad es severa	3		
B	Acero	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2

			El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3	
			El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4	
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras ≥ 0.1 mm	4
		3	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras ≥ 0.1 mm	4
		4	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		5	Perdida de pernos o remaches	No existe pérdida	0
				Cualquier pérdida	4
		6	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		7	Pandeo local	No existe pandeo apreciable	0
				Pandeo incipiente o poco apreciable	3
				Pandeo total del elemento	4
		8	Pandeo global	No existe pandeo apreciable	0
				El pandeo en la pila es notorio pero no severo	3
				El pandeo en la pila es excesivo y puede colapsar	4
		9	Delaminación	No existe delaminación	0
				Cualquier grado de delaminación	4
C	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
				< 10% de superficie	2
				10% -40%	3
				> 40%	4
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				< 10% de la superficie	2
				10%- 40%	3

				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4
		3	Corrosión o pérdida de clavos y/o pernos	No existe corrosión o pérdida	0
				<10% de pérdida o corrosión	2
				10%-30% de pérdida o corrosión	3
				>30% de pérdida o corrosión	4
		4	Pandeo global	No existe pandeo apreciable	1
				El pandeo en la pila es notorio pero no severo	3
				El pandeo en la pila es excesivo y puede colapsar	4
D	Mampostería	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	1
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Desprendimiento de mampostería	No se detectan pérdidas de elementos	0
				< 10% de pérdida de elemento	2
				Entre el 10% y el 30% de pérdidas de elementos	3
				> 30% de pérdidas de elementos	4
		4	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
		5	Degradación del mortero	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60% de la superficie	4
		6	Pérdida de mortero	No se detectan pérdidas de mortero	0
				< 10% de pérdida de mortero	2
				Entre el 10% y el 30% de pérdida de mortero	3
				> 30% de pérdida de mortero	4

### 8.2.3 PEDESTAL

**TABLA A-2.12 EVALUACION DE PEDESTAL DE MAMPOSTERIA**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Concreto	1	Fisuras por aplastamiento en la base	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2

				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		4	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
		5	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	4
		6	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60% de la superficie	4
		7	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
B	Acero	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras $\geq$ 0.1 mm	4
		3	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3

				Fisuras $\geq 0.1$ mm	4
		4	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		5	Pérdida de pemos o remaches	No existe pérdida	0
				Cualquier pérdida	4
		6	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		7	Pandeo local	No existe pandeo apreciable	0
				Pandeo incipiente o poco apreciable	3
				Pandeo total del elemento	4
		8	Delaminación	No existe delaminación	0
				Cualquier grado de delaminación	4
C	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
				< 10% de superficie	2
				10% -40% de superficie	3
				> 40% de superficie	4
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				< 10% de la superficie	2
				10%- 40% de superficie	3
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4
		3	Corrosión o pedida de clavos y/o pemos	No existe corrosión o perdida	0
				<10% de perdida o corrosión	2
				10%-30% de perdida o corrosión	3
				>30% de perdida o corrosión	4
		4	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	4
		D	Mampostería	1	Fisuras por flexión
Fisuras < 0.1 mm	2				
Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3				
Fisuras > 0.4 mm	4				
2	Fisuras por cortante			No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3

			Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Desprendimiento de mampostería	0
			< 10% de pérdida de elemento	2
			Entre el 10% y el 30% de pérdidas de elementos	3
			> 30% del pérdidas de elementos	4
		4	Filtración o humedad	0
			No se observan filtraciones	0
			Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
			La filtración o humedad es severa	3
		5	Degradación del mortero	0
			No hay indicios de degradación	0
			< 20% de la superficie	2
			Entre 20-60% de la superficie	3
			> 60% de superficie	4
		6	Pérdida de mortero	0
			No se detectan pérdidas de mortero	0
			< 10% de pérdida de mortero	2
			Entre el 10% y el 30% de pérdida de mortero	3
			> 30% del pérdida de mortero	4

### 8.3 PILAS

#### 8.3.1 CAPITEL

**TABLA A-2.13 EVALUACION DE CAPITEL DE PILAS**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Concreto	1	Fisuras de apoyo	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		4	Aplastamiento del concreto	No es apreciable	0
				Presencia de fisuras verticales	3
				Ensanchamiento en la sección transversal	4
		5	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3

				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
		6	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	4
		7	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60% de la superficie	4
		8	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
B	Acero	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras $\geq$ 0.1 mm	4
		3	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras $\geq$ 0.1 mm	4
		4	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		5	Pérdida de pernos o remaches	No existe pérdida	0
				Cualquier pérdida	4
		6	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0

				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		7	Delaminación	No existe delaminación	0
				Cualquier grado de delaminación	4
C	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
				< 10% de superficie	2
				10% -40% de la superficie	3
				> 40% de la superficie	4
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				< 10% de la superficie	2
				10%- 40% de la superficie	3
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4
		3	Corrosión o pedida de clavos y/o pernos	No existe corrosión o perdida	0
				<10% de perdida o corrosión	2
				10%-30% de perdida o corrosión	3
				>30% de perdida o corrosión	4
		4	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	4
		D	Mampostería	1	Fisuras por flexión
Fisuras < 0.1 mm	2				
Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3				
Fisuras > 0.4 mm	4				
2	Fisuras por cortante			No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
3	Desprendimiento de mampostería			No se detectan pérdidas de elementos	0
				< 10% de perdida de elemento	2
				Entre el 10% y el 30% de perdidas de elementos	3
				> 30% del perdidas de elementos	4
4	Filtración o humedad			No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
5	Degradación del mortero			No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60% de la superficie	4

		6	Pérdida de mortero	No se detectan pérdidas de mortero	0
				< 10% de pérdida de mortero	2
				Entre el 10% y el 30% de pérdida de mortero	3
				> 30% del pérdida de mortero	4

### 8.3.2 FUSTE

**TABLA A-2.14 EVALUACION DE FUSTE DE PILAS**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Concreto	1	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Aplastamiento del concreto	No es apreciable	0
				Presencia de fisuras verticales	3
				Ensanchamiento en la sección transversal	4
		4	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4
		5	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	4
		6	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
Entre 20-60% de la superficie	3				
> 60% de la superficie	4				
7	Pandeo global	No existe pandeo apreciable	0		
		El pandeo en la pila es notorio pero no severo	3		

				El pandeo en la pila es excesivo y puede colapsar	4
		8	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
B	Acero	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras ≥ 0.1 mm	4
		3	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	1
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras ≥ 0.1 mm	4
		4	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		5	Perdida de pernos o remaches	No existe pérdida	0
				Cualquier pérdida	4
		6	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		7	Pandeo local	No existe pandeo apreciable	0
				Pandeo incipiente o poco apreciable	3
				Pandeo total del elemento	4
		8	Pandeo global	No existe pandeo apreciable	0
				El pandeo en la pila es notorio pero no severo	3
				El pandeo en la pila es excesivo y puede colapsar	4

