

### III. CAPACIDAD DE CARGA

#### **A. Generalidades**

Los cálculos del rango de carga de un puente proveen una base segura para la determinación de la capacidad de carga del mismo. El rango de carga requiere de un juicio, basado en la ingeniería, en la determinación del rango de valores que es aplicable a mantener el uso seguro del puente y arribar a la toma de correcta de decisiones. Los cálculos de capacidad de carga de un puente son hechos sobre información proveniente del archivo del puente mismo, incluyendo los resultados de inspecciones recientes. Como parte de cada ciclo de inspección, los rangos de carga del puente deben ser revisados y actualizados producto de cambios relevantes en su condición o carga muerta detectada durante la inspección.

Los propietarios de puentes deben implementar procedimientos estandarizados para determinar el rango de carga de los puentes.

Los métodos a evaluar en este capítulo proveen una alternativa para establecer los niveles de carga en un puente. Los niveles de carga a niveles de operación e inventario usando el método de esfuerzo permitido pueden ser calculados y pueden ser usados especialmente para comparar con prácticas pasadas. Similarmente, los niveles de carga de operación e inventario basados en el método de factor de carga pueden también ser calculados. En adición, para determinar los niveles de carga de operación e inventario se analizara el método de factor de resistencia y carga.

**1. Asunciones.** La capacidad segura de carga de un puente está basada en las condiciones estructurales existentes. Para mantener esta capacidad se asume que el puente ha sido sujeto a inspecciones

competentes tan frecuentes como la condición de la estructura requiera, y la ejecución de un juicio apropiado determinará un apropiado margen seguro.

**2. Consideraciones de la subestructura.** Una cuidadosa atención debería ser dada a todos los elementos de la subestructura para evidenciar inestabilidades que afecten la capacidad de llevar carga de un puente. La evaluación de la condición de la subestructura de un puente, en muchos de los casos, evidencia una buena práctica de la ingeniería.

La condición de la subestructura debería estar basada en la información de los planos como fue construida, los planos constructivos, cálculos de diseño, resultados de inspecciones y de datos apropiados. Cuando semejante información está disponible, los elementos de la subestructura, incluyendo pilas y estribos, debería ser chequeado para asegurarse que ellos tienen al menos la capacidad mínima para el miembro más bajo de la superestructura. Si la información no está disponible, la subestructura debería ser asumida como adecuada si el juicio dado por un ingeniero la determina estable, después de examinar el alineamiento, la condición y el desempeño de los elementos de la subestructura a través del tiempo.

**3. Criterios de seguridad.** En general, los factores de seguridad a ser usados deberían ser tomados de los incisos que se detallarán a continuación. Sin embargo, en algunos casos donde la opinión es utilizada para realizar una evaluación de la estructura, el factor de seguridad puede ser ajustado basado en las condiciones y/o desempeño de la estructura de acuerdo al más reciente reporte de inspección. Esta determinación es aplicada más comúnmente a la madera, la cual es de calidad inferior a lo normal o cuando el material ha estado a la intemperie u otro tipo de deterioro. En la determinación del factor de seguridad de un puente, se debería tomar como consideración el tipo de vehículos que

usan el puente rutinariamente. Debería de hacerse cada esfuerzo para minimizar las penurias relacionadas con el transporte pesado sin perjudicar la seguridad del público. Todos los datos en la determinación del factor de seguridad deben estar bien documentados.

#### **4. Aplicación de las especificaciones de diseño estándar.**

Para todos los temas no cubiertos en estas secciones, las especificaciones de diseño de la AASHTO (AASHTO Especificaciones Estándar para Puentes) deberían de ser una guía. Sin embargo, existen instancias en donde el comportamiento de un miembro bajo tránsito no es consistente con lo predecido por las especificaciones de control. En esta situación, las desviaciones de las especificaciones de control basadas en un conocimiento del comportamiento del miembro bajo tránsito pueden ser usadas y debería ser plenamente documentada. El diagnóstico de pruebas de carga pueden ser beneficiosas para establecer la capacidad segura de carga de muchos miembros.

**5. Estructuras no redundantes.** Los criterios que se han desarrollado indican que una estructura es indeterminada cuando hay más componentes reactivas disponibles y/o miembros presentes que los necesarios para la estabilidad de la estructura.

El grado de indeterminación exterior es igual al número de componentes reactivas que están disponibles en exceso del número requerido para la estabilidad exterior. Estas componentes reactivas en exceso se llaman redundantes debido a que no son necesarias para la estabilidad de la estructura.

El grado de indeterminación interior se da por el número de componentes de fuerzas interiores que están presentes en exceso de las que se necesitan para la estabilidad interna. Estas también se llaman redundantes ya que no se requieren para una estructura estable.

