

Certificación ISO 9001:2008 ‡

Simulación Monte Carlo de las cargas vivas en el puente Barranca Honda para la obtención de las proyecciones estadísticas de esfuerzos y ciclos de carga

Félix Chávez Ayvar
Juan Antonio Quintana Rodríguez
Francisco Carrión Viramontes
Saúl Enrique Crespo Sánchez
Andrés Hernández Guzmán
Mario Montes Zea

**Publicación Técnica No. 387
Sanfandila, Qro, 2013**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Simulación Monte Carlo de las cargas
vivas en el puente Barranca Honda para
la obtención de las proyecciones
estadísticas de esfuerzos y ciclos de carga**

Publicación Técnica No. 387
Sanfandila, Qro, 2013

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por el M. I. Félix Chávez Ayvar, el Dr. Juan Antonio Quintana Rodríguez, el Dr. Francisco Carrión Viramontes, el M. C. Saúl Enrique Crespo Sánchez, el Ing. Andrés Hernández Guzmán y el C. Mario Montes Zea.

Se agradece la colaboración del Dr. Miguel Martínez Madrid, Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por la revisión y las facilidades para la realización del presente trabajo.

Índice

Resumen	v
Abstract	vii
Resumen ejecutivo	ix
Capítulo 1 Introducción.....	1
Capítulo 2 Marco de referencia	3
2.1 Antecedentes	3
2.2 Planteamiento del problema.....	5
2.3 Justificación.....	5
Capítulo 3 Simulación Monte Carlo	7
3.1 Metodología.....	8
3.2 Análisis estadístico de puentes	9
3.2.1 Cantidad de puentes por estados.....	10
3.2.2 Cantidad de puentes según el material utilizado	10
3.2.3 Cantidad de puentes de acero por estados.....	12
3.2.4 Características del puente Barranca Honda.....	13
3.3 Análisis estadístico del flujo de vehículos del puente Barranca Honda	14
3.3.1 Probabilidad de ocupación de vehículos sobre el puente	15
3.4 Análisis estadístico de pesos de vehículos	16
3.4.1 Distribución estadística del peso de vehículos	18
3.4.1.1 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos C2	18
3.4.1.2 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos C3	19
3.4.1.3 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos T3-S2	20
3.4.1.4 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos T3-S3	21
3.4.1.5 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos T3-S2-R4.....	22
3.5 Programa Monte Carlo	24

Capítulo 4	Simulación del puente Barranca Honda	29
4.1	Geometría del puente Barranca Honda.....	29
4.2	Modelo en StaDyn del puente Barranca Honda.	32
4.3	Calibración del modelo de elementos finitos del puente Barranca Honda	33
Capítulo 5	Distribución de esfuerzos y ciclos de carga del puente Barranca Honda	37
5.1	Deformaciones y esfuerzos promedio del puente Barranca Honda.	37
5.2	Esfuerzo del puente utilizando cargas AASHTO.	43
5.3	Ciclos de carga presentes y futuros del puente Barranca Honda.	45
5.4	Distribuciones estadísticas de esfuerzos del puente Barranca Honda.	46
5.5	Desempeño del puente Barranca Honda.	51
Capítulo 6	Conclusiones.....	55
Bibliografía	57
Anexo 1	Programa: Probabilidad de ocupación del número de vehículos sobre el puente Barranca Honda (Fortran).....	59
Anexo 2	Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos.	61
Anexo 3	Programa de simulación Monte Carlo.	65

Resumen

Se presenta una metodología para predecir la distribución estadística de los esfuerzos máximos en los componentes estructurales de un puente ocasionados por el incremento de tráfico vehicular. Estas predicciones permiten comparar los efectos de estas solicitaciones con los límites de resistencia establecidos por los códigos de diseño de puentes y estimar, a lo largo del periodo de análisis, la probabilidad de que se excedan estos límites. La metodología se aplica y ejemplifica con el puente Barranca Honda, que es un puente “tipo” que cuenta con atributos representativos de los puentes con superestructura de acero y losa de concreto reforzado de la Red Federal de Carreteras de México.

Los resultados muestran la factibilidad de aplicar el procedimiento y predecir la confiabilidad estructural del puente bajo distintos escenarios de crecimiento del tráfico. Por último, la metodología se puede completar con modelos de deterioro estructural para refinar la predicción del comportamiento estructural del puente.

Abstract

This work presents a methodology to predict the maximum stress statistical distributions of structural components of a highway bridge due to traffic growth. These predictions can be compared with the resistance limits specified in the design codes of bridges, and it is possible to calculate, along a predefined period of analysis, the probability to exceed these limits.

The methodology is applied and demonstrated with the Barranca Honda Bridge, which is a “type” bridge that represents steel structures with reinforced concrete decks in the Mexican highways. Results show the viability of the method and that it can be used to predict the structural reliability under different traffic growth rates.

Resumen ejecutivo

En México, poco más del 60% de los puentes carreteros cuenta con más de 30 años de servicio. Por otro lado, en los códigos de diseño de este tipo de estructuras es considerada la influencia de un vehículo de diseño para su análisis, sin embargo, la evolución en el diseño de los vehículos de carga plantea autos con capacidades de carga cada vez mayores a las establecidas en los códigos de diseño de estos sistemas, lo cual, aunado a la lucrativa tentativa de los transportistas por sobrecargar los vehículos, magnifica la probabilidad de alcanzar en algún momento estados límite de resistencia en este tipo de sistemas estructurales.

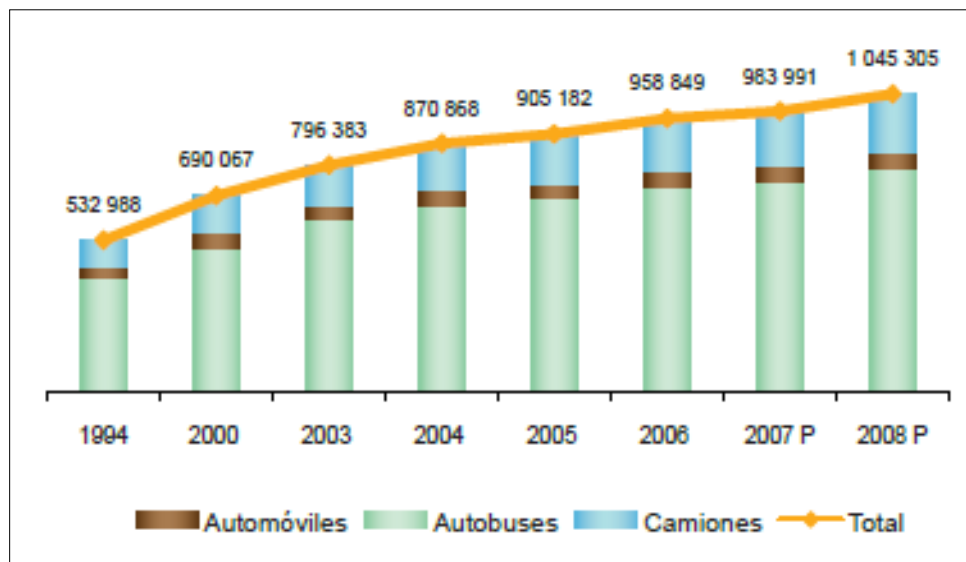
Una posible explicación de la operación funcional de los puentes en la actualidad, a pesar de los factores adversos antes descritos, se da argumentando que la mayoría de ellos fueron diseñados con criterios de diseño conservadores (diseños elásticos); no obstante, es claro el riesgo que existe en su integridad de seguir aumentando el flujo vehicular y la capacidad de carga de los vehículos que circulan sobre ellos. Un factor adicional que influye en el operatividad, es el rezago en la conservación de la infraestructura que afecta directamente en el deterioro físico de los mismos (Crespo, 2011).

Debido a lo anterior, en el presente estudio se analiza la evolución en el tiempo de los niveles de esfuerzo en los elementos de la superestructura del puente Barranca Honda situado en la carretera federal 136 Calpulalpan – Texcoco, km 32.4, en los límites entre el Estado de México y Tlaxcala (puente metálico de cuatro claros conformados por elementos de acero). Para realizar el estudio se simularon escenarios de carga por efecto del tránsito vehicular proyectados a 10, 20 y 30 años con base en la información de tránsito vehicular y pesos obtenidos en estudios realizados por el Instituto Mexicano del Transporte (Gutiérrez, 2003), y se compararon con la resistencia de diseño de la estructura, basada en el vehículo de diseño establecido por las especificaciones del código AASHTO 2007.

1 Introducción

Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales como vías férreas o carreteras para transportar mercancías y permitir la circulación de personas de un sitio a otro.

El incremento en las necesidades de transporte de productos, reflejo del crecimiento económico del país, ha propiciado el desarrollo de vehículos cada vez más pesados para maximizar ganancias operando camiones con mayor peso, este mismo desarrollo económico se refleja en el incremento del parque vehicular; por ejemplo, en los últimos 35 años el número de habitantes y la longitud de la red de carreteras se han triplicado, en tanto que el número de vehículos se ha multiplicado por veinticinco (Barousse y Galindo, 1994). En la figura 1.1 se observa un incremento cercano al doble del tránsito diario promedio anual registrado en las autopistas de cuota en el periodo de 1994-2008.



Fuente: SCT. Principales estadísticas del sector comunicaciones y transportes. 2009

Figura 1.1 Tránsito diario promedio anual registrado en las autopistas de cuota

Actualmente, las condiciones de carga a las que son sometidos los puentes han cambiado, lo que ha ocasionado que la vida útil de los puentes existentes en la red carretera federal se reduzca en relación al período de uso para el que fueron diseñados, por lo que para mantener sus niveles de seguridad y operatividad, se requieren inversiones significativas.

Ante la inquietud de los cambios en la composición del tránsito vehicular, el peso y la cantidad de vehículos que circula por la red federal carretera, en este trabajo se desarrolló una metodología utilizando simulación Monte Carlo y análisis por elementos finitos para analizar los esfuerzos originados por las cargas vivas que circulan actualmente y en un plazo de 30 años. Para generar las proyecciones en el tiempo del tránsito vehicular se seleccionaron varias tasas de crecimiento anual con el objetivo de analizar el desempeño estructural de los puentes en el futuro.

La metodología se fundamenta en la calibración dinámica de un modelo matemático por elementos finitos, la generación de las distribuciones estadísticas de la composición vehicular, el peso vehicular, el porcentaje de ocupación en un puente dado y un algoritmo para generar escenarios aleatorios utilizando Simulación Monte Carlo y obtener las distribuciones estadísticas de los esfuerzos principales en los elementos estructurales del puente.

La metodología propuesta se probó con el Puente Barranca Honda, el cual es un puente de estructura metálica situado en la carretera federal 136 Calpulalpan – Texcoco, km 32.4, en los límites entre el Estado de México y Tlaxcala. La superestructura del puente está formada por dos vigas principales IPR de acero unidas por travesaños de acero, tiene cuatro claros de 51 m y está soportado por columnas de concreto (figura 1.2).



Figura 1.2 Puente Barranca Honda

2. Marco de referencia

2.1 Antecedentes

La construcción de caminos en México se inicia con la creación de la Comisión Nacional de caminos en 1925. Esta Comisión, en 1932, transformó en la Dirección nacional de caminos (DNC), dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (S.C.O.P.), y, posteriormente, la DNC se extendió formándose varias Direcciones Generales (de Carreteras Federales, de Cooperación, de Conservación, entre otras) incorporadas a la Secretaría de Obras Públicas (S.O.P.) posteriormente, a la de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) y, actualmente, a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (Fossas, 1991).