		9	Delaminación	No existe delaminación	0
				Cualquier grado de delaminación	4
C	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
				< 10% de la superficie	2
				10% -40% de la superficie	3
				> 40% de la superficie	4
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				< 10% de la superficie	2
				10%- 40% de la superficie	3
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4
		3	Corrosión o pedida de clavos y/o pemos	No existe corrosión o perdida	0
				<10% de perdida o corrosión	2
				10%-30% de perdida o corrosión	3
				>30% de perdida o corrosión	4
		4	Pandeo global	No existe pandeo apreciable	0
				El pandeo en la pila es notorio pero no severo	3
				El pandeo en la pila es excesivo y puede colapsar	4
		5	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
Las filtraciones o la humedad es pequeña	2				
La filtración o humedad es severa	4				
D	Mampostería	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Desprendimiento de mampostería	No se detectan pérdidas de elementos	0
				< 10% de perdida de elemento	2
				Entre el 10% y el 30% de perdidas de elementos	3
				> 30% de perdidas de elementos	4
		4	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
		5	Degradación del mortero	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60% de la superficie	4

		6	Pérdida de mortero	No se detectan pérdidas de mortero	0
				< 10% de pérdida de mortero	2
				Entre el 10% y el 30% de pérdida de mortero	3
				> 30% del pérdida de mortero	4

### 8.3.3 PEDESTAL

**TABLA A-2.15 EVALUACION DE PEDESTAL DE PILAS**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION	
A	Concreto	1	Fisuras por aplastamiento en la base	No se observan fisuras	0	
				Fisuras < 0.1 mm	2	
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3	
				Fisuras > 0.4 mm	4	
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0	
				Fisuras < 0.1 mm	2	
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3	
				Fisuras > 0.4 mm	4	
		3	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0	
				Fisuras < 0.1 mm	2	
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3	
				Fisuras > 0.4 mm	4	
		4	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0	
				Existen pequeños desprendimientos	2	
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3	
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4	
		5	Acero expuesto	No existe corrosión	0	
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2	
				El acero de refuerzo esta corroido entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3	
				El acero esta corroido en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	4	
		6	Degradación del concreto	No hay indicios de degradación	0	
				< 20% de la superficie	2	
				Entre 20-60% de la superficie	3	
		7	Filtración o humedad	> 60% de la superficie	4	
				No se observan filtraciones	0	
					Las filtraciones o la humedad es pequeña	2

B	Acero	1	Corrosión	La filtración o humedad es severa	3
				No existe corrosión	0
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	4
		2	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras $\geq$ 0.1 mm	4
		3	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	3
				Fisuras $\geq$ 0.1 mm	4
		4	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		5	Pérdida de pernos o remaches	No existe pérdida	0
				Cualquier pérdida	4
		6	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		7	Pandeo local	No existe pandeo apreciable	0
				Pandeo incipiente o poco apreciable	3
				Pandeo total del elemento	4
		8	Delaminación	No existe delaminación	0
Cualquier grado de delaminación	4				
C	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
				< 10% de superficie	2
				10% -40% de superficie	3
				> 40% de superficie	4
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				< 10% de la superficie	2
				10%- 40%	3

				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4
		3	Corrosión o pérdida de clavos y/o pernos	No existe corrosión o pérdida	0
				<10% de pérdida o corrosión	2
				10%-30% de pérdida o corrosión	3
				>30% de pérdida o corrosión	4
		4	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	4
D	Mampostería	1	Fisuras por flexión	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Fisuras por cortante	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		3	Desprendimiento de mampostería	No se detectan pérdidas de elementos	0
				< 10% de pérdida de elemento	2
				Entre el 10% y el 30% de pérdidas de elementos	3
				> 30% de pérdidas de elementos	4
		4	Filtración o humedad	No se observan filtraciones	0
				Las filtraciones o la humedad es pequeña	2
				La filtración o humedad es severa	3
		5	Degradación del mortero	No hay indicios de degradación	0
				< 20% de la superficie	2
				Entre 20-60% de la superficie	3
				> 60%	4
		6	Pérdida de mortero	No se detectan pérdidas de mortero	0
				< 10% de pérdida de mortero	2
				Entre el 10% y el 30% de pérdida de mortero	3
				> 30% de pérdida de mortero	4

## 9. FUNDACIONES

En caso de que el número de pilas exceda a las contempladas en el formato, se deberá adjuntar una hoja del formato correspondiente y reenumerar las pilas

**TABLA A-2.16 EVALUACIÓN DE FUNDACIONES**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Zapatas aisladas	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Asentamiento diferencial	No existe asentamiento diferencial apreciable	0
				Existe asentamiento diferencial incipiente	3
				Se observa asentamiento diferencial severo	4
		3	Hundimiento	No existe hundimiento apreciable	0
				Existe hundimiento incipiente	3
				Se observa hundimiento severo	4
		4	Movimientos laterales	No existe movimiento lateral apreciable	0
				Se observa mínimos movimientos laterales	3
				Se observan movimientos laterales severos	4
		5	Socavación	No existe socavación apreciable	0
				< 10% de la longitud la estructura	2
				Entre el 10% y el 40% de la longitud de la estructura	3
				> 40% de la longitud de la estructura	4
B	Zapatas corridas	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras < 0.1 mm	2
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3
				Fisuras > 0.4 mm	4
		2	Asentamiento diferencial	No existe asentamiento diferencial apreciable	0
				Existe asentamiento diferencial incipiente	3
				Se observa asentamiento diferencial severo	4
		3	Hundimiento	No existe hundimiento apreciable	0
				Existe hundimiento incipiente	3
				Se observa hundimiento severo	4
		4	Movimientos laterales	No existe movimiento lateral apreciable	0
				Se observa mínimos movimientos laterales	3
				Se observan movimientos laterales severos	4
		5	Socavación	No existe socavación apreciable	0
				< 10% de la longitud la estructura	2

				Entre el 10% y el 40% de la longitud de la estructura	3
				> 40% de la longitud de la estructura	4
C	Pilotes	1	Asentamiento diferencial	No existe asentamiento diferencial apreciable	0
				Existe asentamiento diferencial incipiente	3
				Se observa asentamiento diferencial severo	4
		2	Hundimiento	No existe hundimiento apreciable	0
				Existe hundimiento incipiente	3
				Se observa hundimiento severo	4
		3	Erosión	No se observa indicios de erosión	0
				Perdida de material	2
				Formación de pequeños canales	3
				Formación de canales de gran tamaño que pueden provocar deslizamiento	4

## 10. ACCESOS

Estos se encuentran inmediatamente antes y después del puente. Consiste en rampa y recubrimiento.

*Rampa:* es la estructura de transición entre la vía y el puente.

*Recubrimiento:* capa de material, sobre la rampa.