Los puentes son generalmente sistemas estructurales simples, lo cual conlleva a ventajas y desventajas. Los puentes carecen de altos grados de redundancia, es decir, la falla de un elemento estructural podría colapsar la estructura, mientras la simplicidad puede dar mayor confianza en la determinación de la respuesta sísmica, sin olvidar que la simplicidad podría llevar a una mayor sensibilidad a errores de diseño. Al examinar el sistema estructural de un puente pueden existir componentes críticos que pueden fallar y provocar el colapso del puente. Consideraciones especiales de estos componentes no redundantes pueden ser requeridas en la evaluación del nivel de carga de la estructura. Además es necesario revisar el sistema vial y la localización del puente (ver capítulo II Archivos o registros de puentes existentes), debido a que el puente como estructura puede ser redundante o no redundante, pero no así su localización dentro del sistema vial, la cual puede ser no redundante. Al ser su localización no redundante (no disponer de más puentes para arribar a un destino), es importante evaluar el nivel de carga de este puente, ya que si colapsa, el sistema vial también colapsa.

**6. Capacidad de carga para estructuras complejas.** Esta sección tiene como fin ser usada para establecer los niveles de carga de los puentes más comunes usados en la república de Guatemala. Los cálculos para la capacidad de carga de estructuras más complejas, como puentes colgantes, arcos, puentes con vigas curvas de acero, armaduras continuas, requieren de métodos y procedimientos especiales para sus análisis. Guías generales y direccionamientos están disponibles en esta sección, pero procedimientos complejos deben ser usados para determinar los niveles de carga.

## ***B. Calificaciones y responsabilidades***

La responsabilidad general para la determinación de los niveles de carga deben ser realizados por un profesional de la ingeniería que

preferiblemente tenga como mínimo cinco años en el diseño de puentes y experiencia en inspecciones. El conocimiento de la ingeniería y las habilidades necesarias para evaluar apropiadamente un puente pueden variar de acuerdo a la complejidad del puente involucrado. El conocimiento y habilidad especializada de otros ingenieros pueden ser necesarios para asegurar la apropiada evaluación.

### **C. Niveles de capacidad**

Cada puente debería ser evaluado en su capacidad de carga en dos niveles, el nivel de inventario y operación.

**1. Nivel de capacidad de inventario.** El nivel de capacidad de inventario generalmente corresponde al acostumbrado nivel de diseño de esfuerzos que reflejan las condiciones del puente y material sin contemplar deterioro o pérdida de sección. Las capacidades de carga basadas en el nivel de inventario permite comparaciones con la capacidad de estructuras nuevas y, por consiguiente, resultados de una carga viva que puede ser utilizada en forma segura en una estructura existente por un periodo indefinido de tiempo.

**2. Nivel de capacidad de operación.** El nivel de capacidad basado en el nivel de operación generalmente describe la máxima carga viva permisible que la estructura puede soportar. Cuando un puente ha sido significativamente alterado por ensanchamiento, alargamiento o por alguna otra manera que modifiquen su estructura significativamente, los datos del inventario del puente deben ser actualizados para reflejar los cambios hechos al puente. El inventario del puente debería ser actualizado si se reflejan cambios en la superficie de desgaste, barandas u otros ítems similares.

## **D. Métodos de capacidad**

En la capacidad de carga de los miembros de un puente, tres métodos para chequear la capacidad de esos miembros son proveídos en esta sección, el Esfuerzo permitido (AS por sus siglas en inglés), Factor de carga (LF por sus siglas en inglés) y el Factor de resistencia y carga (LRFR por sus siglas en inglés).

**1. Esfuerzo permitido (AS).** El método del esfuerzo permitido o de trabajo constituye una especificación tradicional que provee una seguridad estructural. Las cargas actuales son combinadas para producir el máximo esfuerzo en un miembro, el cual no excede el esfuerzo permitido o de trabajo. Este último es encontrado tomando el esfuerzo límite del material y la aplicación de un factor apropiado de seguridad.

**2. Factor de carga (LF).** El método de factor de carga esta basado en el análisis de una estructura sujeta a múltiples cargas actuales (cargas factoradas). Diferentes factores son aplicados a cada tipo de carga la cual refleja la incertidumbre inherente en el cálculo de las cargas. El rango es determinado tal que el efecto de las cargas factoradas no exceda la resistencia del miembro.

**3. Factor de resistencia y carga (LRFR).** El método de factor de resistencia y carga permite a través de la combinación de la teoría de la probabilidad, datos estadísticos y un juicio basado en la ingeniería, establecer una herramienta para la toma de decisiones. En particular, este procedimiento permite al ingeniero usar información específica del sitio, para mejorar en una manera consistente, si es necesario, su juicio sobre el nivel del rango seguro de un puente en particular. En adición, este método incorpora metodología existente para considerar leyes locales, regulaciones y métodos de cálculo.