En las carreteras federales mexicanas, según el censo del SIPUMEX de 1995 (figura 2.1), se tenían 6324 puentes, con una longitud total de 214,638 m, distribuidos de la siguiente manera: 150 con superestructura de acero, 4843 de concreto reforzado, 518 puentes mixtos (concreto reforzado y acero), 654 de concreto presforzado, 60 puentes de estructura espacial (tridilosa) y 99 de mampostería.

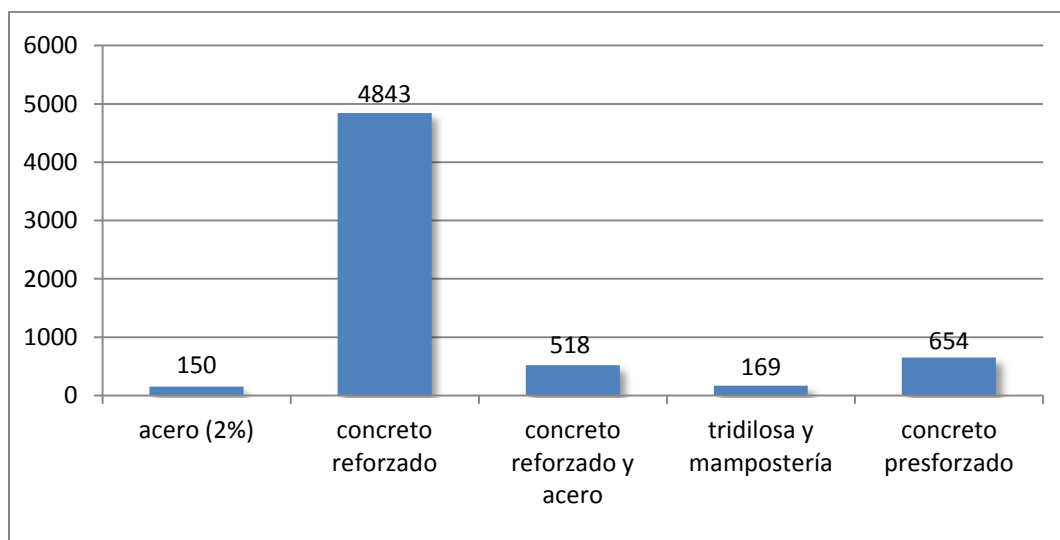


Figura 2.1 Distribución, por tipo de puente, para la Red Federal de Carreteras de México (SIPUMEX)

En 1982, se levantó un inventario de los puentes de la red federal que incluía una evaluación de sus condiciones. Posteriormente, se establecieron residencias de conservación de puentes en la mayor parte de los estados y se llevaron a cabo

numerosas obras de reparación y modernización de puentes. Estas tareas fueron, en buena parte, impulsadas por la ocurrencia de algunos colapsos de puentes debido tanto a sobrecargas excesivas como a mal estado físico (Carrión et al 2006).

Por otra parte, es importante señalar que existen numerosos puentes en las redes estatales de caminos alimentadores y de los puentes de los caminos rurales que se encuentran desprotegidos, porque las entidades que los administran, quizá por la carencia de recursos, no han realizado todavía acciones sustantivas para su conservación y rehabilitación.

Aunque estos puentes soportan, en general, volúmenes de tránsito mucho menores que los de la red troncal, muchos de ellos tienen una gran antigüedad y un deterioro severo como consecuencia de una escasa o nula conservación, por lo que constituyen un grave peligro para la seguridad pública. A estas obras desprotegidas deben sumarse muchos puentes dispersos por todo el país, contruidos por municipios de escasos recursos o por particulares, que constituyen un riesgo mayor ya que, en muchos casos, a un deficiente estado de conservación se suma una condición original defectuosa por haber sido diseñados y contruidos con graves carencias de tecnología (Barousse y Galindo, 1994).

En 1990 y 1991, ocurrieron dos colapsos de puentes que pudieran atribuirse a excesos de carga viva: uno, en la población de Texmelucan, de la carretera libre México-Puebla y, otro, en el camino Jalpa-Guadalajara, en el Estado de Zacatecas; sin embargo, la superestructura de ambos puentes eran del tipo Pony (ver figura 2.2), con elementos estructurales arriba de la calzada y expuestos a daños por choques de vehículos; por lo tanto, es probable que algunos elementos estructurales de estos puentes ya estaban fuertemente golpeados y/o deformados antes del colapso (Fossas, 1991).



Figura 2.2 Armadura metálica tipo pony

2.2 Planteamiento del problema

En México los puentes se construyeron en su mayoría hace 40 años (ver figura 2.3), buena parte de éstos fueron diseñados con las cargas correspondientes al vehículo H-15, definido por versiones -ya no vigentes- del reglamento AASHTO, que consideraba un peso bruto vehicular de 13.7 ton (cargas de 2.7 ton para el eje delantero y 11.0 ton para el eje trasero).

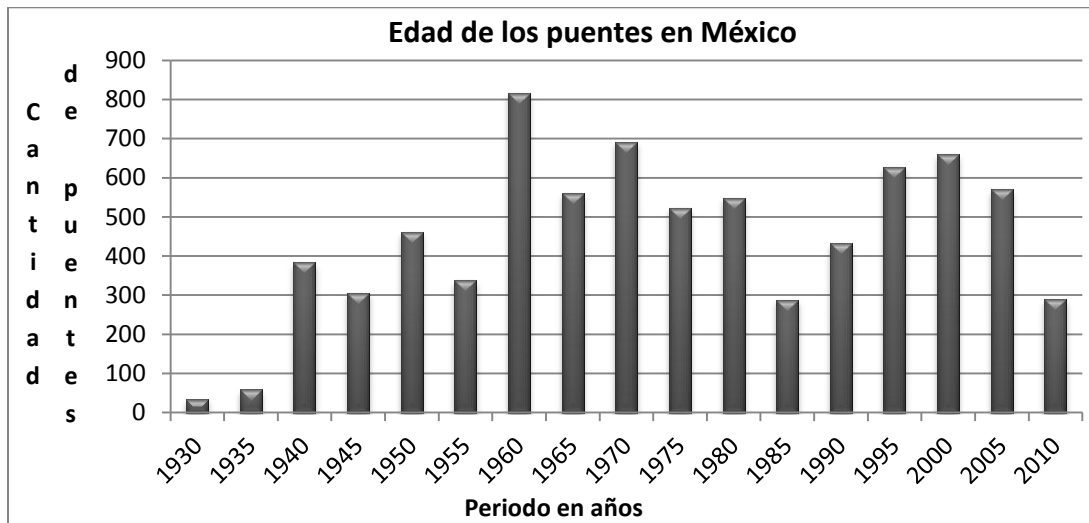


Figura 2.3 Edad de los puentes en México

Hoy en día, circulan por puentes mexicanos vehículos que superan dichas cargas; por ejemplo, un camión T3-S3 tiene un peso vehicular autorizado de 48 ton (SCT, 2008). Por otra parte, las cargas autorizadas para los vehículos por los reglamentos mexicanos son rebasadas hasta en un 50%. En IMT se tienen registros de pesajes de vehículos, por ejemplo el tractocamión T3-S3, que circula sobrecargado hasta con 73. 889 ton. Así también, el volumen del tránsito ha aumentado y, además, debe considerarse que los puentes envejecen y se deterioran demeritando las propiedades mecánicas por lo que se requiere realizar estudios para evaluar el desempeño estructural actual de los puentes.

2.3 Justificación

Las vías de comunicación son parte fundamental en el crecimiento económico de un país, los puentes son parte importante de la red de carreteras, de acuerdo al censo de SIPUMEX (1995), se tenían más de 6000 en las carreteras federales y 2000 en las carreteras concesionadas (Carrión et al, 2006).

Los puentes Mexicanos se construyeron -en su mayoría- hace 40 años, desde entonces los códigos de diseño han cambiado, así como el volumen y tamaño del tránsito. Esta situación, sumada al deterioro causado por agentes como cambios de temperatura, intemperismo, humedad, colisiones de automóviles, entre otros,

ha ocasionado que la vida útil de los puentes existentes en la red carretera federal se haya reducido en relación al período de uso para el que fueron diseñados.

Debido a que las cargas para vehículos autorizadas por los reglamentos actuales han sido modificados hacia el incremento y, a menudo, no son respetadas, es necesario analizar y revisar el estado de los puentes utilizando cargas reales de servicio, tomando en cuenta el flujo vehicular a que es sometido el puente en lo particular.

3 Simulación Monte Carlo

El nombre y desarrollo sistemático de las técnicas de Monte Carlo se inician aproximadamente en 1943, los orígenes de este método están ligados al trabajo desarrollado por Stan Ulam y John Von Neumann, en el laboratorio los Álamos, ubicado en Nuevo México, Estados Unidos (Luthe y Shutz, 1985).

Durante la Segunda Guerra Mundial, y específicamente en la construcción de reactores nucleares, se presentó el problema de difusión de neutrones a través de diversos materiales. Debido al carácter tan complejo del problema, no se pudo dar una respuesta directa. Por un lado, la solución experimental resultaba demasiado costosa y llevaba mucho tiempo. Por otra parte, se conocían las distancias promedio que recorre un neutrón de velocidad dada dentro de una sustancia antes de chocar con un núcleo.

Se sabía la probabilidad de que el neutrón fuera rechazado por el núcleo y se conocía la energía que probablemente perdería el neutrón después del choque. Sin embargo, no fue posible unir todas estas consideraciones en una fórmula práctica para predecir el resultado de una secuencia completa de tales eventos. Para resolver este problema, J. Von Neumann y S. Ulam, propusieron un método en el cual las probabilidades de los eventos separados se combinaban paso a paso en un modelo total que proporcionaban una solución, que si bien es aproximada, permitió resolver el problema. Esta técnica recibió el nombre clave de Monte Carlo y a partir de entonces se ha hecho un amplio uso de la misma.

Después de la Segunda Guerra Mundial, una de sus primeras aplicaciones se tuvo en la solución de ecuaciones integrales lineales. Otras aplicaciones se tuvieron en la resolución de ecuaciones de diferencias asociadas con ecuaciones diferenciales parciales elípticas, así como en problemas de mecánica estadística.

La simulación Monte Carlo es un método de simulación estadística, lo que implica la utilización de una secuencia de números aleatorios para realizar la simulación, emulando numéricamente un sistema real mediante un modelo matemático.

El proceso físico se simula directamente y no se requiere escribir las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del sistema. El requisito único es que el sistema físico o matemático sea descrito por funciones de densidad de probabilidad (Samayoa, 2006).

Una vez que es conocida la función de probabilidad, la simulación Monte Carlo puede efectuarse mediante un muestreo aleatorio a partir de la función de densidad de probabilidad.

Luego se efectúan varias simulaciones. De ahí que sea un proceso computacional que utiliza números aleatorios para derivar una salida, por lo que en vez de tener entradas con puntos dados, se asignan distribuciones de probabilidad a alguna o a todas las variables de entrada; esto generará una distribución de probabilidad para una salida.

Una vez identificadas dichas entradas, se lleva a cabo un experimento consistente en generar, con ayuda de una computadora, muestras aleatorias para dichas entradas, y analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir n veces este experimento, se dispondrá de n observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual será de utilidad para entender el funcionamiento del mismo, el análisis es más preciso cuanto mayor es el número de experimentos que se lleven a cabo.