### 10.1 RAMPA.

TABLA A-2.17 EVALUACION DE RAMPA EN ACCESOS

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Tierra	1	Erosión	No se observa indicios de erosión	0
				Perdida de material	2
				Formación de pequeños canales	3
				Formación de canales de gran tamaño que dificulten el tráfico vehicular	4
B	Concreto	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	3
		2	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	2

				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	3		
		3	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0		
				Existen pequeños desprendimientos	2		
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3		
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4		
C	Metálica	1	Corrosión	No existe corrosión	0		
				Corrosión de la superficie del acero pero no existe desprendimiento de material	2		
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	3		
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor.	4		
		2	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0		
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3		
		3	Pérdida de pernos o remaches	No existe perdida	0		
				Cualquier perdida	4		
		4	Fractura o soldaduras deficientes	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0		
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2		
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3		
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4		
		D	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
						< 10% de superficie	2
						10% -40% de superficie	3
						> 40% de superficie	4
2	Astillamiento			No se observa astillamiento	0		
				< 10% de la superficie	2		
				10%- 40%	3		
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	4		
3	Corrosión o pedida de clavos y/o pernos			No existe corrosión o perdida	0		
				<10% de perdida o corrosión	2		
				10%-30% de perdida o corrosión	3		
				>30% de perdida o corrosión	4		

## 10.2 RECUBRIMIENTO

**TABLA A-2.18 EVALUACION DE RECUBRIMIENTO EN ACCESOS**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Asfalto	1	Corrugas	No se observan	0
				10%- 50% de la superficie	2
				> 50% de la superficie	3
		2	Canales	No se observan	0
				10%- 50% de la superficie	3
				> 50% de la superficie	4
		3	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	3
		4	Depresiones o baches	No se observan	0
				< 20% de la superficie	2
				20%-50% de la superficie	3
> 50% de la superficie	4				
B	Concreto	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	3
		2	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	2
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	3
		3	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	2
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	3
		4	Depresiones o baches	No se observan	0
				< 20% de la superficie	2
				20%-50% de la superficie	3
				> 50% de la superficie	4
C	Metálica	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	2

				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	3
		2	Deterioro de pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		3	Fractura de soldaduras	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura menor del 10% de la longitud del cordón o presencia de escoria	2
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	3
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	4
		4	Perdida de pernos o remaches	No existe perdida	0
				Cualquier perdida	4
D	Madera	1	Degradación de la madera	Madera en Buenas condiciones.	0
				10% -40% de superficie	2
				> 40% de superficie	3
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				10%- 40% de astillamiento	2
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	3
		3	Corrosión o pedida de clavos y/o pernos	No existe corrosión o perdida	0
				10%-30% de perdida o corrosión	2
				>30% de perdida o corrosión	3
		4	Humedad	La madera se observa seca	0
				Húmedo en puntos aislados	2
				Madera muy húmeda	3
E	Balaste o tierra	1	Erosión	No se observa indicios de erosión	0
				Perdida de material	2
				Formación de pequeños canales	3
				Formación de canales de gran tamaño que dificulten el trafico vehicular	4
		2	Baches o depresiones	No se observan baches	0
				Agujeros < 10 cm de diámetro	2
				Agujeros 10-50 cm diámetro	3
				Agujeros > 50 cm diámetro	4

### 10.3 TERRAPLEN

**TABLA A-2.19 EVALUACION DE TERRAPLEN EN ACCESOS**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Terraplén	1	Erosión	No se observa indicios de erosión	0
				Formación de pequeños canales	2
				Formación de canales de gran tamaño que dificulten el tráfico vehicular	3
		2	Deslizamiento	No existe desprendimiento	0
				< 10% del área superficial del talud	2
				Entre el 10% y el 30% del área superficial	3
> 30% del área superficial	4				

### 11. ACERAS Y BARANDAS.

Las aceras están colocadas a los costados de la calzada y sirven para el tránsito peatonal. Se considerarán acera izquierda y derecha.

Barandas: van a los costados del puente, canalizan el tráfico y eventualmente evitan la caída de vehículos o personas. Se considerará la existencia de barandas interna y externa en el puente. Considerando como baranda interna aquella que divide la acera de la calzada y baranda externa la que evita que los peatones caigan del puente.

#### 11.1 ACERAS

**TABLA A-2.20 EVALUACION DE ACERAS**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Concreto	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Entre el 20% y 60% de la superficie	2
				> 60% de la superficie	3
		2	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	2
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	3
		3	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	2

				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	3		
B	Mampostería	1	Fisuras	No se observan fisuras	0		
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2		
				Fisuras > 0.4 mm	3		
		2	Desprendimiento de mampostería	No se detectan pérdidas de elementos	0		
				< 10% de pérdida de elemento	2		
				Entre el 10% y el 30% de pérdidas de elementos	3		
> 30% de pérdidas de elementos	4						
C	Metálica	1	Corrosión	No existe corrosión	0		
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	2		
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	3		
		2	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0		
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2		
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3		
		3	Fractura de soldaduras	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0		
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	2		
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	3		
		4	Pérdida de pernos o remaches	No existe pérdida	0		
				Cualquier pérdida	4		
		D	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
						10% -40%	2
						> 40%	3
				2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
10%- 40%	2						
> 40% hasta ruptura de todo el elemento	3						
3	Corrosión o pedida de clavos y/o pernos			No existe corrosión o perdida	0		
				10%-30% de perdida o corrosión	2		
				>30% de perdida o corrosión	3		
4	Humedad			La madera se observa seca	0		
				Húmedo en la superficie	2		
				Madera saturada	3		

## 11.2 BARANDAS

### TABLA A-2.21 EVALUACION DE BARANDAS

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Concreto	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Entre el 20% y 60% de la superficie	2
				> 60% de la superficie	3
		2	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	2
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	3
		3	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	2
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	3
B	Mampostería	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	3
		2	Desprendimiento de mampostería	No se detectan pérdidas de elementos	0
				< 10% de pérdida de elemento	2
				Entre el 10% y el 30% de perdidas de elementos	3
				> 30% del perdidas de elementos	4
C.	Metálica	1	Corrosión	No existe corrosión	0
				El acero se encuentra corroído con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	2
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	3
		2	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3
		3	Fractura de soldaduras	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	2

				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	3
		4	Perdida de pemos o remaches	No existe perdida	0
				Cualquier perdida	4
D	Madera	1	Degradación de la madera	La madera esta en optimas condiciones.	0
				10% -40%	2
				> 40%	3
		2	Astillamiento	No se observa astillamiento	0
				10%- 40%	2
				> 40% hasta ruptura de todo el elemento	3
		3	Corrosión opedida de clavos y/o pemos	No existe corrosión o perdida	0
				10%-30% de perdida o corrosión	2
				>30% de perdida o corrosión	3
		4	Humedad	La madera se observa seca	0
				Húmedo en la superficie	2
				Madera saturada	3
E	Mixtas (acero y concreto)	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Entre el 20% y 60% de la superficie	2
				> 60% de la superficie	3
		2	Acero expuesto	No existe corrosión	0
				El acero de refuerzo esta corroido entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	2
				El acero esta corroido en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente perdida	3
		3	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	2
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	3
		4	Corrosión	No existe corrosión	0
				El acero se encuentra corroido con formación de una capa ferrosa de 2 mm de espesor, con consecuente desprendimiento	2
				El acero tiene corrosión severa con una capa de ferrosa de más de 2 mm de espesor	3
		5	Degradación de la pintura	Pintura en buen estado	0
				Agrietamiento y desprendimiento moderado de la pintura	2
				Agrietamiento y desprendimiento pronunciado o total de la pintura	3

		6	Fractura de soldaduras	Soldaduras en buen estado y bien realizadas	0
				Fractura entre el 10% y el 30% de la longitud del cordón	2
				Fracturas mayores del 30% de la longitud del cordón	3
		7	Perdida de pernos o remaches	No existe perdida	0
				Cualquier perdida	3

## 12. HIDRAULICO

Se considerarán drenajes y protecciones para los estribos y únicamente protecciones en las pilas.