## **E. Ecuaciones de capacidad**

**1. Generalidades.** El procedimiento para determinar el rango de carga de puentes existentes requiere del conocimiento de las condiciones físicas del puente y las cargas aplicadas. Un nivel de rango seguro supone que la resistencia o capacidad nominal debería ser estimada de una detallada investigación de la condición física y de un continuo intento de aliviar cualquier signo de deterioro. Además, el conocimiento de las condiciones del tránsito, incluyendo signos de sobrepeso vehicular, combinados con métodos precisos de análisis estructural debería ser usado cuando la estimación de los efectos de carga es necesaria.

La expresión general siguiente puede ser utilizada para determinar el rango de carga de una estructura:

$$RF = \frac{(C - A_1 D)}{(A_2 L(1 + I))} \quad \text{Ecuación 1-E}$$

Donde:

RF = factor de rango para la capacidad de carga viva. El factor de rango multiplicado por el rango del vehículo en toneladas da como resultado el rango de capacidad de la estructura (ver Ecuación 2-E).

C = la capacidad del miembro (ver sección F). En el método de Factor y Resistencia de Carga (LRFR), la capacidad del miembro, es llamada resistencia (R) y es multiplicada por un factor de Resistencia (reducción de la capacidad), llamado  $\Phi$ .

D = el efecto de la carga muerta sobre el miembro (ver sección G.1). Para miembros compuestos, el efecto de la carga muerta sobre las secciones no compuestas y el efecto de la carga muerta sobre la

sección compuesta necesita ser evaluada cuando el método de Esfuerzo Permitido se use.

- L = el efecto de la carga viva en el miembro (ver sección G.2).  
 I = el factor de impacto usado con el efecto de carga viva, magnifica la carga estática debido a una amplificación dinámica (ver sección G.4).  
 $A_1$  = factor para carga muerta. En el método de Factor de Resistencia y Carga (LRFR) es denominado  $\gamma_D$  (ver sección E.2, E.3 y E.4).  
 $A_2$  = factor para carga viva. En el método de Factor de Resistencia y Carga (LRFR) es denominado  $\gamma_L$  (ver sección E.2, E.3 y E.4).

En la ecuación de arriba “el efecto de la carga” es el efecto de las cargas aplicadas sobre el miembro. Típicos “efectos de la carga” usados por ingenieros son fuerzas axiales, fuerzas de corte vertical, momentos, esfuerzos axiales, esfuerzos de corte y esfuerzos producidos por momentos. Una vez “el efecto de la carga” a ser evaluado es seleccionado por el ingeniero, la “capacidad” del miembro a resistir semejante efecto de carga puede ser determinado (ver sección F).

Para el método de Factor de Resistencia y Carga (LRFR), la ecuación 1-E se convierte en la siguiente expresión:

$$RF = \frac{(\Phi R - \gamma_D D)}{(\gamma_L L(1 + I))} \quad \text{Ecuación 2-E}$$

El factor de rango (RF) puede ser usado para determinar el rango de un miembro del puente en toneladas como sigue:

$$RT = (RF)W \quad \text{Ecuación 3-E}$$

Donde:

RT = el rango del miembro del puente en toneladas.

W = el peso (en toneladas) del camión nominal usado en la determinación del efecto de carga viva (L).

El rango de un puente es controlado por el rango del miembro con más bajo rango en toneladas.

**2. Método del esfuerzo permitido.** Para el método del esfuerzo permitido,  $A_1 = 1.0$  y  $A_2 = 1.0$  en la ecuación general de rango de carga viva.

La capacidad (C) depende del nivel de rango deseado, se usa el más alto valor para "C" para el nivel de operación. La determinación de la capacidad nominal de un miembro se discute en el sección F.2.

**3. Factor de carga.** Para el método de factor de carga,  $A_1 = 1.3$  y  $A_2$  varia dependiendo de que nivel de rango es deseado. Para nivel de inventario  $A_2 = 2.17$  y para el nivel de operación  $A_2 = 1.3$ .

La capacidad nominal (C) es la misma sin considerar que nivel de rango es deseado (ver sección F.3)

**4. Factor de resistencia y carga.** La evaluación es llevada a cabo con una comparación del efecto de carga viva factorada y la capacidad o resistencia factorada. Los factores de carga son usados para estimar las incertidumbres en los efectos de las cargas y la incertidumbre en el análisis como también en las magnitudes de las cargas. El factor de carga muerta incluye variaciones normales en las dimensiones de los materiales como en sus densidades. El factor de carga viva estima las incertidumbres en los máximos efectos producidos por los vehículos, impacto y la distribución de las cargas durante un periodo de tiempo entre inspecciones. El factor de resistencia o

capacidad estima incertidumbres en las teorías de predicción de resistencia, propiedades de los materiales e influencias del deterioro en el tiempo entre inspecciones. Además, los factores de resistencia y carga son ajustados para producir un margen de seguridad general que permite un adecuado nivel de seguridad considerando todas las incertidumbres descritas anteriormente.

El procedimiento del rango es llevado para todos los chequeos de resistencia (momento, corte, etc.) y para toda sección potencialmente crítica con el mínimo valor determinado para el factor de rango de todo el tramo.