3.1 Metodología

El análisis del comportamiento estructural del puente fue realizado a través de una metodología para obtener estados de esfuerzo provocados por diferentes escenarios de carga viva mediante simulación Monte Carlo. La metodología parte de la calibración dinámica de un modelo de elemento finito a través de pruebas dinámicas, posteriormente, utilizando información estadística de pesos, configuración vehicular, ocupación del puente, se generan escenarios de carga viva, los cuales modifican las condiciones de carga en un modelo estructural para realizar un análisis por elementos finitos y determinar el estado de esfuerzos de cada evento simulado, a continuación, se calculan las distribuciones estadísticas de los esfuerzos producto de los eventos de carga para cada elemento estructural y se verifica respecto al estado límite establecido por los códigos de diseño. En la figura 3.1 se muestra un diagrama de bloques de la metodología de simulación Monte Carlo empleada.

La primera fase del proyecto consistió en seleccionar un puente de la base de datos del SIPUMEX, el objetivo fue seleccionar una estructura que representará a los puentes con súper estructura metálica del conjunto de este tipo de puentes, ya que otros estudios en diferentes proyectos del IMT consideraron estructuras de concreto reforzado y pre-esforzadas con los cuales se abarca más del 80% del total de puentes.

En una segunda fase se estableció la demanda del puente por carga viva ocasionada por tránsito vehicular, para lo cual se analizaron videos del flujo vehicular en el puente, con la finalidad de determinar el porcentaje de ocupación por carril, la probabilidad de ocupación vehicular y el tipo de vehículos que circulan sobre el puente; por otra parte se analizaron las estadísticas del peso de los vehículos para determinar las funciones de densidad de probabilidad por tipo de vehículo.

En una tercera fase se desarrolló y calibró mediante pruebas dinámicas un modelo de elementos finitos del puente Barranca Honda, el modelo de elementos finitos

obtiene las variables de entrada de la fase anterior para simular escenarios reales, y de esta forma, con los datos de salida de cada simulación, se determinan las distribuciones de esfuerzos presentes y futuros en el puente.

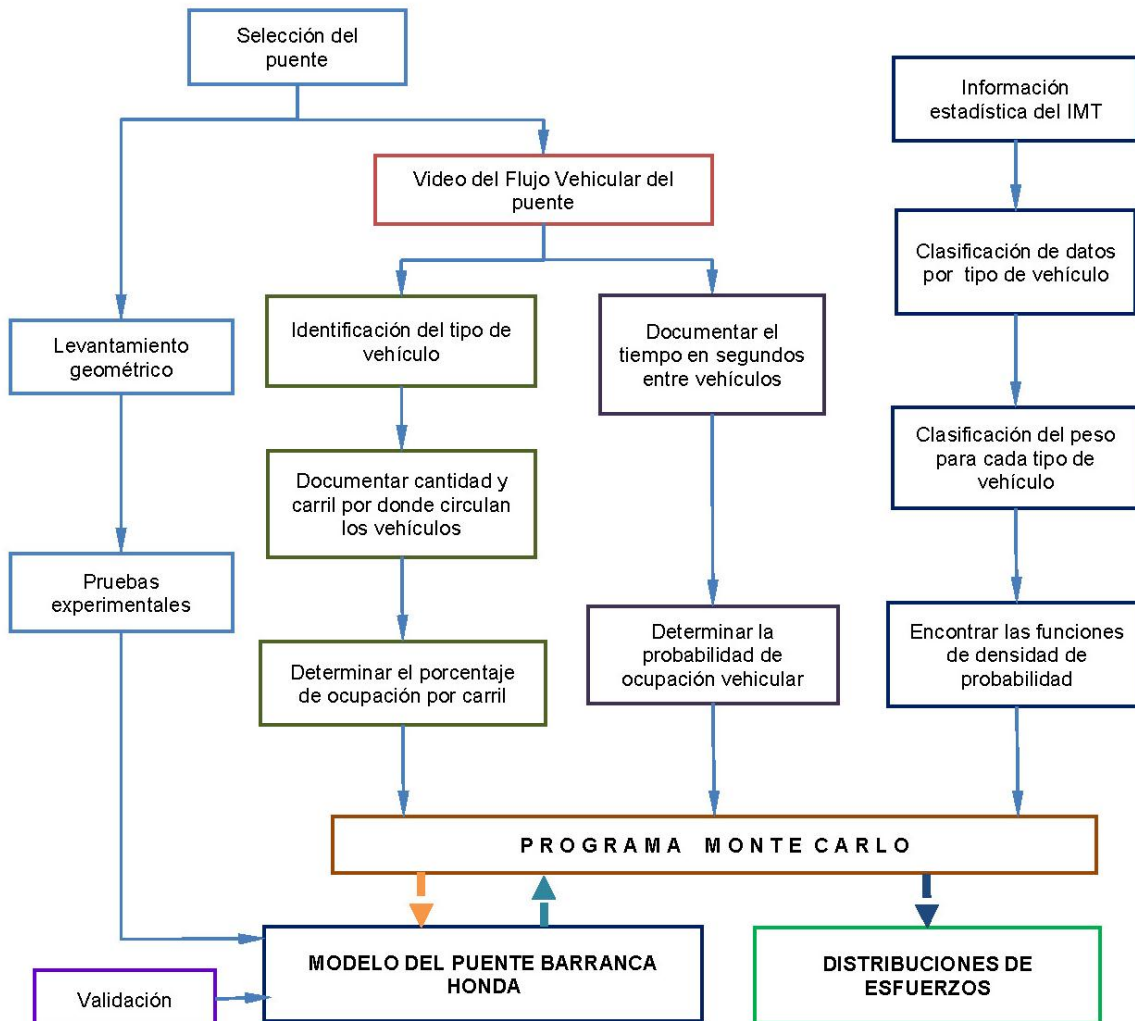


Figura 3.1 Diagrama de la metodología del proyecto

3.2 Análisis estadístico de puentes

El estudio está basado en información estadística del censo de 2010 de SIPUMEX (Sistema de Puentes en México), perteneciente a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la base de datos consta de 7 605 puentes, donde se detallan datos tales como el estado de la República donde está construido, el tramo carretero, tipo de puente, año de construcción, año de reconstrucción, número de claros, materiales utilizados, longitud total, ancho de calzada, ancho total, entre otros.

3.2.1 Cantidad de puentes por estados

En la tabla 3.1 se enlistan la cantidad y el porcentaje de puentes por estados, de los cuales destaca el estado de Michoacán con la mayor cantidad, seguido por el estado de Oaxaca. En la figura 3.2 se observa gráficamente la información referida.

Tabla 3.1 Cantidad y porcentaje de puentes por estados

Ubicación (Estado)	Cantidad de puentes	%	Ubicación (Estado)	Cantidad de puentes	%
Aguascalientes	79	1.04	Nayarit	130	1.71
Baja California	125	1.64	Nuevo León	331	4.35
Baja California Sur	130	1.71	Oaxaca	457	6.01
Campeche	80	1.05	Puebla	149	1.96
Coahuila	350	4.60	Querétaro	83	1.09
Colima	87	1.14	Quintana Roo	35	0.46
Chiapas	412	5.42	San Luis Potosí	334	4.39
Chihuahua	363	4.77	Sinaloa	275	3.62
Durango	273	3.59	Sonora	434	5.71
Guanajuato	261	3.43	Tabasco	97	1.28
Guerrero	416	5.47	Tamaulipas	407	5.35
Hidalgo	267	3.51	Tlaxcala	203	2.67
Jalisco	271	3.56	Veracruz	416	5.47
Estado de México	280	3.68	Yucatán	24	0.32
Michoacán	490	6.44	Zacatecas	242	3.18
Morelos	104	1.37			

3.2.2 Cantidad de puentes según el material utilizado

En la tabla 3.2 se puede observar la cantidad de puentes que existen en las carreteras mexicanas hasta el año 2010 de acuerdo al material utilizado en su construcción, esta información se puede observar gráficamente en la figura 3.3. Los principales materiales utilizados son mampostería, acero, concreto reforzado y concreto presforzado.

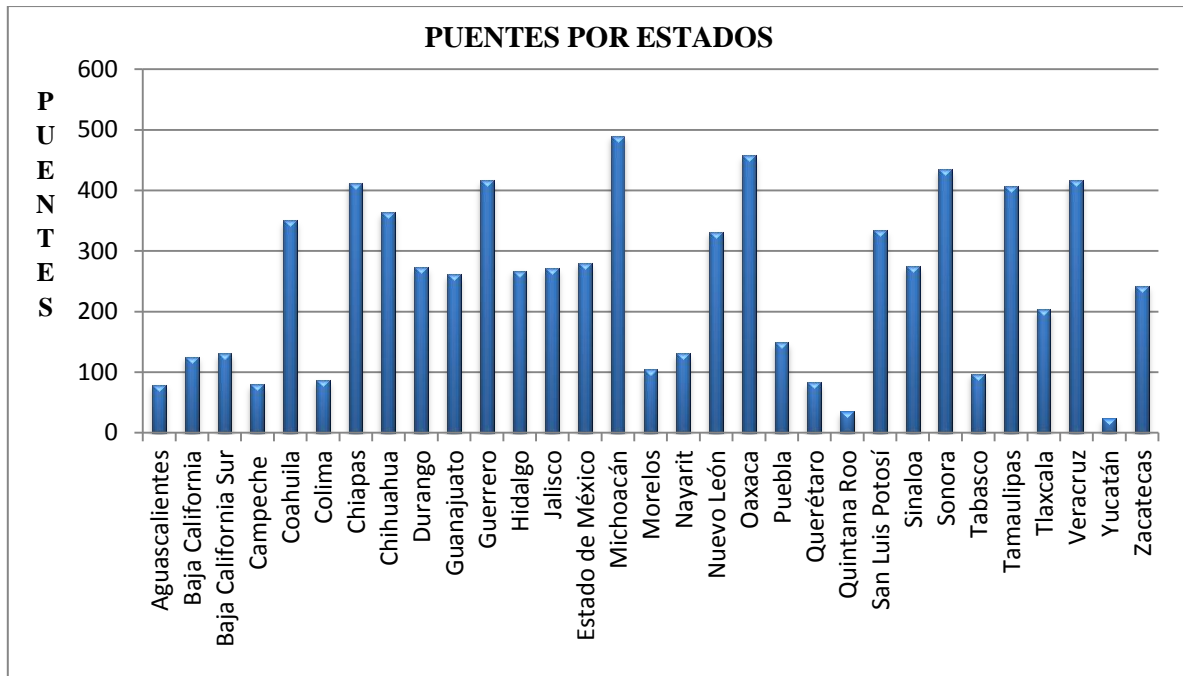


Figura 3.2 Cantidad de puentes por estados

Tabla 3.2 Materiales de puentes

Material	Clave	No. Puentes
Concreto reforzado, in situ	20	4360
Concreto presforzado, prefabricado	31	916
Concreto presforzado & in situ	41	694
Acero	50	254
Concreto presforzado, in situ	30	206
Concreto reforzado, prefabricado	21	183
Concreto reforzado & in situ	40	100
Concreto y acero	42	704
Mampostería	60	91
Tridilosa	10	39
Otro	90	27
Tridilosa / Viga	11	2
Concreto presforzado en secciones	32	20
Desconocido	92	1