Los drenajes los constituyen los elementos utilizados para evacuar la escorrentilla en los accesos al puente. Las protecciones son elementos que resguardan la subestructura de problemas causados por avenidas excepcionales, arrastre de materiales, etc.

En caso de que el número de pilas exceda a las contempladas en el formato, se deberá adjuntar una hoja del formato correspondiente y reenumerar las pilas

### 12.1 DRENAJES

**TABLA A-2.22 EVALUACION DE DRENAJES**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Cuneta de mampostería	1	Obstrucción	No hay obstrucciones	0
				25%-50% de la sección trans.	1
				> 50% de la sección transversal	2
		2	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	2
		3	Desprendimiento de mampostería	No se detectan pérdidas de elementos	0
				< 10% de pérdida de elemento	2
				Entre el 10% y el 30% de pérdidas de elementos	3
> 30% del pérdidas de elementos	4				
B	Cuneta de concreto	1	Obstrucción	No hay obstrucciones	0
				25%-50% de la sección trans.	1
				> 50% de la sección transversal	2
		2	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	3
		3	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				10% y 50% de la superficie	2
				>50 % de la superficie	3
C	Tubería	1	Obstrucción	No hay obstrucciones	0
				25%-50% de la sección trans.	1
				> 50% de la sección transversal	2
		2	Fisuras	No se observan fisuras	0

				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	3
D	Cuneta de concreto con asiento de asfalto	1	Obstrucción	No hay obstrucciones	0
				25%-50% de la sección trans.	1
				> 50% de la sección transversal	2
		2	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	3
		3	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				10% y 50% de la superficie	2
				>50 % de la superficie	3

## 12.2 PROTECCIONES

**TABLA A-2.23 EVALUACION DE PROTECCIONES**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION		
A	Enrocado	1	Pérdida de rocas	No hay pérdida	0		
				15% - 40% de la estructura	2		
				> 40% de la estructura	3		
		2	Socavación	No existe socavación apreciable	0		
				< 10% de la longitud la estructura	2		
				Entre el 10% y el 40% de la longitud de la estructura	3		
> 40% de la longitud de la estructura	4						
B	Losas de concreto	1	Fisuras	No se observan fisuras	0		
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2		
				Fisuras > 0.4 mm	3		
		2	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0		
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	2		
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	3		
		3	Acero expuesto	No existe corrosión	0		
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	2		
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	3		
				4	Socavación	No existe socavación apreciable	0
						< 10% de la longitud la estructura	2
						Entre el 10% y el 40% de la longitud de la estructura	3
						> 40% de la longitud de la estructura	4
		C	Colchones Reno o Gaviones	1	Ruptura de mallas	No existen mallas rotas	0
						< 10% de la ruptura de las mallas	2

				Entre el 10% y el 40% de ruptura de las mallas	3
				> 40% de la ruptura de las mallas	4
		2	Deformación de la estructura	No existe deformación apreciable	0
				Entre el 20% y el 50% de la estructura	2
				> 50% de la estructura está deformada	3
		3	Pérdida de material de relleno	No hay pérdida	0
				< 10% del relleno	2
				10% - 30% de relleno	3
				> 30% del relleno	4
		4	Corrosión de mallas	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal	3
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal	4
		5	Socavación	No existe socavación apreciable	0
				< 10% de la longitud la estructura	2
				Entre el 10% y el 40% de la longitud de la estructura	3
				> 40% de la longitud de la estructura	4
D	Mampostería	1	Fisuras	No se observan fisuras	0
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	2
				Fisuras > 0.4 mm	3
		2	Desprendimiento de mampostería	No se detectan pérdidas de elementos	0
				Entre el 10% y el 30% de pérdida	2
				> 30% del perdidas de elementos	3

### 13. COMPLEMENTARIOS

Se refiere a accesorios, de menor importancia estructural, pero importantes para el usuario del puente.

Entre estos tenemos:

- Iluminación: se refiere a dispositivos eléctricos que son necesarios para mejorar la visibilidad tanto de conductores como peatones, tales como lamparas y faroles.
- Señalización: son aquellas señales o letreros que indiquen al usuario, limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que regulan el tránsito u otra información adicional, estas pueden ser verticales u horizontales. Las señalización vertical la constituyen todas las señales viales y de información sobre el puente ubicadas en vallas.

La señalización horizontal la constituyen todas las señales viales y de información sobre el puente marcadas sobre capa de rodamiento.

- Drenajes: son elementos que permiten la evacuación del agua presente en el tablero del puente.
- Separadores: son elementos colocados sobre el tablero, con el propósito de dividir el tránsito en carriles obligatorios de un solo sentido.

Se calificara con 1, 2 o 3, si estos aspectos su condición es buena, regular o mala, respectivamente.

Estos últimos, no son indispensables para que el puente tenga un buen desempeño funcional, por lo que se evaluara con los criterios anteriores cuando este elemento exista y se colocara un guión cuando no.

#### **14. ZONA SISMICA**

Determina la localización del puente dentro de una zona sísmica del país. Estas zonas se definen en la Norma Técnica de Diseño por Sismo de El Salvador, en zona I y zona II. (ver figura 1). Se evaluara la zona sísmica con la condición 2, para la zona I y la condición 1, para la zona II; marcando con una "X" la casilla correspondiente.

#### **15. ZONA DE INUNDACION**

Determina la localización del puente dentro de zonas de inundación previamente identificadas. Estas se clasifican en zona inundable (ZI) y en zona no inundable (ZNI). (ver figura 2). Se marcara con una "X" la casilla correspondiente.

#### **16. CARGAS.**

Estas se representan por el tipo de vehículo de diseño y sobrecarga, siendo:

*Carga de diseño:* la carga considerada para el diseño del puente. La cual se evaluara marcando con una "X" la condición correspondiente.

*Sobrecarga:* es la máxima carga que está pasando por el puente actualmente.

#### **17. RUTA ALTERNA.**

Es la longitud aproximada de la ruta, que se utilizaría para el paso de vehículos y peatones al ser interrumpido el tráfico vehicular sobre el puente, debido a mantenimiento, reparación o destrucción de éste. Se marcara con una "X", la casilla correspondiente a la longitud aproximada de la vía alterna.

#### **18. CAUCE**

El cauce se evaluara, considerando una distancia aproximada de 100 mts. Aguas arriba y aguas abajo del puente.

Se tomara como margen izquierdo y margen derecho a aquellos que correspondan a la izquierda y derecha del evaluador, cuando éste se encuentre observando aguas abajo.