El factor de rango (RF) es la razón del nivel de seguridad de las cargas a las cargas producidas por vehículos normales o estándares. El factor RF puede ser usado en la consideración en la restricción de niveles y/o en futuras reparaciones o reemplazos. Un diagrama de flujo para el procedimiento de la ecuación de rango es proveído en la Figura 2. El evaluador debe notar que el mejoramiento potencial en el factor de rango puede venir de las opciones de selección en cada paso. Generalmente se provee de un factor menos conservativo si se realiza un esfuerzo adicional en la evaluación e información no satisfactoria es descubierta.

En la determinación de los factores de resistencia y carga para la ecuación, los siguientes pasos deber ser llevados en la evaluación de un claro del puente:

**a. Recolección de la información.** En esta sección se usan las mismas provisiones usadas en el Manual para Mantenimiento e Inspección de Puentes de la AASHTO, excepto que los siguientes ítems deberían ser anotados desde que ha tenido influencia la selección de los factores de resistencia y carga.

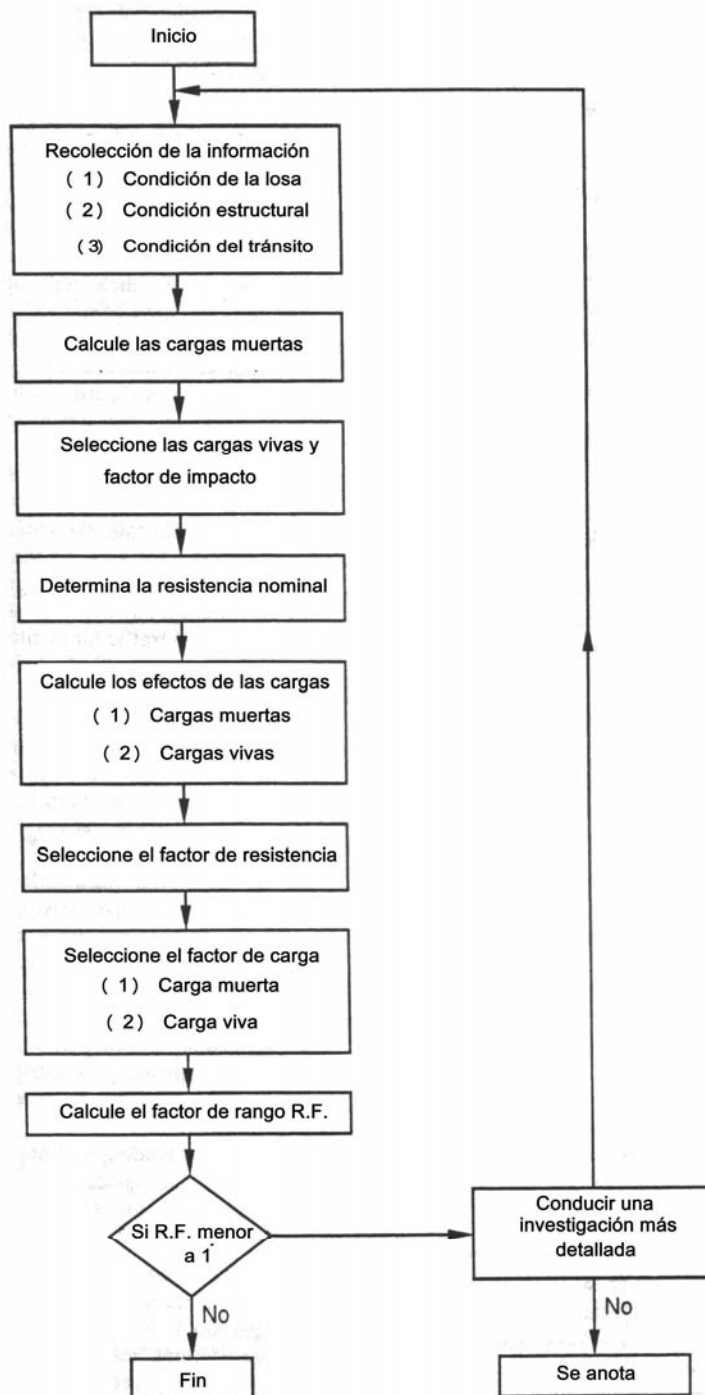
**1) Condición de la losa.** Los factores de impacto en las especificaciones de diseño de la AASHTO son deliberadamente seleccionados a ser conservadores con respecto a la mayoría de condiciones. Investigaciones de campo han demostrado que el mayor factor simple que afecta el impacto es la rugosidad del camino y algunos abultamientos y depresiones o cualquier otra discontinuidad que puede iniciar o amplificar la respuesta dinámica al paso de vehículos. Cualquier otro factor de superficie debe ser anotado durante una inspección del puente.