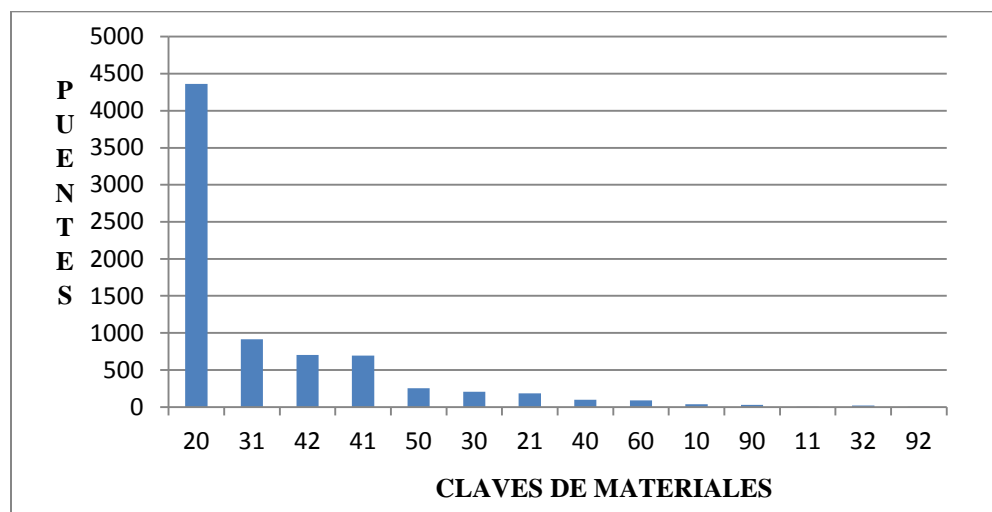


Figura 3.3 Cantidad de puentes según el material

3.2.3 Cantidad de puentes de acero por estados

Este proyecto tiene como objetivo analizar los puentes de estructura de acero, a continuación en la figura 3.4. se muestran la cantidad de puentes de acero por cada estado, las entidades que tienen más puentes metálicos son Nuevo León y Edo. de México.

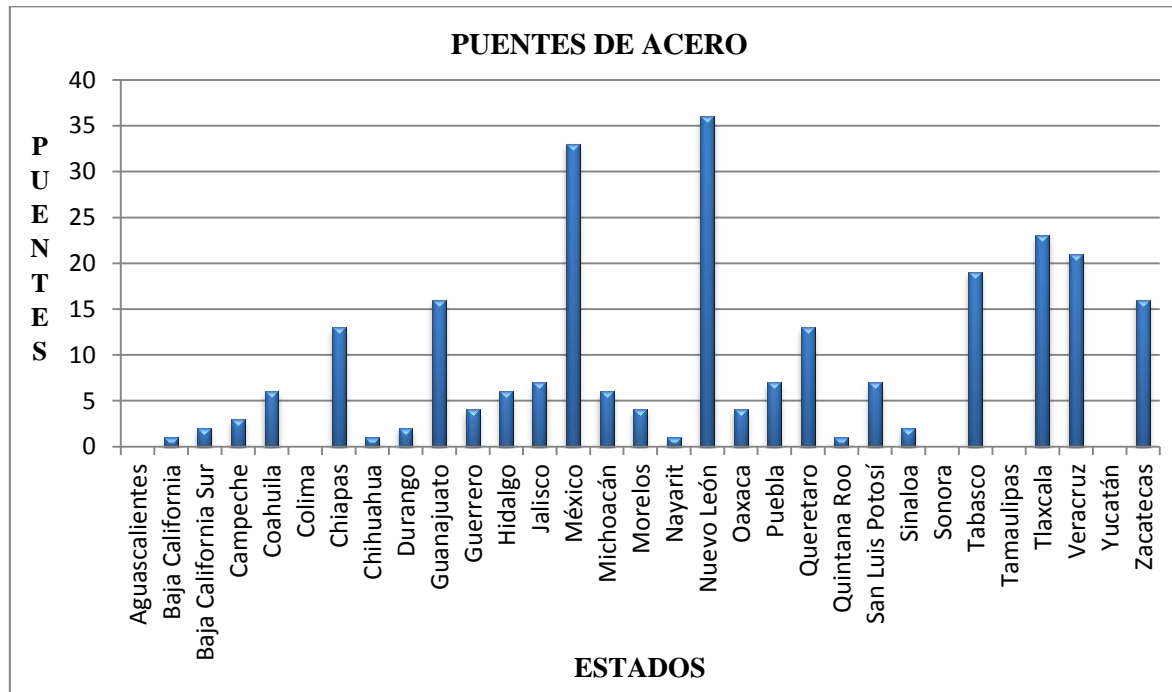


Figura 3.4 Puentes de acero por estados

3.2.4 Características del puente Barranca Honda

El puente de estructura de acero, seleccionado para analizar en este proyecto, está ubicado en los límites del Estado de México y Tlaxcala, en la carretera federal 136 Texcoco – Calpulalpan km. 32.4, la superestructura está formada por dos vigas IPR principales de acero de 2.5 m de peralte interior y un ancho de patín de 90 cm, el puente está soportado por tres columnas de concreto de 11 m de alto (figura 3.5).

Datos del puente:

- Longitud total: 204 m
- Altitud: 2461 msnm
- Número de claros: 4
- Dimensión del claro: 51 m
- Número de carriles: 4
- Ancho de calzada: 11 m
- Año de construcción: 1 996

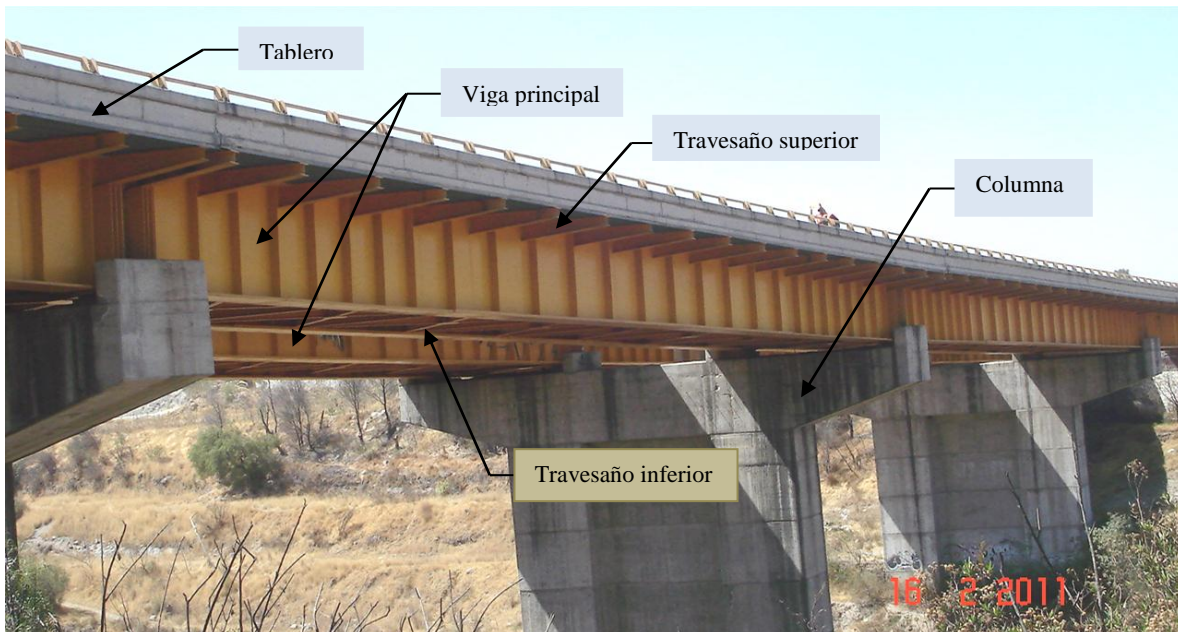


Figura 3.5 Puente Barranca Honda

En la figura 3.6 se muestra la ubicación del puente marcado con el símbolo★, sobre la carretera federal Texcoco – Calpulalpan, cerca de las ciudades Texcoco de mora y Chiconcuac de Juárez.



Figura 3.6 Ubicación del puente Barranca Honda

3.3 Análisis estadístico del flujo de vehículos del puente Barranca Honda

Para obtener información de la composición vehicular y la geometría de los componentes estructurales se realizó una vista en campo del puente Barranca Honda, durante la cual se tomaron dos videos de 1.5 h. De los videos se identificó el tipo de vehículo y la cantidad de vehículos que circulan en cada uno de los cuatro carriles del puente y el porcentaje de ocupación en un instante dado. Los resultados de la composición vehicular por carril, en las direcciones Calpulalpan y Texcoco, se muestran en las tablas 3.3 y 3.4, respectivamente.

Tabla 3.3 Porcentaje de ocupación del puente Barranca Honda, dirección Calpulalpan

Carril de baja			Carril de alta		
Vehículo	Cantidad	%	Vehículo	Cantidad	%
Ligeros	206	54.641 930 98	Ligeros	348	76.148 796 5
C2	52	13.793 103 4	C2	15	3.282 275 71
C3	26	6.896 551 72	C3	8	1.750 547 05
T3-S2	67	17.771 883 3	T3S2	59	12.910 284 5
T3-S3	16	4.2440 318 3	T3S3	19	4.157 549 23
T3-S2-R4	10	2.652 519 89	T3S2R4	8	1.750 547 05
Total	377	100	Total	457	100

Tabla 3.4 Porcentaje de ocupación del puente Barranca Honda, dirección Texcoco

Carril de baja			Carril de alta		
Vehículo	Cantidad	%	Vehículo	Cantidad	%
Ligeros	199	57.514 450 9	Ligeros	251	86.551 724 1
C2	28	8.092 485 55	C2	14	4.827 586 21
C3	18	5.202 312 14	C3	7	2.413 793 1
T3-S2	65	18.786 127 2	T3S2	14	4.827 586 21
T3-S3	16	4.624 277 46	T3S3	3	1.034 482 76
T3-S2-R4	20	5.780 346 82	T3S2R4	1	0.344 827 59
Total	346	100	Total	290	100

3.3.1 Probabilidad de ocupación de vehículos sobre el puente Barranca Honda

Basado en los datos obtenidos de los videos del flujo vehicular del puente Barranca Honda, se diseñó un algoritmo, ver anexo 1, para calcular la probabilidad de ocupación del número de vehículos sobre el puente, los resultados obtenidos son mostrados en las tablas 3.5 y 3.6, para la dirección Calpulalpan y Texcoco respectivamente.