**18.1 OBRAS DE PROTECCION**

**TABLA A-2.24 EVALUACION DE OBRAS DE PROTECCION**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Colchones Reno o Gaviones	1	Ruptura de mallas	No existen mallas rotas	0
				< 10% de la ruptura de las mallas	2
				Entre el 10% y el 40% de ruptura de las mallas	3
				> 40% de la ruptura de las mallas	4
		2	Deformación de la estructura	No existe deformación apreciable	0
				< 20% de la estructura	2
				Entre el 20% y el 50% de la estructura	3
				> 50% de la estructura está deformada	4
		3	Pérdida de material de relleno	No hay pérdida	0
				< 10% del relleno	2
				10% - 30% de relleno	3
				> 30% del relleno	4
		4	Corrosión de mallas	No existe corrosión	0
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2
				El acero de refuerzo esta corroido entre un 10% a 40% de la sección transversal	3
				El acero esta corroido en mas del 40% de la sección transversal	4
		5	Socavación	No existe socavación apreciable	0
				< 10% de la longitud la estructura	2
				Entre el 10% y el 40% de la longitud de la estructura	3
				> 40% de la longitud de la estructura	4
B	Muros de concreto	1	Socavación	No existe socavación apreciable	0
				< 10% de la longitud la estructura	2
				Entre el 10% y el 40% de la longitud de la estructura	3
				> 40% de la longitud de la estructura	4
		2	Pérdida de material	No se observa descascaramiento	0
				Existen pequeños desprendimientos	2
				Existen pequeños desprendimientos con acero de refuerzo expuesto	3
				Grandes desprendimientos con gran cantidad de acero de refuerzo expuesto.	4

		3	Acero expuesto	No existe corrosión	0		
				Corrosión en la superficie del acero con pérdida de material < de 10% de la sección transversal	2		
				El acero de refuerzo esta corroído entre un 10% a 40% de la sección transversal con su consecuente desprendimiento	3		
				El acero esta corroído en mas del 40% de la sección transversal con su consecuente pérdida	4		
		4	Fisuras	No se observan fisuras	0		
				Fisuras < 0.1 mm	2		
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3		
				Fisuras > 0.4 mm	4		
		5	Volteo	No existe indicios de volteo	0		
				Inclinación leve	2		
				Volteo inminente	3		
				Volteo de la estructura	4		
		C	Muros de mampostería	1	Socavación	No existe socavación apreciable	0
						< 10% de la longitud la estructura	2
						Entre el 10% y el 40% de la longitud de la estructura	3
						> 40% de la longitud de la estructura	4
2	Desprendimiento de mampostería			No se detectan pérdidas de elementos	0		
				< 10% de pérdida de elemento	2		
				Entre el 10% y el 30% de pérdidas de elementos	3		
				> 30% del perdidas de elementos	4		
3	Fisuras			No se observan fisuras	0		
				Fisuras < 0.1 mm	2		
				Fisuras entre 0.1 y 0.4 mm	3		
				Fisuras > 0.4 mm	4		
4	Volteo			No existe indicios de volteo	0		
				Inclinación leve	2		
				Volteo inminente	3		
				Volteo de la estructura	4		
5	Degradación del mortero			No hay indicios de degradación	0		
				< 20% de la superficie	2		
				Entre 20-60% de la superficie	3		
				> 60% de la superficie	4		
6	Pérdida de mortero			No se detectan pérdidas de mortero	0		
				< 10% de pérdida de mortero	2		
				Entre el 10% y el 30% de pérdida del mortero	3		
				> 30% del perdida de mortero	4		

## 18.2 TALUDES

**TABLA A-2.25 EVALUACION DE TALUDES**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Roca	1	Desprendimiento del material rocoso	No hay desprendimiento	0
				Desprendimientos pequeños < 10% de la superficie del talud	2
				10% - 30% de la superficie del talud	3
				> 30% de la superficie del talud	4
B	Suelo	1	Erosión	No se observa indicios de erosión	0
				Perdida de material	2
				Formación de pequeños canales	3
				Formación de canales de gran tamaño que pueden provocar deslizamiento	4
		2	Deslizamiento	No existe desprendimiento	0
				< 10% del área superficial del talud	2
				Entre el 10% y el 30% del área superficial	3
				> 30% del área superficial	4

## 18.3 VEGETACION

**TABLA A-2.26 EVALUACION DE VEGETACION**

CODIGO	TIPO	CODIGO	PROBLEMA	DESCRIPCION	CONDICION
A	Arboleda	1	Deforestación	< 10% de la superficie del terreno adyacente al puente	1
				Entre el 10% y el 30% de la superficie del terreno adyacente al puente	2
				Entre el 30% y el 60% de la superficie del terreno adyacente al puente	3
				> 60% de la superficie del terreno adyacente al puente	4
B	Arbusto	1	Deforestación	< 10% de la superficie del terreno adyacente al puente	1
				Entre el 10% y el 30% de la superficie del terreno adyacente al puente	2
				Entre el 30% y el 60% de la superficie del terreno adyacente al puente	3
				> 60% de la superficie del terreno adyacente al puente	4
C	Maleza	1	Deforestación	< 10% de la superficie del terreno adyacente al puente	1
				Entre el 10% y el 30% de la superficie del terreno adyacente al puente	2
				Entre el 30% y el 60% de la superficie del terreno adyacente al puente	3
				> 60% de la superficie del terreno adyacente al puente	4

### **19. SOBRE CARGA REAL**

Refleja las cargas máximas y la intensidad del flujo vehicular, que circula por el puente.

### **20. MANTENIMIENTO.**

Representa las obras y acciones que se realizan para mantener la funcionalidad y buen desempeño del puente, sean en el puente propiamente dicho, en el cauce del río o en los accesos. El mantenimiento se clasificara de la forma siguiente:

Mantenimiento Frecuente: cuando este se realiza periódicamente.

Mantenimiento Esporádico: se realiza cuando las circunstancias lo requieren.

Falta absoluta de mantenimiento: cuando no se realiza aun cuando las circunstancias lo requieran.

Se marcara con una "X" la casilla correspondiente a la condición, según sea el caso.

### **21. SENSIBILIDAD REGIONAL**

Son factores relacionados con acciones de agentes externos, como presencia de fabricas, poblaciones y cuyos desechos puedan ejercer acciones nocivas sobre el puente o su cauce, puede ser también salinidad alta en zonas costeras etc.

Medio ambiente es Ideal: el medio ambiente que rodea el puente, no representa problemas visibles para el puente.

Requieren algunas acciones para protegerlo del medio ambiente: actividades que deberían realizarse, para evitar el deterioro del puente.

Requiere acciones urgentes para protegerlo del medio ambiente: cuando el puente puede llegar a colapsar a causa de acciones de agentes externos.

Se marcara con una "X" la casilla correspondiente a la condición, según sea el caso

### **22. ANTIGÜEDAD DEL PUENTE**

Con ello se califica la edad del puente, deberá marcar con una "X" la condición que corresponda a cada caso en particular. La antigüedad se calculara tomando información referente al año de construcción que encuentra en el inventario básico de los puentes.

### **23. IMPORTANCIA FUNCIONAL**

Determina la importancia del puente en función a las áreas que esta sirviendo.

Zona agrícola o ganadera: cuando la actividad del área a servir es eminentemente agrícola o ganadera.

Zona turística: cuando la actividad del área a servir es eminentemente turística.