**2) Condición estructural.** Signos de reciente deterioro en los miembros estructurales los cuales pueden ser no chequeados e incrementan la probabilidad de futuras pérdidas en la capacidad de la sección antes del próximo ciclo de inspecciones y rangos deben ser anotados. Contrariamente, esfuerzos de mantenimiento para mitigar semejantes deterioros deben también anotarse.

Una tolerancia para el deterioro estructural debe ser anotada cuando es una u otra estimación conservativa o esperada desde el deterioro ulterior, ésta puede incrementar la incertidumbre en la estimación confiable de las propiedades y resistencia durante el próximo intervalo de inspecciones.

**3) Condición del tráfico.** La esperada aplicación de cargas durante el intervalo de inspección es afectada por el tránsito de camiones por el sitio. En la mejor de las instancias, los datos estarán disponibles de conteos de tránsito, incluyendo operaciones objetivas de pesaje de camiones. Alternativamente, debería ser aconsejada la búsqueda en la división del tránsito, estimando el volumen de tránsito de camiones, compasión, actividades permitidas, fuentes sobrecargadas y el grado de cumplimiento.

FIGURA 2: Diagrama de flujo para el proceso de evaluación del factor de rango



**b. Selección de las cargas y resistencias nominales.** Véase sección G. Cargas de este trabajo.

**c. Distribución de cargas.** Véase sección G.3. Distribución de cargas de este trabajo.

**d. Selección de los factores de resistencia y carga.**

1) **Factores de carga.** Los factores de carga deben ser tomados de la Tabla 1. Estos intentan representar condiciones existentes en el tiempo en que esta ecuación fue escrita basada en datos de campo obtenidos de una variedad de ubicaciones usando pesos en movimiento y otros datos de métodos reunidos. El factor de carga viva cuenta para la probabilidad de cargas extremas lado por lado y siguiendo en la misma línea y la posibilidad de vehículos sobrecargados. Uno de los propósitos de esta especificación es protección de la inversión de la estructura del puente, los factores de carga viva hacen reconocimiento de la presencia de vehículos sobrecargados en muchas carreteras. Una opción para el reflejo de la imposición de sobrecargas efectivas esta contenida aquí con una reducción del factor de carga viva. La presencia de cargas ilegales debe ser anotada, y si semejantes vehículos están presentes en largos números en este sitio, el más alto factor de carga puede conducir a rangos inaceptables y esfuerzos de imposición deben ser instituidos.

Cuando el factor RF es menor que 1.0, las cargas deben ser restringidas. En instancias cuando el factor RF es menor que 1.0, consideraciones deben ser tomadas para realizar estudios de tránsito y un vigoroso programa de imposiciones. Si existe razón para creer que las señales de peso de los camiones están siendo ignoradas entonces consideraciones deben ser dadas para fomentar el alcance del factor de carga viva.

**2) Factores de resistencia.** Los factores de resistencia o factores de reducción de capacidad en las Especificaciones Estándar para Puentes carreteros son destinados a nuevos componentes con métodos actuales de control alto de la calidad. La resistencia nominal (no factorada) a ser usada en la evaluación representa una estimación de la resistencia usando datos pertinentes de las propiedades del miembro y las condiciones de éste en el tiempo de la inspección. El factor de resistencia debe ser considerado a través de la estimación incierta de las propiedades de los miembros y cualquier prejuicio o conservacionismo introducido en estas estimaciones. Cambios adicionales pueden ocurrir a la sección durante intervalos de inspección, hay alguna dependencia de estas propiedades a la calidad del mantenimiento. También, el nivel y detalle de la inspección es importante desde que pueden dar a conocer propiedades actuales a ser usadas en los cálculos. Los factores de resistencia para miembros en buena condición son mostrados en la Tabla 2(a), sección I. La influencia del deterioro, inspección y mantenimiento esta dada en la Tabla 2(a), secciones II, III y IV. Una tabla de los factores de resistencia para todas las combinaciones de condición es dada en la Tabla 2(b). Un diagrama de flujo para obtener el factor de resistencia es presentado en la Figura 3.

**e. Cálculo del factor de rango.** El factor de rango es calculado a través de la ecuación 2-E. Si excede de 1.0, el tramo es satisfactorio para las cargas legales en la jurisdicción. En la presente especificación, hay solamente un valor simple de rango (eliminando los niveles de operación e inventario) que determina la carga permitida. Los factores de resistencia y carga tienen que ser calibrados para proveer una adecuada seguridad bajo la inspección, mantenimiento, análisis, redundancia, y las condiciones de carga citadas. Estas provisiones tiene la capacidad para mejorar las evaluaciones utilizando opciones relacionadas con