Tabla 3.5 Probabilidad de ocupación de vehículos sobre el puente, dirección Calpulalpan

Probabilidad	% video 1	% video 2	Promedio
Cero vehículos	50.055 27	48.967 44	49.511 3
Un vehículo	36.109 07	34.139 53	35.124 3
Dos vehículos	11.201 18	13.320 93	12.261 0
Tres vehículos	2.431 84	2.995 35	2.713 5
Cuatro vehículos	0.165 81	0.390 70	0.278 2
Cinco vehículos	0.036 85	0.130 23	0.083 5
Seis vehículos	0.000 00	0.055 81	0.027 9

Tabla 3.6 Probabilidad de ocupación de vehículos sobre el puente, dirección Texcoco

Probabilidad	% video 1	% video 2	Promedio
Cero vehículos	59.649 12	61.390 75	60.519 9
Un vehículo	30.328 48	26.976 14	28.652 3
Dos vehículos	8.044 05	8.799 40	8.421 7
Tres vehículos	1.661 07	2.013 42	1.837 2
Cuatro vehículos	0.242 63	0.689 78	0.466 2
Cinco vehículos	0.074 65	0.130 50	0.102 5

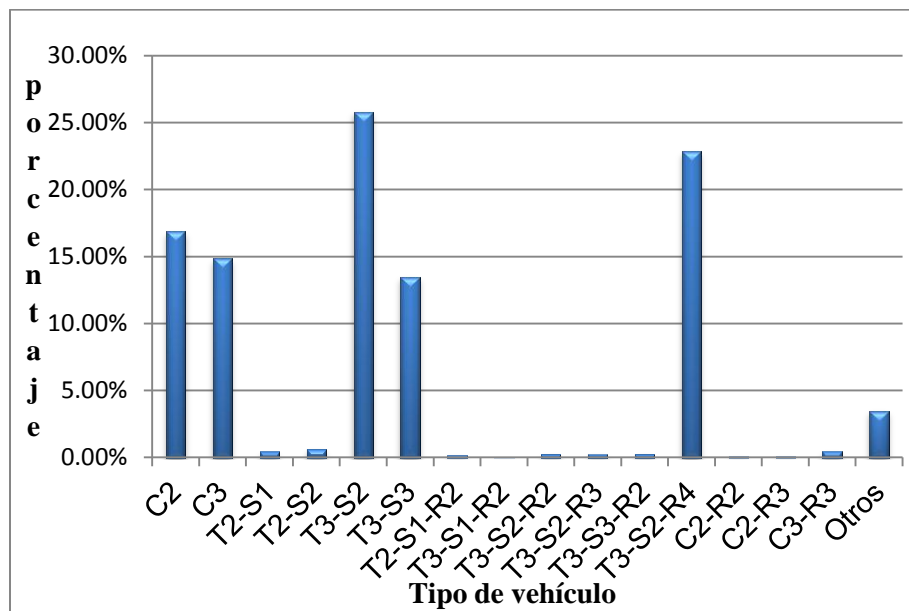
3.4 Análisis estadístico del peso de vehículos

Finalmente, se realizó con base en la información proporcionada por el Instituto Mexicano del Transporte, [datos estadísticos de carga de los vehículos pesados compilada en el Estudio “*Análisis Estadístico de la Información Recopilada en las Estaciones Instaladas en el 2002*” (Gutiérrez, 2003)] las distribuciones estadísticas del peso vehicular por tipo de vehículo; la muestra utilizada consta de 5400 vehículos pesados en la caseta de Sayula.

En la tabla 3.7 y la figura 3.7 muestran la cantidad y el porcentaje de los tractocamiones, en éstas se puede observar que cinco tipos de camiones destacan (C2, C3, T3-S2, T3-S3 Y T3-S2-R4), con porcentajes que oscilan entre 13.46 y 25.81, los cuales sumados representan el 93.85% del total del tránsito vehicular que circula por ese punto, el resto de las configuraciones tienen un porcentaje menor al 1%. Para este estudio los vehículos que circulan sobre el puente Barranca Honda fueron agrupados en estos cinco grupos con mayor porcentaje. Por consiguiente, los tractocamiones que se utilizaron en el programa de simulación Monte Carlo son los tipos C2, C3, T3-S2, T3-S3 y T3-S2-R4.

Tabla 3.7 Composición del tránsito de vehículos pesados

Tipo de vehículo	Cantidad	Porcentaje
C2	924	16.88%
C3	812	14.83%
T2-S1	23	0.42%
T2-S2	34	0.62%
T3-S2	1413	25.81%
T3-S3	737	13.46%
T2-S1-R2	10	0.18%
T3-S1-R2	2	0.04%
T3-S2-R2	14	0.26%
T3-S2-R3	13	0.24%
T3-S3-R2	14	0.26%
T3-S2-R4	1252	22.87%
C2-R2	6	0.11%
C2-R3	6	0.11%
C3-R3	25	0.46%
Otros	190	3.47%
Total	5475	1

**Figura 3.7 Composición de tránsito en la caseta de Sayula**

3.4.1 Distribución estadística del peso de vehículos

Con la información de los datos estadísticos de carga de los vehículos pesados compilada en el estudio “*Análisis Estadístico de la Información Recopilada en las Estaciones Instaladas en el 2002*” Se obtuvieron las funciones de densidad de probabilidad para los tractocamiones C2, C3, T3-S2, T3-S3 Y T3-S2-R4, el tipo de función que se seleccionó está bajo los criterios de chi cuadrada, la cual cumple con una menor diferencia entre su desviación estándar y la desviación estándar de los datos de entrada. Las distribuciones estadísticas obtenidas se utilizan en el programa de simulación Monte Carlo como variables de entrada.

3.4.1.1 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos C2

El peso bruto vehicular máximo permitido para este tipo de camión, por la norma de pesos y dimensiones máximas (NOM-012-SCT-2-2008), es 17 500 kg. La muestra analizada constó de 924 vehículos, cantidad que representa el 16.88% del total de vehículos C2 que circularon durante la evaluación. De los 924 vehículos, 417 camiones no tenían carga y registraron un peso promedio de 4430.06 kg, mientras que en el restante de los vehículos C2 con carga se observó que 502 no excedieron lo establecido en la norma y que solo 5 camiones registraron sobrepeso, siendo el peso máximo registrado de 20 847 kg, el cual representa un valor 19.12% superior al permitido.

En la figura 3.8 se observa la función de densidad de probabilidad del peso de vehículos C2 (*Extvalue* (7 229.2; 2 857)) obtenida de la muestra, la media de los valores de esta función es 8 878.37 kg y la desviación estándar 3 664.24.

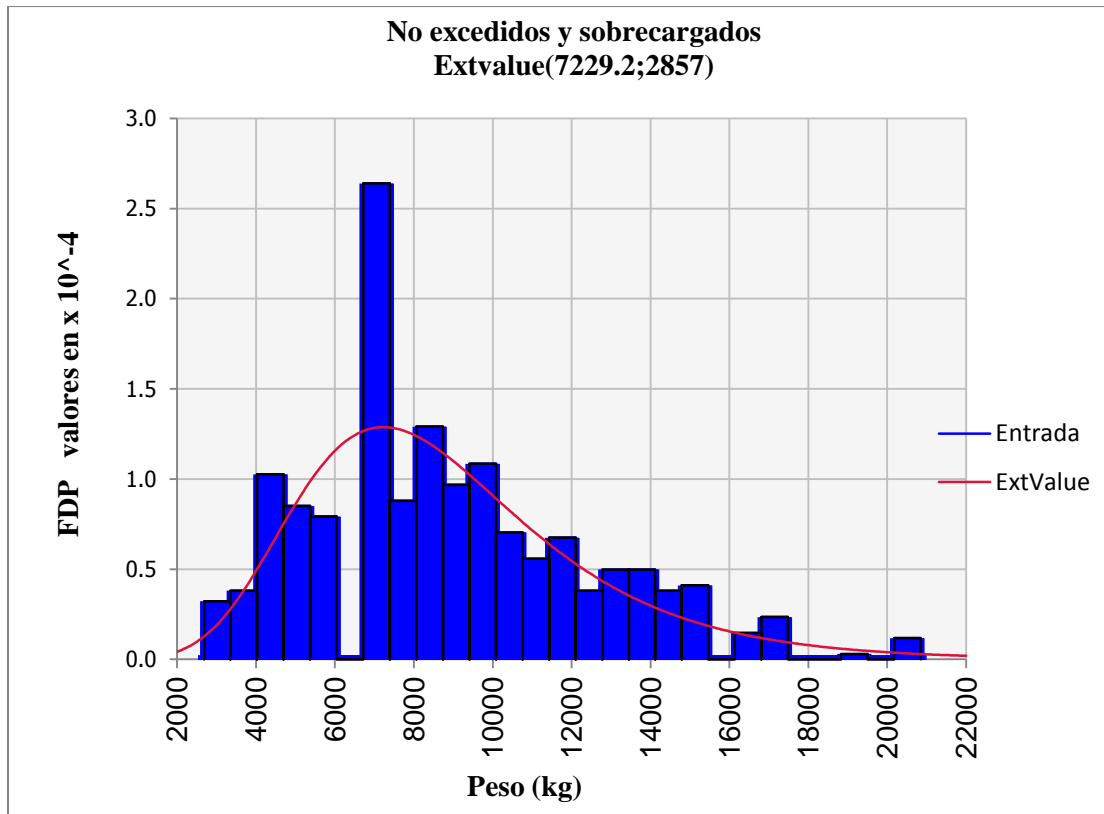


Figura 3.8 Distribución estadística del peso de vehículos C2

3.4.1.2 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos C3

El peso bruto vehicular máximo permitido para los vehículos del tipo C3 es de 26000 kg, para este análisis se pesaron 812 vehículos, este conjunto representó el 14.83% del total de vehículos que circularon durante el estudio, de éstos, 36 camiones transitaban con sobrepeso, siendo el peso mayor registrado de 32 992 kg, es decir 26.89% mayor al permitido. Por otra parte, 514 vehículos no estaban excedidos en peso y 262 camiones viajaban sin carga con un promedio de 7869.10 kg de peso.

En la figura 3.9 se muestra la función de densidad de probabilidad del peso de vehículos C3 (Weibull (3.296 2; 17 101; Shift (3 272.5))), la media de los valores de esta función es 18 611.47 kg y la desviación estándar 5 123.20.

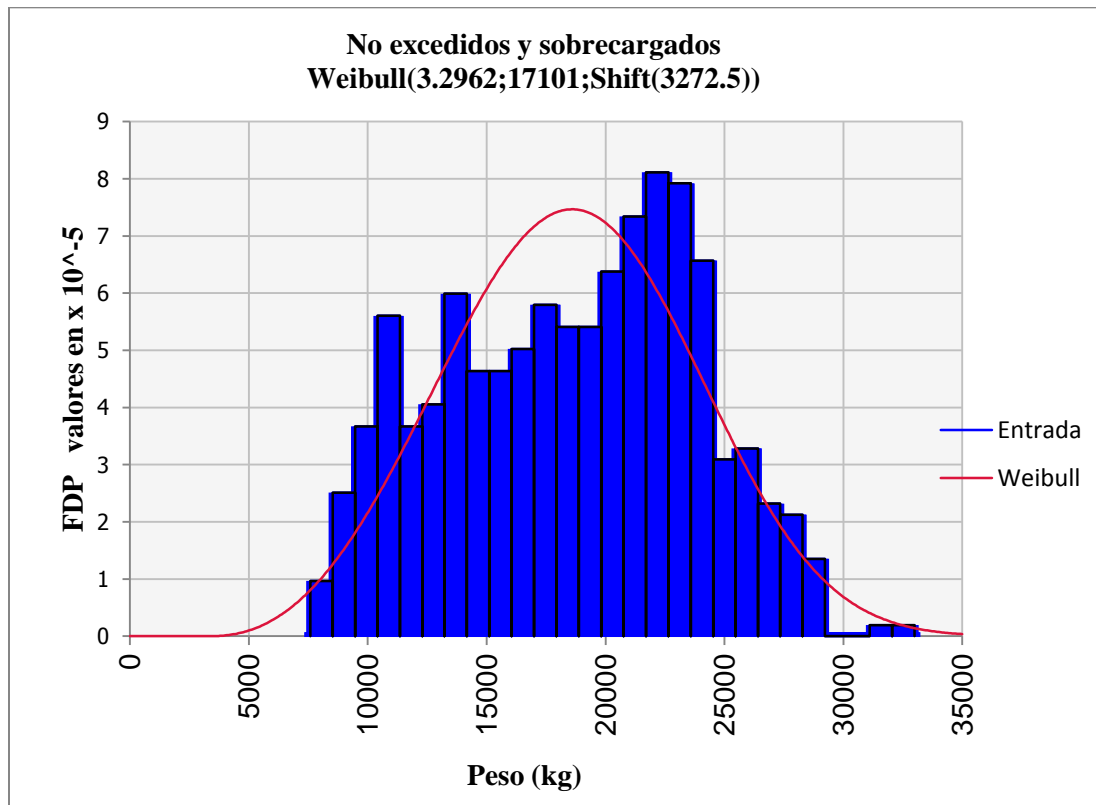


Figura 3.9 Distribución estadística del peso de vehículos C3

3.4.1.3 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos T3-S2

En el caso de los vehículos T3-S2 se pesaron 1 413 vehículos, muestra que representó el 25.81% del total, el peso bruto vehicular máximo permitido para este vehículo es de 44 000 kg. Del análisis se contabilizaron 449 camiones vacíos con un peso promedio de 19 997 kg, 603 vehículos no excedían el peso y 361 camiones estaban sobrecargados con un peso máximo registrado de 66 242 kg, es decir 50.55% por encima de los límites establecidos.