Importancia militar: el puente en un punto importante para actividades militares.

Fuente de materiales: cuando en el área a servir se encuentran numerosas fuentes de materiales.

Importancia estratégica: se refiere a la ubicación y las zonas a las cuales esta sirviendo.

Deberá calificarse en base al grado de incidencia, en una escala de 1 a 3, donde 1 es la condición de menor incidencia y 3 la condición de mayor incidencia.

**24. MAGNITUD DEL TRABAJO DE REPARACION.**

Es una estimación hecha por el inspector responsable de la evaluación del puente, de la importancia, el tiempo y trabajo que se emplearía para mantener la funcionalidad del puente, en base al daño que presenta el puente y la magnitud de éstos.

Esta se calificara en una en una escala de 1 a 3, donde la condición 1 indica que la reparación no es importante, 2 la reparación esta dentro de la normalidad, y 3 la reparación será muy grande.

## ANEXO A-3

### ARCHIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL PROGRAMA AEAII.EXE

\*ARCHIVO DE ENTRADA DE EL PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

\*PROGRAMA AEAII.EXE

\*COORDENADAS DE LOS NUDOS

23,1,0,0

23,2,0,2

23,3,0,4

23,4,0,6

23,5,0,8

23,6,0,10

23,7,0,12

23,8,0,14

23,9,0,16

23,10,0,17

\* APOYOS

24,1,0,0,0

\*MATERIAL

30,1,3094579131,0

\* SECCIONES

31,1,16.7,952000

\* ASIGNACIÓN DE SECCIONES Y MATERIALES

36,1,9,1,1,1

\*CONECTIVIDAD

37,1,1,2

37,2,2,3

37,3,3,4

37,4,4,5

37,5,5,6

37,6,6,7

37,7,7,8

37,8,8,9

37,9,9,10

\*CARGAS

41,10,0,-1086414,0

666

\*SALIDA DE PROGRAMA AEAII.EXE PARA PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

FACTOR DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO ALFA = 49.658901

\*ARCHIVO DE ENTRADA DE EL PUENTE LA MASCOTA

\*PROGRAMA AEAII.EXE

\*COORDENADAS DE LOS NUDOS

23,1,0,0

23,2,0,0.5

23,3,0,1

23,4,0,1.5

23,5,0,2

23,6,0,2.5

23,7,0,3

23,8,0,3.5

23,9,0,4

23,10,0,4.5

23,11,0,5

23,12,0,5.5

23,13,0,6

23,14,0,6.5

23,15,0,7

23,16,0,7.5

23,17,0,8

23,18,0,8.5

23,19,0,9

23,20,0,9.5

23,21,0,10

23,22,0,10.5

23,23,0,11

23,24,0,11.5

23,25,0,12

23,26,0,12.43

\* APOYOS

24,1,0,0,0

\*MATERIAL

30,1,309457.9131,0

\* SECCIONES

31,1,0.834119067,5258978.326

31,2,0.821399839,5034681.017

31,3,0.807723251,4800910.688

31,4,0.794046661,4574693.766

31,5,0.780370072,4355902.361

31,6,0.766693484,4144408.582

31,7,0.753016895,3940084.538

31,8,0.739340306,3742802.341

31,9,0.725663717,3552434.098

31,10,0.711987128,3368851.921

31,11,0.698310539,3191927.918

31,12,0.68463395,3021534.199

31,13,0.670957361,2857542.874

31,14,0.657280772,2699826.053

31,15,0.643604183,2548255.844  
31,16,0.629927595,2402704.358  
31,17,0.616251006,2263043.705  
31,18,0.602574417,2129145.994  
31,19,0.588897828,2000883.334  
31,20,0.575221239,1878127.836  
31,21,0.561544651,1760751.609  
31,22,0.547868061,1648626.762  
31,23,0.534191472,1541625.406  
31,24,0.520514883,1439619.649  
31,25,0.506838294,1342481.602

\* ASIGNACIÓN DE SECCIONES Y MATERIALES

36,1,1,1,1,1  
36,2,2,1,1,2  
36,3,3,1,1,3  
36,4,4,1,1,4  
36,5,5,1,1,5  
36,6,6,1,1,6  
36,7,7,1,1,7  
36,8,8,1,1,8  
36,9,9,1,1,9  
36,10,10,1,1,10  
36,11,11,1,1,11  
36,12,12,1,1,12  
36,13,13,1,1,13  
36,14,14,1,1,14  
36,15,15,1,1,15  
36,16,16,1,1,16  
36,17,17,1,1,17  
36,18,18,1,1,18  
36,19,19,1,1,19  
36,20,20,1,1,20  
36,21,21,1,1,21  
36,22,22,1,1,22  
36,23,23,1,1,23  
36,24,24,1,1,24  
36,25,25,1,1,25

\*CONECTIVIDAD

37,1,1,2  
37,2,2,3  
37,3,3,4  
37,4,4,5  
37,5,5,6  
37,6,6,7  
37,7,7,8  
37,8,8,9  
37,9,9,10  
37,10,10,11

37,11,11,12  
37,12,12,13  
37,13,13,14  
37,14,14,15  
37,15,15,16  
37,16,16,17  
37,17,17,18  
37,18,18,19  
37,19,19,20  
37,20,20,21  
37,21,21,22  
37,22,22,23  
37,23,23,24  
37,24,24,25  
37,25,25,26  
\*CARGAS  
41,26,0,-172646.66  
666

\*SALIDA DE PROGRAMA AEAII.EXE PARA PUENTE LA MASCOTA

FACTOR DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO ALFA = 12.561811

\*ARCHIVO DE ENTRADA DE EL PUENTE ARENAL DE MONSERRAT

\*PROGRAMA AEAII.EXE

\*COORDENADAS DE LOS NUDOS

23,1,0,0  
23,2,0,0.4  
23,3,0,0.9  
23,4,0,1.4  
23,5,0,1.9  
23,6,0,2.4  
23,7,0,2.9  
23,8,0,3.4  
23,9,0,3.9  
23,10,0,4.4  
23,11,0,4.9  
23,12,0,5.4  
23,13,0,5.9  
23,14,0,6.4  
23,15,0,6.9  
23,16,0,7.4  
23,17,0,7.9  
23,18,0,8.4  
23,19,0,8.9  
23,20,0,9.4  
23,21,0,9.9  
23,22,0,10.4  
23,23,0,10.9  
23,24,0,11.4  
23,25,0,11.9  
23,26,0,12.4

\* APOYOS

24,1,0,0,0

\*MATERIAL

30,1,3094579131,0

\* SECCIONES

31,1,23.76774194,507.0451613  
31,2,23.24516129,495.8967742  
31,3,22.66451613,483.5096774  
31,4,22.08387097,471.1225806  
31,5,21.50322581,458.7354839  
31,6,20.92258065,446.3483871  
31,7,20.34193548,433.9612903  
31,8,19.76129032,421.5741935  
31,9,19.18064516,409.1870968  
31,10,18.6,396.8  
31,11,18.01935484,384.4129032  
31,12,17.43870968,372.0258065  
31,13,16.85806452,359.6387097  
31,14,16.27741935,347.2516129