<b>TABLA 1 Factores de carga</b>	
Carga	Factor de carga
Carga muerta	$\gamma_D = 1.2$
<p>Permitir una tolerancia adicional del 20% sobre una cubierta de espesor si el espesor nominal es usado. Ninguna tolerancia es necesaria cuando las mediciones son hechas para espesores.</p> <p>Categoría de carga viva</p>	
1. Bajo volumen de calzada (ADTT menor que 1000), razonable esfuerzo y aparente control de sobrepeso.	$\gamma_L = 1.30$
2. Alto volumen de calzada (ADTT mayor que 1000), razonable esfuerzo y aparente.	$\gamma_L = 1.45$
3. Bajo volumen de calzada (ADTT menor que 1000), fuentes significativas de obrepeso sin esfuerzos significativos.	$\gamma_L = 1.65$
4. Alto volumen de calzada (ADTT mayor que 1000), fuentes significativas de sobrepeso sin esfuerzos significativos.	$\gamma_L = 1.80$

Si no está disponible datos de tránsito. Estimaciones para ADTT pueden ser hechas a través de ADT como sigue: áreas urbanas, ADTT = 15% de ADT; áreas rurales, ADTT = 25 % de ADT. En la ausencia de datos precisos de sobrepesos, un emplazamiento puede ser asumido como un esfuerzo razonable si menos del 5% de los camiones exceden el límite local de peso bruto.

---

**TABLA 2(a) Factores de resistencia**


---

**I. Factores de resistencia - Buena condición**

Las ecuaciones de resistencia nominal son todas las indicadas en las Especificaciones Estándar para Puentes Carreteros de la AASHTO bajo las secciones de factores de diseño de carga. Los factores de resistencia ( reducción de la capacidad ) son aplicados a los siguientes casos cuando los miembros tienen una buena condición.

$\Phi = 0.95$	Miembros de acero redundantes*
$\Phi = 0.80$	Miembros de acero no redundantes
$\Phi = 0.95$	Vigas de concreto preesforzado
$\Phi = 0.95$	Vigas de concreto reforzado

**II. Influencia de deterioro**

1. Cuando la inspección de campo y reportes de estudio de condición indican ningún deterioro, las provisiones de esta sección no deben ser usadas.
2. Cuando la inspección de campo y reportes de estudio de condición indican escaso deterioro con algunas posibles pérdidas de sección, el valor del factor de resistencia puede ser decrementado por 0.1.
3. Cuando la inspección de campo y reportes de estudio de condición significan deterioro y alta pérdida de sección, el valor del factor de resistencia puede ser reducido por 0.2.
4. Si semejante información no esta disponible entonces los archivos de puente pueden ser usados. Reduzca los valores del factor de de resistencia por 0.1 para una condición de superestructura de 5 o 6. Reduzca los valores del factor de resistencia por 0.2 para una condición de superestructura de 4 o menor. Si estas reducciones son hechas entonces las siguientes dos secciones pueden ser omitidas.

**III. Inspección \*\***

1. Cuando la inspección de campo y reportes de estudio de condición indican ningún deterioro, las provisiones de esta sección no deben ser usadas.
2. Cuando la pérdida de sección ha sido cuidadosamente estimada en el cálculo de la sección restante el factor de resistencia puede ser incrementado por 0.05.
3. Cuando el esfuerzo de fluencia del material has sido estimado por pruebas físicas, un valor medio  $\times 0.90$  puede ser usado para el calculo de la resistencia junto con el factor de resistencia contenido en las reglas de diseño.

**IV. Mantenimiento\*\***

1. Cuando la actividad del mantenimiento es vigorosa y corrige deficiencias que pueden conducir a una futura pérdida de sección, incrementese  $\Phi$  por 0.05.
2. Cuando la actividad del mantenimiento es intermitente y no corrige defectos que pueden conducir a pérdida de sección, decrementese  $\Phi$  por 0.05.

---

\* Ejemplos de miembros redundates incluyen miembros horizontales largos paralelos (tres o más), barras de ojo