En la figura 3.10 se observa la función de densidad de probabilidad para los pesos de los vehículos T3-S2 (Weibull (3.088 2; 25 609; Shift (18 223)), la media de los valores de esta función es 41 121.22 kg y la desviación estándar 8 108.82.

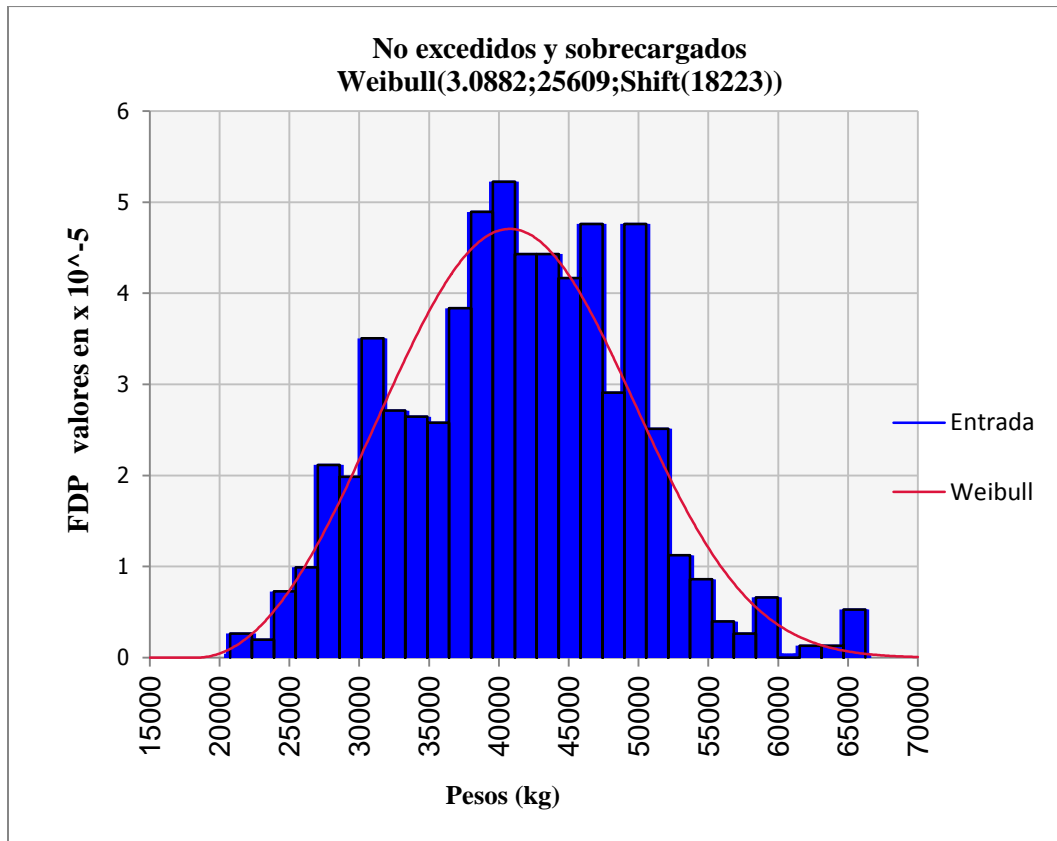


Figura 3.10 Distribución estadística del peso de vehículos T3-S2

3.4.1.4 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos T3-S3

En lo que respecta a los vehículos T3-S3, se pesaron 737 vehículos que corresponde al 13.46% del total de los vehículos registrados; el peso bruto vehicular máximo permitido para esta configuración es de 48000 kg. Durante el estudio se registraron 174 camiones vacíos, cuyo peso promedio fue de 25 656 kg, 140 vehículos no iban excedidos en peso y 423 camiones transitaban con sobrepeso, de los cuales el peso máximo registrado fue de 73 889 kg.

En la figura 3.11 se muestra la función de densidad de probabilidad del peso de vehículos T3-S3 (Weibull (6.203; 53 897; Shift (2 619.2))), la media de los valores de esta función es 52 712.13 kg y la desviación estándar 9 413.34.

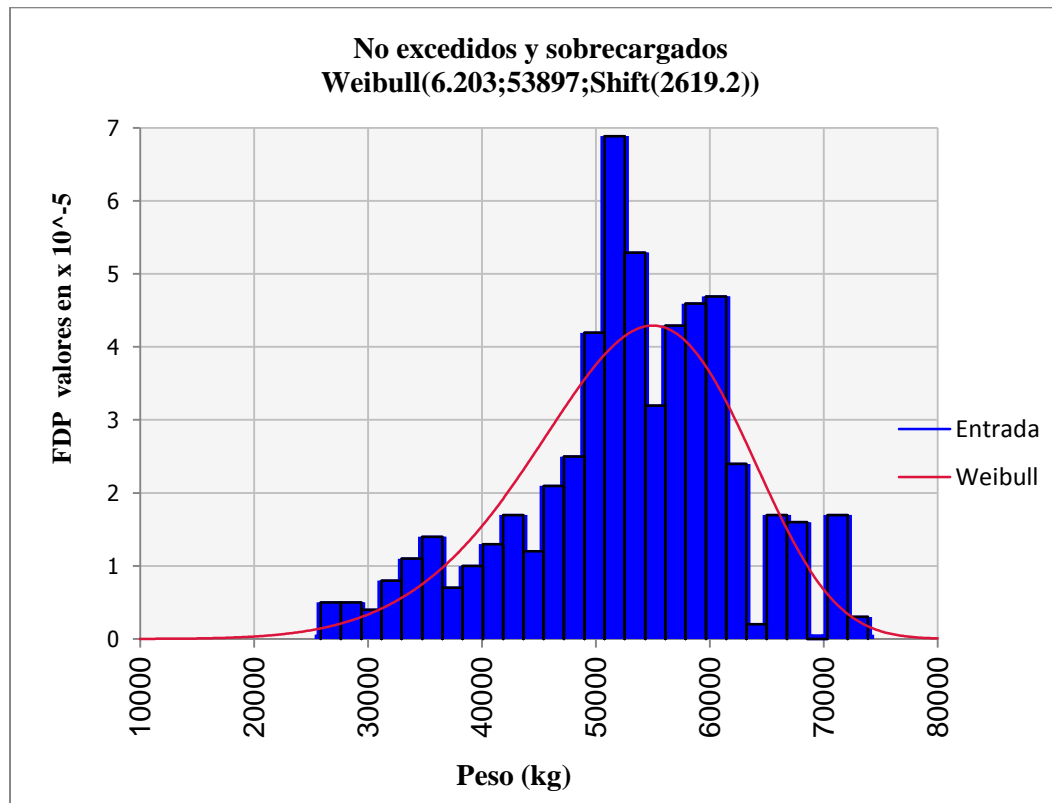


Figura 3.11 Distribución estadística del peso de vehículos T3-S3

3.4.1.5 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos T3-S2-R4

Para los tractocamiones con configuración T3-S2-R4 se pesaron 1252 vehículos, se registraron 450 camiones vacíos con un promedio de 40 142.9 kg de peso, 362 vehículos no excedidos y 440 camiones con sobrepeso. El peso bruto vehicular máximo permitido para esta configuración es de 66 500 kg. Del análisis se observó que en los vehículos T3-S2-R4 el 35.14% circulan sobrecargados, el 35.94% son camiones vacíos y el 28.91% transitan sin infringir el reglamento.

En este tractocamión en particular, la función de densidad de probabilidad se dividió en tres partes para lograr un mejor ajuste, vehículos no excedidos (Weibull (1.580 1; 14 843; Shift (37 371))), cuya media es 50 694.64 kg y desviación estándar de 8 624.11, sobrecargados 1 (Uniform (66 625.1;74 974.9)), la media de esta función es 70 800.00 kg con desviación estándar de 2 410.38 y sobrecargados 2 (Weibull (1.812 4;8 936.6;Shift(83 600))), la media de esta función es 91 544.62 kg y la desviación estándar 4 538.85, como se muestra en las figuras 3.12, 3.13 y 3.14.