31,15,15.69677419,334.8645161  
31,16,15.11612903,322.4774194  
31,17,14.53548387,310.0903226  
31,18,13.95483871,297.7032258  
31,19,13.37419355,285.316129  
31,20,12.79354839,272.9290323  
31,21,12.21290323,260.5419355  
31,22,11.63225806,248.1548387  
31,23,11.0516129,235.7677419  
31,24,10.47096774,223.3806452  
31,25,9.890322581,210.9935484

\* ASIGNACIÓN DE SECCIONES Y MATERIALES

36,1,1,1,1,1  
36,2,2,1,1,2  
36,3,3,1,1,3  
36,4,4,1,1,4  
36,5,5,1,1,5  
36,6,6,1,1,6  
36,7,7,1,1,7  
36,8,8,1,1,8  
36,9,9,1,1,9  
36,10,10,1,1,10  
36,11,11,1,1,11  
36,12,12,1,1,12  
36,13,13,1,1,13  
36,14,14,1,1,14  
36,15,15,1,1,15  
36,16,16,1,1,16  
36,17,17,1,1,17  
36,18,18,1,1,18  
36,19,19,1,1,19  
36,20,20,1,1,20  
36,21,21,1,1,21  
36,22,22,1,1,22  
36,23,23,1,1,23  
36,24,24,1,1,24  
36,25,25,1,1,25

\*CONECTIVIDAD

37,1,1,2,100  
37,2,2,3,100  
37,3,3,4,100  
37,4,4,5,100  
37,5,5,6,100  
37,6,6,7,100  
37,7,7,8,100  
37,8,8,9,100  
37,9,9,10,100  
37,10,10,11,100

37,11,11,12,100  
37,12,12,13,100  
37,13,13,14,100  
37,14,14,15,100  
37,15,15,16,100  
37,16,16,17,100  
37,17,17,18,100  
37,18,18,19,100  
37,19,19,20,100  
37,20,20,21,100  
37,21,21,22,100  
37,22,22,23,100  
37,23,23,24,100  
37,24,24,25,100  
37,25,25,26,100  
\*CARGAS  
41,10,0,-358129.59,0  
666

\*SALIDA DE PROGRAMA AEAII.EXE PARA PUENTE ARENAL DE MONSERRAT  
FACTOR DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO ALFA = 87.2356885

\*ARCHIVO DE ENTRADA DE EL PUENTE EN LA AVENIDA CUBA  
\*PROGRAMA AEAII.EXE  
\*COORDENADAS DE LOS NUDOS  
23,1,0,6.5  
23,2,4,0  
23,3,8,6.5  
\* APOYOS  
24,2,0,0,0  
\*MATERIAL  
30,1,3094579131,0  
\* SECCIONES  
31,1,1.464,0.1846111  
31,2,1.350,0.2050312  
\* ASIGNACIÓN DE SECCIONES\_Y MATERIALES  
36,1,2,1,1,1  
36,3,3,1,1,2  
\*CONECTIVIDAD  
37,1,1,2  
37,2,1,3  
37,3,2,3  
\*CARGAS  
41,1,0,-107011.25  
41,3,0,-107011.25  
666

\*SALIDA DE PROGRAMA AEAII.EXE PARA PUENTE EN LA AVENIDA CUBA  
FACTOR DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO ALFA = 18.285628

## ANEXO A-4

### DEDUCCIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO POR PANDEO GEOMÉTRICO

Utilizando el siguiente Método de Diferencia Finita:

En el cual las funciones evaluadas, deben acomodarse a las siguientes características:

- decreciente
- pendientes  $< 0$
- cóncava hacia arriba.

Dadas las condiciones iniciales  $\alpha = 1 \rightarrow l_g = 1$

$$\alpha = 2 \rightarrow l_g = 0.7$$

$$\alpha = 3 \rightarrow l_g = 0.6$$

$$\alpha = 4 \rightarrow l_g = 0.5$$

$$\alpha = 5 \rightarrow l_g = 0.4$$

$$\alpha \gg \infty \rightarrow l_g \rightarrow 0$$

encontrando una función que rige esta secuencia

$$y(1) = 1, y(2) = 0.7, y(3) = 0.6, y(4) = 0.5, y(5) = 0.5$$

*Primera diferencia*

$$\Delta y(x) = y(x+1) - y(x)$$

para  $x=4$

$$\Delta y(4) = y(4+1) - y(4)$$

$$\Delta y(4) = y(5) - y(4) = -0.1$$

para  $x = 3$

$$\Delta y(3) = y(3+1) - y(3)$$

$$\Delta y(3) = y(4) - y(3) = -0.1$$

para  $x = 2$

$$\Delta y(2) = y(2+1) - y(2)$$

$$\Delta y(2) = y(3) - y(2) = -0.2$$

para  $x = 1$

$$\Delta y(1) = y(1+1) - y(1)$$

$$\Delta y(1) = y(2) - y(1) = -0.3$$

como la primera diferencia de la función buscada es  $< 0$ , es negativa entonces la función es decreciente.

Y como  $\Delta y(3) > \Delta y(2) > \Delta y(1)$  la función tiene pendiente creciente.

Segunda diferencia

$$\Delta^2 y(x) = y(x+2) - 2y(x+1) + y(x)$$

para  $x = 3$

$$\Delta^2 y(3) = y(3+2) - 2y(3+1) + y(3)$$

$$\Delta^2 y(3) = y(5) - 2y(4) + y(3)$$

$$\Delta^2 y(3) = 0$$

para  $x = 2$

$$\Delta^2 y(2) = y(2+2) - 2y(2+1) + y(2)$$

$$\Delta^2 y(x) = y(4) - 2y(3) + y(2)$$

$$\Delta^2 y(2) = 0$$

para  $x = 1$

$$\Delta^2 y(1) = y(1+2) - 2y(1+1) + y(1)$$

$$\Delta^2 y(1) = y(3) - 2y(2) + y(1)$$

$$\Delta^2 y(1) = 0.2$$

Como las segundas derivadas van creciendo y son  $\geq 0$ , la función es cóncava hacia arriba.

Las funciones exponenciales con exponente real  $< 0$  ( $n \in \mathbb{R}$ )

Para encontrar el valor real, se utiliza la aproximación del exponente de Taylor

Para la función  $y(x) = x^{-n}$

$$n = \frac{\sum_{i=0}^{k-2} [(m+i)[m+(i+1)]]}{\left[ \sum_{i=0}^{k-1} (m+i) \right]^{2/3}}$$

donde  $m =$  es el primer valor de prueba del dominio

$k =$  es el número máximo de valores de prueba ( $k=4$ )

$$m = 0.7 / \ln 2 = 1.0099$$

$$m + 1 = 0.6 / \ln 3 = 0.5461$$

$$m + 2 = 0.5 / \ln 4 = 0.3607$$

$$m + 3 = 0.4 / \ln 5 = 0.2485$$

$$n = 0.5008 \approx 0.5$$

$$y(x) = x^{-0.5} = \frac{1}{\sqrt{x}}$$

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### GENERALIDADES

Bommer, Julian; Terremotos, Urbanización y Riesgo Sísmico en San Salvador, Boletín PRISMA No. 18, San Salvador, El Salvador, julio-agosto, 1996.