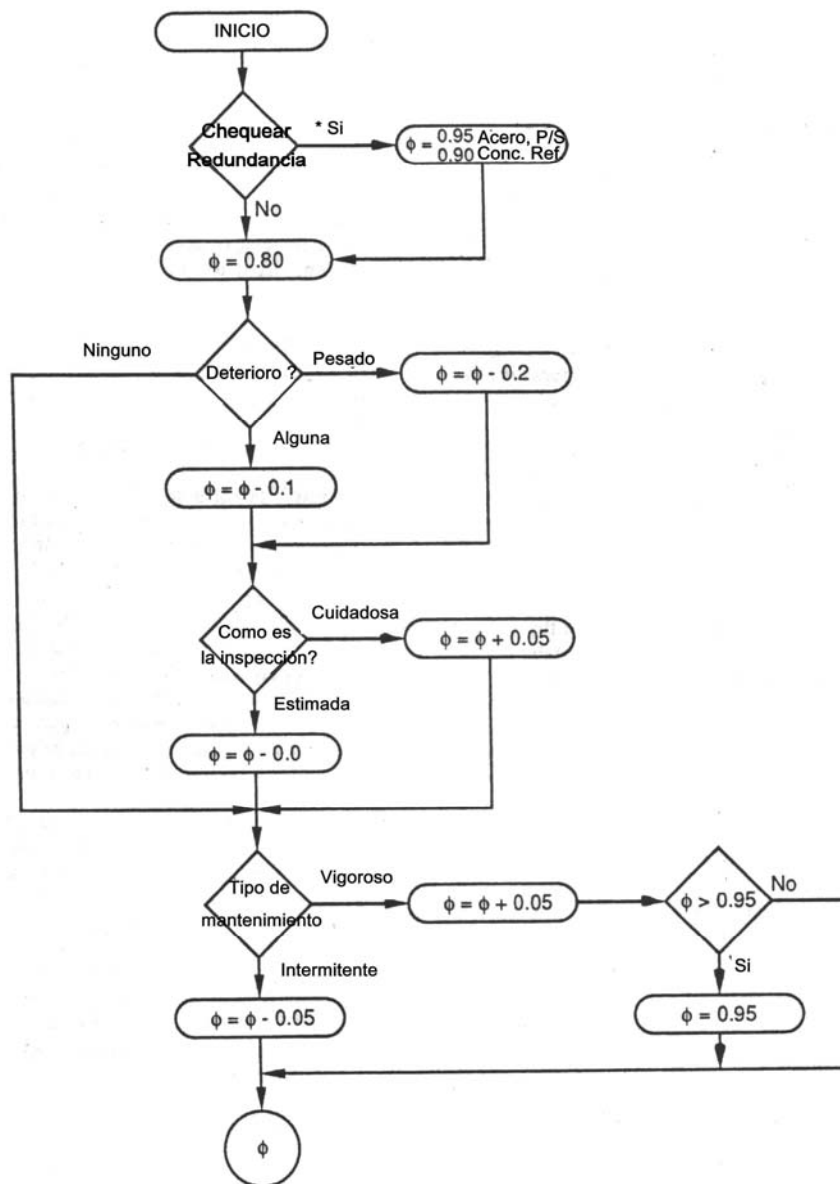
\*\* En ninguna instancia  $\Phi$  debe exceder 0.95.

**TABLA 2(b) Factores de resistencia**

Condición de la superestructura	Redundancia		Inspección	Mantenimiento	Acero, P/S Concreto	Concreto reforzado	
	Sí	No	Cuidadosa estimada	Vigorous intermitente			
Bien o justa	x		x	x		0.95	0.95
	x		x		x	0.90	0.85
	x			x	x	0.95	0.95
	x			x	x	0.90	0.85
		x	x		x	0.85	0.80
		x	x		x	0.75	0.70
		x		x	x	0.85	0.80
		x		x	x	0.75	0.70
		x		x	x	0.95	0.90
		x		x	x	0.85	0.80
Deteriorada	x		x	x		0.90	0.85
	x			x	x	0.80	0.75
		x	x		x	0.80	0.80
		x	x		x	0.70	0.70
		x		x	x	0.75	0.75
		x		x	x	0.65	0.65
		x		x	x	0.85	0.80
		x		x	x	0.75	0.70
Altamente Deteriorada	x			x	x	0.80	0.75
	x			x	x	0.70	0.65
		x	x		x	0.70	0.70
		x	x		x	0.60	0.60
		x		x	x	0.65	0.65
		x		x	x	0.55	0.55

Nota: Para rango usando datos obtenidos de planos solamente, la reducción de la capacidad debería ser calculada basada en el juicio del ingeniero soportado por cualquier información adicional obtenida.

FIGURA 3: Diagrama de flujo para seleccionar los factores de resistencia



inspecciones y mantenimientos más intensivos o el control de pesadas sobrecargas.

Los factores de rango obtenidos aquí pueden también ser aplicados en forma segura para permitir las cargas. En algunas instancias donde un permiso podría de otra manera ser rechazado, el factor de carga viva contenido aquí podría ser reducido para reflejar condiciones de peso conocidas asociadas con el vehículo permitido. Esta reducción en el factor de carga puede depender en el grado de control del permiso y el número de permisos que puede ser emitido.

**5. Condición de los miembros del puente.** La condición y la extensión del deterioro de los componentes estructurales de un puente deber ser considerados en el cálculo de la carga muerta y los efectos de carga viva cuando el esfuerzo es escogido para la evaluación a realizar y para la capacidad cuando una fuerza o momento es escogido para ser usado en la ecuación básica de rango.

El rango de un puente viejo para la capacidad portante de carga debe ser basado en investigaciones recientes de campo. Todas las características físicas de un puente que ha sufrido algún efecto en su integridad estructural debe ser examinado con una inspección rigurosa. Anote cualquier daño o deterioro de las secciones y obtenga datos adecuados de estas áreas para que dicho efecto pueda ser evaluado apropiadamente en el análisis. Cuando el acero está severamente corroído, concreto deteriorado o madera podrida, haga una determinación de la pérdida en el área de la sección transversal tan razonablemente como sea posible. Determine si agujeros profundos, desportillamientos o otros defectos existen que pueden causar áreas de concentración de esfuerzos en cualquier miembro estructural. Disminuir la capacidad de carga si está permitido o otra acción correctora pueda ser usada si semejante condición exista.