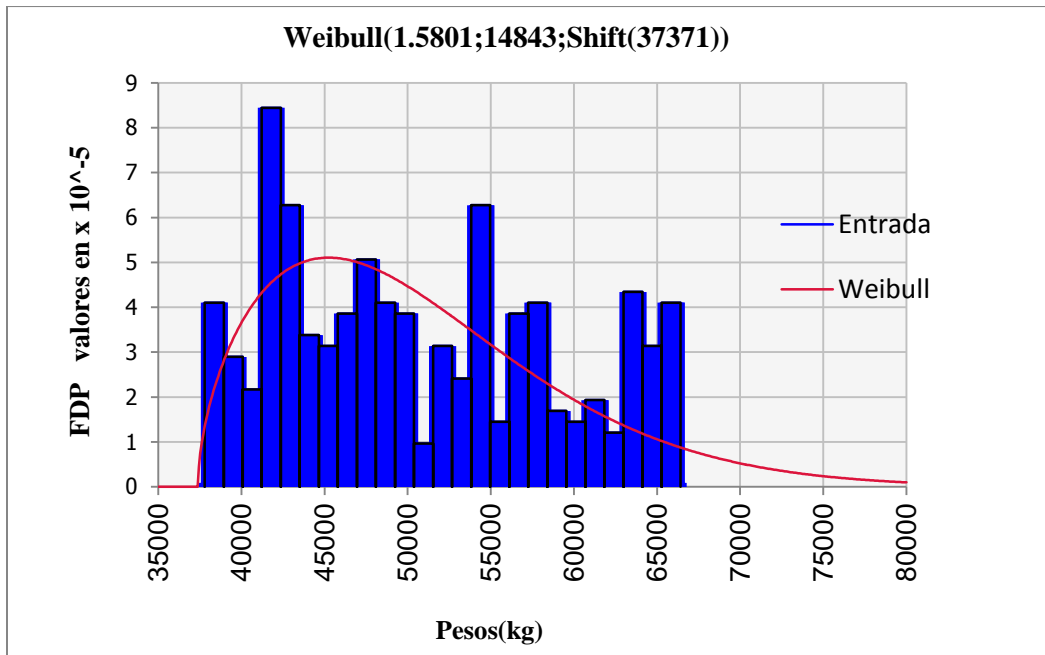


Figura 3.12 Distribución estadística del peso de vehículos T3-S2-R4 no excedidos

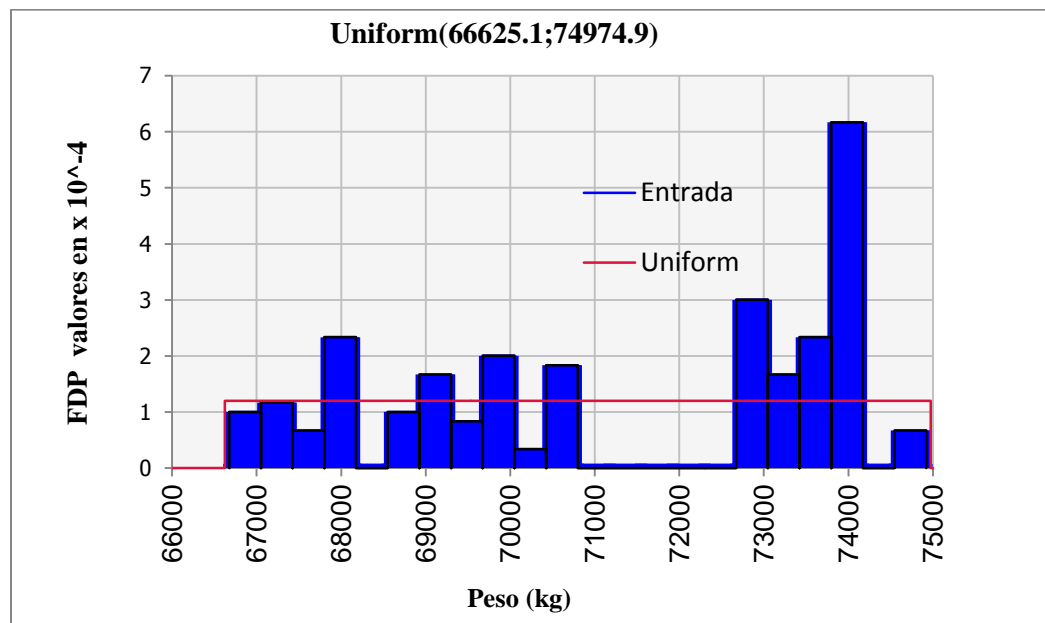


Figura 3.13 Distribución estadística del peso de vehículos T3-S2-R4 sobrecargados 1

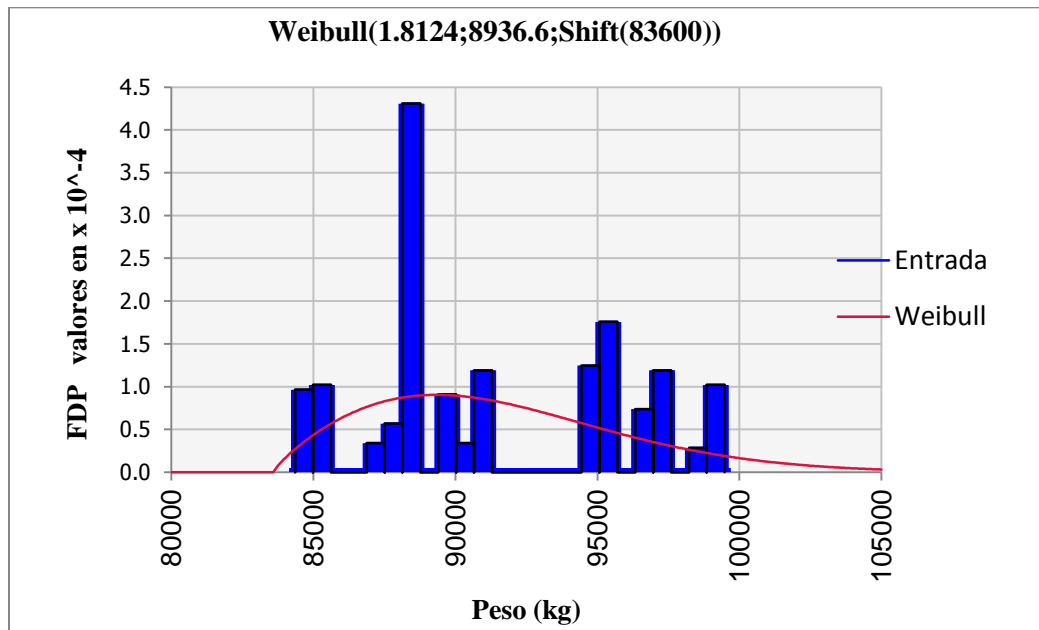


Figura 3.14 Distribución estadística del peso de vehículos T3-S2-R4 sobrecargados 2

3.5 Programa Monte Carlo

La simulación Monte Carlo (ver figura 3.15) se realizó a través de un algoritmo programado en lenguaje Fortran. Básicamente el programa, en una fase inicial, selecciona aleatoriamente el número y tipo de vehículos que circulan sobre el puente con base en la probabilidad de ocupación de vehículos, una vez seleccionado el tipo y el número de vehículos para una caso particular, se asigna la ubicación, el cuerpo y el carril que ocupa cada vehículo en el puente de acuerdo con las probabilidades calculadas en el video; posteriormente se asigna la carga viva vehicular de acuerdo a la distribución estadística de cada uno de los tipos de vehículos (C2, C3, T3-S2, T3-S3 Y T3-S2-R4), de esta forma se genera una condición de carga viva vehicular posible en un instante dado la cual es simulada a través del modelo de elementos finitos del puente calibrado.

Un paso importante del algoritmo de simulación Monte Carlo es la asignación del peso bruto vehicular, el cual es conjeturado a través del cálculo de los polinomios característicos los cuales representan las frecuencias relativas acumuladas a partir de las distribuciones estadísticas del peso bruto vehicular de cada uno de los vehículos utilizados en este análisis. Por ejemplo, en la figura 3.16 se puede observar la frecuencia relativa acumulada del peso bruto vehicular para la configuración C2. El resto de las configuraciones vehiculares puede ser consultado en el anexo 2.

En la tabla 3.8 se puede consultar el polinomio que representa cada tipo de configuración vehicular, el rango de valores que puede tomar y el porcentaje de vehículos con carga y sin carga.

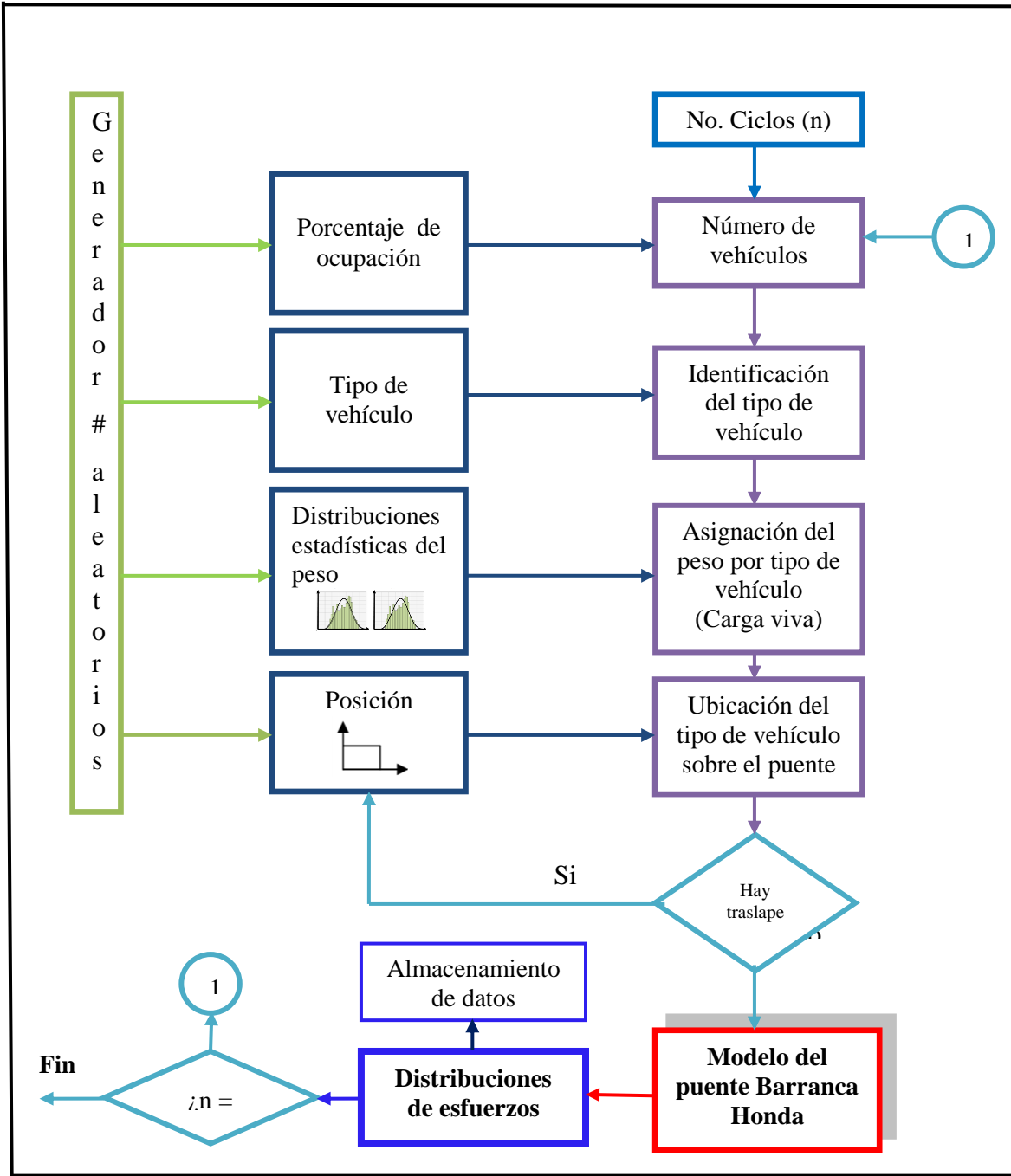


Figura 3.15 Diagrama de simulación Monte Carlo

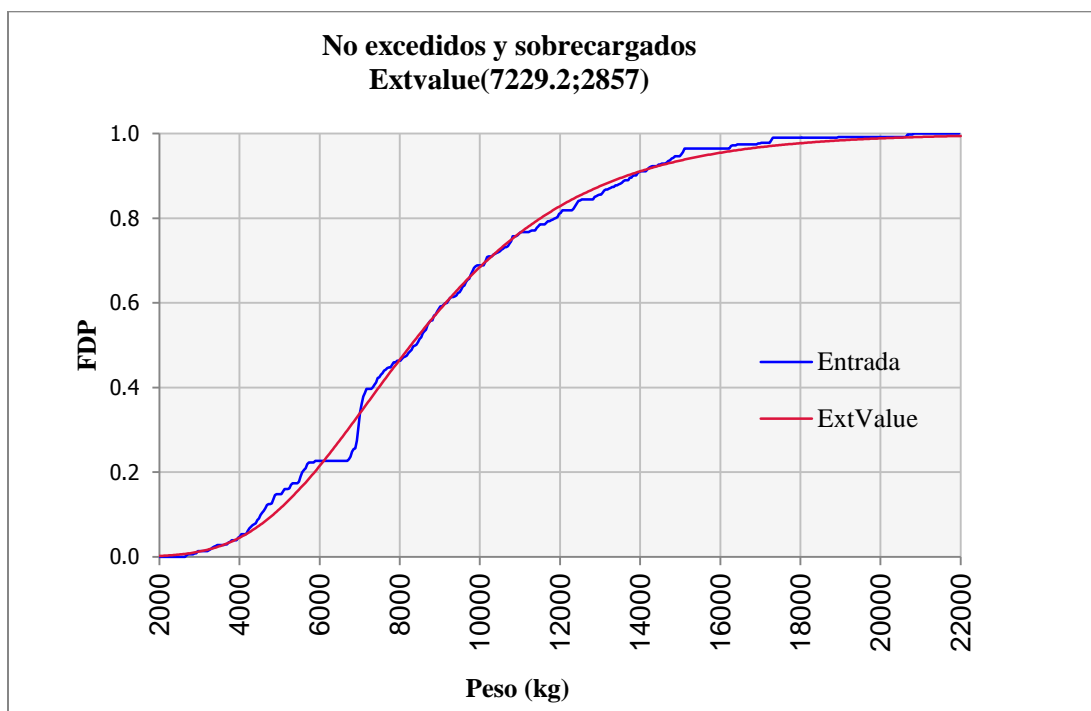


Figura 3.16 Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos C2

Tabla 3.8 Polinomio característico de las distribuciones estadísticas del peso de vehículos