Bommer, Julian, Sismología para Ingenieros, UCA editores, El Salvador, marzo de 1996.

Centro Nacional de Prevención de Desastres; Curso sobre Diseño y Construcción Sismorresistente de Estructuras, Secretaria de Gobernación, México D. F. México, 1999.

Grattasat Guy, Concepción de Puentes. Barcelona ,España. Ed. Técnicos Asociados, S.A., 1981

Secretaría de Integración Económica Centroamericana, Estrategia del Sector Transporte para su Incorporación en El Plan Regional de Reducción de Desastres; Vigésimosegunda Reunión del Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica, Tegucigalpa, Honduras, mayo de 2000.

Wittfoth Hans, Puentes Ejemplos Internacionales. España. Editorial Gustavo Gili, 1972

### SISTEMAS DE GESTION DE PUENTES

American Association of State Highway and Transportation Officials.(AASHTO) Manual for Condition Evaluation of Bridges. 1994

American Association of State Highway and Transportation Officials. Manual for Maintenance Inspection of Bridges. 1970

Calvo Lucas, Olga. Consideraciones Técnicas de la D. G. de Carreteras para la Conservación, Reparación, y Refuerzo de su Patrimonio Estructural. Grupo Español IABSE: Madrid, 1999.

Hearn, George. Datos Condicionados y Sistemas de Administración de Puentes. Universidad de Colorado, Boulder, U.S.A..

Hooks, Jhon M.; Romack, George P. The Tools of Bridge Management. Federal Highway Administration, Office of Technology Applications, Art. T142-5, First Structural Engineering World Congress, San Francisco; July 19-23, Elsevier Science.

Ministerio de Obras Publicas (MOP). Sistema de Inventario y Evaluación de Puentes. El Salvador, 1994.

Ministerio de Obras Publicas y Transportes(MOPT). Inspecciones Principales de Puentes de Carretera. España. Edit. Tecnología en Carreteras, Madrid, 1988

Parsons Brinckernoff. Bridge Inspection and Rehabilitation- A Practical Guide. 1993

Portillo García, Edwin Dr., Inspección y Rehabilitación de Puentes, 2º Congreso Nacional de Vías Terrestres, San Salvador, 25-28 Nov/98.

Perelli Botello, Jorge. Inventario de Puentes de una Red de Carreteras Autonómicas. Nuevas técnicas de Evaluación Estructural. Rehabilitación y Refuerzo de Estructuras. Grupo Español IABSE: Madrid, 1999.

Shepard, Richard W.. Element Level Bridge Inspections for Bridge Management Systems. California Department of Transportation. CALTRANS. Art. T142-3. First Structural Engineering World Congress, San Francisco; July 19-23, Elsevier Science.

Sobrino Almunia, Juan Antonio. Evaluación del Comportamiento Funcional y de la Seguridad Estructural de Puentes Existentes de Hormigón Armado y Pretensado, Tesis Doctoral, Barcelona, Febrero de 1994.

V.K. Raina. Concrete Bridges. Inspection, Repair, Strengthening, Testing and Load Capacity Evaluation, EEUU.1996

Yáñez Hernández, María de los Ángeles. Deterioros de Puentes de una Red de Carreteras Autonómica. Grupo Español IABSE: Madrid, 1999.

## **EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD**

American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO STANDARD Specifications for highway Bridges and Interim Specifications. 16ª edition, 1997.

ATC-18 Seismic Design Criteria for Bridges and Other Highway Structures: current and future. 1997.

Beamish, Michel J.; Billings, Ian J. Auckland Harbour. Bridge Seismic Retrofit, 12 World Conference on Earthquake Engineering, 2000

Calvi G. Michele. Performance Based Assessment Procedures for Reinforced Concrete Bridges. Dipartimento di Meccanica Strutturale, Università Degli Studi di Pavia. Via Ferrata 1, 27100 Pavia, Italy. First Structural Engineering World Congress, San Francisco; July 19-23, Elsevier Science. Art. T160-5

Hernández de Paz, Jaime. Vulnerabilidad Sísmica de Estructuras de Edificios de Concreto Reforzado y Acero. Trabajo de graduación, Universidad de El Salvador, San Salvador, Julio de 1999.

Maldonado, Esperanza y otros, Seismic Vulnerability Assessment of Bridges into the Urban Environment, 16<sup>th</sup> Congress of IABSE, Lucerne, 2000.

McCann Dennis y otros, Toward Consideration of the Value of Information in Structural Performance Assessment, Structural Engineering World Wide, Art. T216-6, 1998.

Nawy Edward G. Concreto Reforzado. Un Enfoque Básico. Prentice Hall Hispanoamérica, S.A. México, 1988

Park R., New Zealand Practice on the Design of Bridges for Earthquake Resistance. Structural Engineering World Wide 1998. Art. T160-1

Park, R. y Paulay T. Estructuras de Concreto Reforzado, Editorial Limusa, Cuarta Reimpresión, México, 1998

Park R, Seminario Diseño de Estructuras Sismo-Resistentes de Concreto Reforzado. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, Junio de 1996

Portillo, Edwin Dr. Ing. Modelación Numérica para el Diseño y Reforzamiento Antisísmico de Estructuras de edificios. La ingeniería sísmica en El Salvador después de 10 años del terremoto del 10 de octubre de 1986. UES, Escuela de Ingeniería Civil, julio 1996

Portillo, Edwin Dr. Ing., Potencial Destructivo del Set de Acelerogramas del sismo del 10 de oct. de 1986, UES, Escuela de Ingeniería Civil, julio 1996.

Portillo García, Edwin Dr. Ing., Torres Guillermo A., Cerros Gloria H y Romero José F., Vulnerabilidad y Daños Frecuentes de Puentes en El Salvador. Tercer Congreso Nacional de Vías Terrestres, San Salvador, El Salvador, Noviembre de 2000.

Roberts, James E. Filosofía de Diseño Sísmico para Puentes de California. Engineering Service Center, California, Department of Transportation, First Structural Engineering World Congress, San Francisco; July 19-23, Elsevier Science. Art. T155-1, 1998.

Sharon L. Senk ,Advanced Algebra, The University of Chicago School Mathematics Project

Seible Frider. Long Span Bridges In California – Seismic Design and Retrofit Issues. 12 World Conference on Earthquake Engineering, 2000

Sobaih, Mohamed; Gabriel A. Proposed Methodology for Seismic Risk Evaluation of Highway Bridges, 12 World Conference on Earthquake Engineering, 2000.

Soobong Shin y Hyun Moo Koh, Assessment of Bridge Deterioration by a System Identification Method, Structural Engineering World Wide, Art. T131-3, 1998.

Unjoh, S.; Terayama, T.; Adachi ,Y., Hoshikuma, J..Seismic Strengthening of Highway Bridges in Japan. Structural Engineers World Congress. San Francisco, USA Julio de 1998.

Wadia-Fascetti, Sara y otros, Structural Identification: A Tool for Bridge Reliability Evaluation. Structural Engineering World Wide, Art. T216-4, 1998.