Tamaño, número, y localización relativa de tornillos y remaches a través de miembros en tensión debería ser determinado y registrados de modo que el área neta de la sección pueda ser calculada. También, en adición a la condición física, miembros continuos, semejantes a las barras de armaduras deben ser chequeadas para observar si la barra ha sido cambiada, para determinar apropiadamente el área neta. Esta información será normalmente tomada de planos cuando estén disponibles, pero puede ser determinada de otra manera en el campo. Cualquier falta de alineamiento, pandeo o retorcimiento en miembros en compresión debe ser medida cuidadosamente. Semejantes defectos tendrán un gran efecto en la capacidad portante de carga de un miembro y pueden ser el factor dominador en la capacidad portante de carga de toda la estructura. También, examine las conexiones de los miembros a compresión cuidadosamente para observar si hay detalles semejantes a excentricidades introducidas que puedan ser consideradas en el análisis estructural.

El área efectiva de un miembro a ser usada en los cálculos debe ser el área gruesa menos la porción que ha sido deteriorada, podrida o corroída. El área efectiva debe ser ajustada para los tornillos o remaches en concordancia con las especificaciones de diseño de la AASHTO.

#### **6. Puentes con componentes estructurales desconocidos.**

Para puentes redundantes cuando detalles necesarios, semejante a refuerzo en un puente de concreto, no esta disponible a través de planos o mediciones de campo, una inspección física del puente por un inspector calificado y una evaluación por un ingeniero calificado puede ser suficiente para aproximar el rango de inventario y operación. Los ensayos de carga puede ser beneficiosos en establecer la capacidad segura de carga para semejantes estructuras.

## **F. Capacidad nominal**

**1. Generalidades.** La capacidad nominal a ser usada en la ecuación de rango depende de los materiales estructurales, el método de rango y los niveles de rango usados. Las capacidades nominales basadas en el método del Esfuerzo Permitido son discutidas en la sección F.2, los basados en el Factor de Carga son discutidos en la sección F.3 y los basados en el método de Factor de Carga y Resistencia en la sección F.4.

Los propietarios de los puentes son los responsables de seleccionar el método de rango. El método usado debe ser identificado para futuras referencias.

**2. Método del esfuerzo permitido.** En el método del esfuerzo permitido, la capacidad de un miembro esta basada en el nivel de rango evaluado: Nivel de Inventario-Esfuerzo Permitido o Nivel de Operación-Esfuerzo Permitido.

Las propiedades a ser usadas para determinar la capacidad del esfuerzo permitido para diferentes materiales se presentan a continuación. Por conveniencia, las tablas proveídas, muestran apropiadamente los valores de Operación, Inventario y esfuerzos de fluencia. Esfuerzos permitidos y formulas de resistencia están proveídas a continuación o están contenidas en las Especificaciones de Diseño de la AASHTO. Cuando surgen situaciones que no están cubiertas por estas especificaciones, entonces la resistencia racional de la fórmula del material puede ser usada con datos y planos verificados en una investigación de campo. Desviaciones de las Especificaciones de Diseño de la AASHTO deben ser plenamente documentadas.

Cuando los materiales del puente o la construcción son desconocidas, el esfuerzo permitido debe ser arreglado por el ingeniero,

basado en investigaciones de campo y/o prueba de materiales y debe ser sustitutos por los esfuerzos dados acá.

**a. Acero estructural.** El esfuerzo unitario permitido usado para determinar la capacidad segura de carga depende del tipo de acero usado en los miembros estructurales. Cuando ninguna especificación de metales es encontrada, ensayos específicos pueden ser usados para determinar un punto nominal de fluencia. Cuando la información de la especificación del acero no está disponible, el esfuerzo permitido puede ser tomado de la columna llamada “Fecha de construcción” de las Tablas 3(a) y 3(b).

La Tabla 3(a) provee el esfuerzo permitido de inventario y la Tabla 3(b) el esfuerzo permitido de operación para acero estructural. El esfuerzo nominal de fluencia,  $F_y$ , es también proveído por las Tablas 3(a) y 3(b). Las Tablas 3(c) y 3(d) proveen los esfuerzos permitidos de inventario y operación para tornillos y remaches. Para miembros en compresión, la longitud efectiva (KL) puede ser determinada en concordancia con las Especificaciones de Diseño de la AASHTO o tomadas como sigue:

KL = 75% de la longitud total de una columna que  
tiene remaches en la conexión final.

= 87.5 % de la longitud total de una columna que  
tiene pines en la conexión final.

El módulo de elasticidad (E) para acero puede ser 29,000,000 lbs. por pulgada cuadrada.

Si la investigación de corte y el espaciamiento de rigidizantes son deseables, semejante investigación puede estar basada en las Especificaciones de Diseño de la AASHTO.