Categoría	%	Rango (Kg)	Peso promedio /Polinomio Característico.(kg)	Rango valido para X
C2				
Vacíos	45.13	1961. - 7073.	4430.06	-
No excedidos y sobrecargados	54.87	3000. - 20500.	$y = 106219x^4 - 158383x^3 + 63779x^2 + 5615x + 3123.8$	0 - 1
C3				
Vacíos	32.27	6285 - 9008	7869.1	-
No excedidos y sobrecargados	67.73	7500 - 32000	$y = 92483x^3 - 140550x^2 + 75369x + 4603.4$	0.042 - 1
T3S2				
Vacíos	31.78	9892 - 23047	19977	-
No excedidos y sobrecargados	68.22	21000 - 64000	$y = 55938x^4 + 32308x^3 - 142264x^2 + 96967x + 20757$	0.003 - 1
T3S3				
Vacíos	23.61	25550 - 25849	25656	-
No excedidos y sobrecargados	76.39	25000 - 73 000	$y = 210999x^3 - 341500x^2 + 183984x + 21690$	0.019 – 0.983
T3S2R4				
Vacíos	35.94	38375 - 41525	40142.9	-
No excedidos	28.91	37800 - 66400	$y = 112422x^3 - 138417x^2 + 65119x + 36187$	0.027 – 0.91
Sobrecargados 1	12.78	66700 - 74900	$y = 8460.2x + 66551$	0.018 – 0.986
Sobrecargados 2	22.37	84400 - 99480	$y = 32872x^4 - 7824.3x^3 - 37230x^2 + 33426x + 82529$	0.05 – 0.925

En lo que respecta a los datos referentes al tipo de vehículos, dirección y carril que ocupan en el puente Barranca Honda, la tabla 3.9 muestra el porcentaje de vehículos por carril del puente en las dos direcciones: Calpulalpan y Texcoco. La tabla 3.10 enlista el total de vehículos pesados, el porcentaje que circulan sobrecargados y el porcentaje máximo de sobrecarga registrado para cada configuración vehicular. Finalmente, la tabla 3.11 menciona el tipo de función de densidad de probabilidad para cada configuración vehicular que fue utilizada en la simulación Monte Carlo.

Tabla 3.9 Porcentaje de ocupación por carril del puente Barranca Honda

Vehículo	Dirección			
	Calpulalpan		Texcoco	
	Carril		Carril	
	Baja	Alta	Baja	Alta
Ligeros	54.64	76.15	57.51	86.55
C2	13.79	3.28	8.09	4.83
C3	6.90	1.75	5.20	2.41
T3S2	17.77	12.91	18.79	4.83
T3S3	4.24	4.16	4.63	1.04
T3S2R4	2.65	1.75	5.78	0.34

Tabla 3.10 Porcentaje de sobrecarga de camiones y tractocamiones

Vehículo	Cantidad de vehículos pesados	% de vehículos sobrecargados	% máximo de sobrecarga
C2	924	0.54	19.12
C3	812	4.43	26.89
T3-S2	1413	25.54	50.55
T3-S3	737	57.39	53.93
T3-S2-R4	1252	35.14	49.94

Tabla 3.11 Función de densidad de probabilidad del peso de vehículos

Vehículo	Función de densidad de probabilidad
C2	Extvalue (7229.2; 2857)
C3	Weibull (3.2962; 17101; Shift (3272.5)).
T3-S2	Weibull (3.0882; 25609; Shift (18223)).
T3-S3	Weibull (6.203; 53897; Shift (2619.2)).
T3-S2-R4	
No excedidos	Weibull (1.5801; 14843; Shift (37371)),
Sobrecargados 1	Uniform (66625.1; 74974.9)
Sobrecargados 2	Weibull (1.8124; 8936.6; Shift (83600)).

4 Simulación del puente Barranca Honda

4.1 Geometría del puente Barranca Honda

El puente Barranca Honda mide 204 m de largo, tiene cuatro claros de 51 m de longitud, está sostenido por tres columnas de concreto, tiene dos cuerpos independientes, cada uno con dos carriles, como se observa en la figuras 4.1 y 4.2.

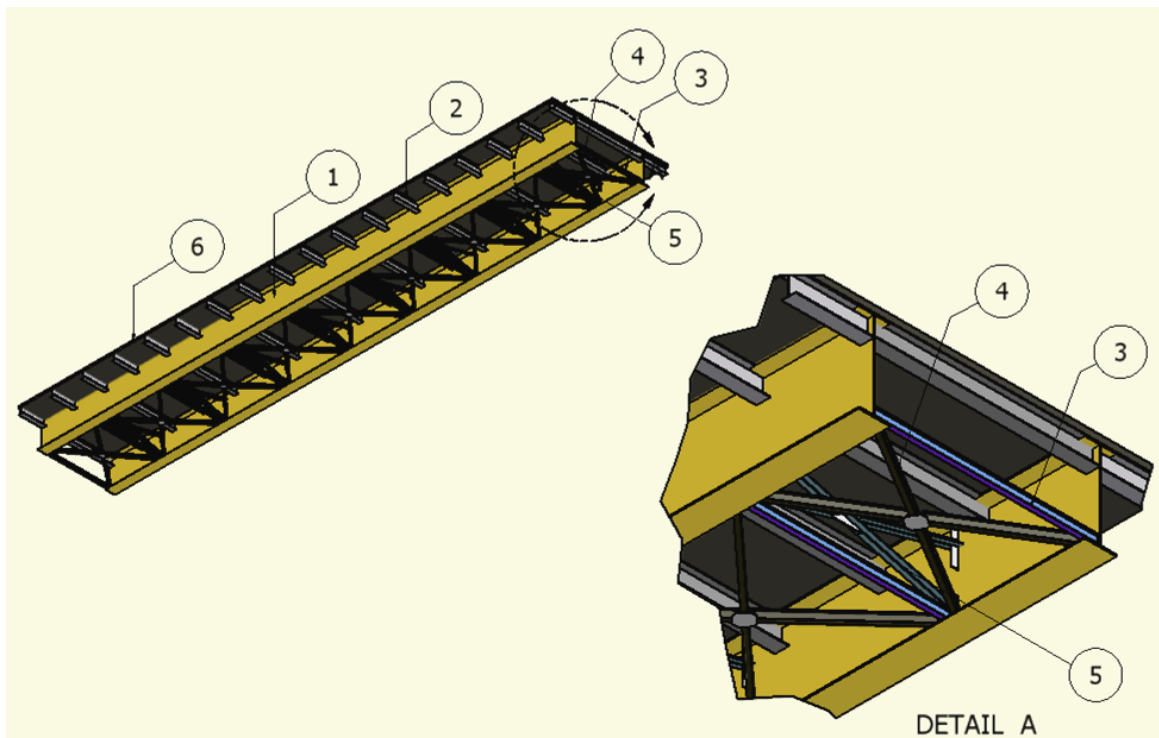
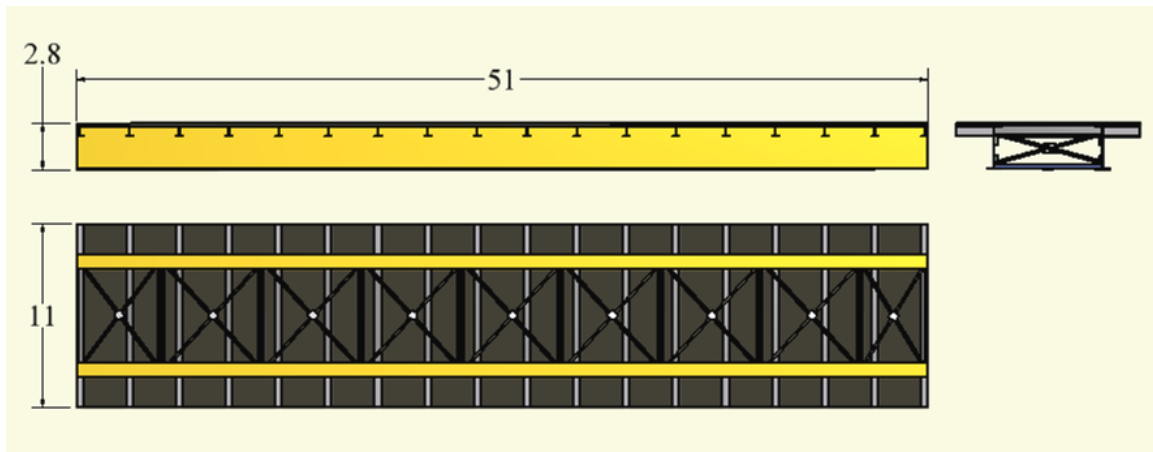


Figura 4.1 Claros del puente Barranca Honda



Figura 4.2 Carriles del puente Barranca Honda

Cada cuerpo del puente consta de dos vigas principales de acero del tipo IPR, unidas por travesaños superiores e inferiores, tiene vigas contra-venteadas horizontalmente y verticalmente para incrementar la rigidez del sistema, en la parte superior de la superestructura tiene una losa de concreto de 20 cm de espesor.

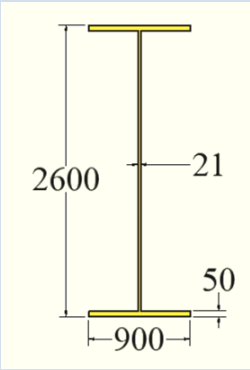
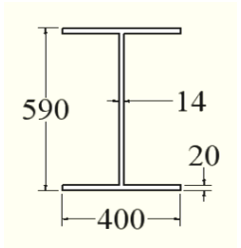
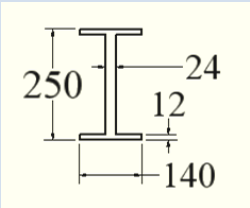
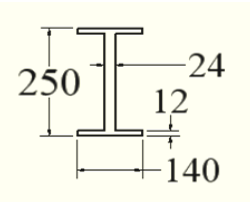
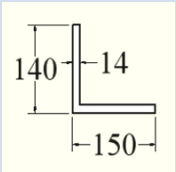


Acot: m

Figura 4.3 Geometría del puente Barranca Honda, un claro. (El número encerrado en los círculos indica el tipo de componente de la tabla 5.1)

En la figura 4.3 se pueden ver los componentes estructurales del puente Barranca Honda y en la tabla 4.1 se enlistan estos componentes estructurales y sus dimensiones.

Tabla 4.1 Lista de componentes del puente Barranca Honda

Núm.	Componente	Geometría (mm)
1	Viga principal	
2	Travesaño superior	
3	Travesaño inferior	
4	Contraventeo horizontal	
5	Contraventeo vertical	
6	Tablero	11 000 x 51 000 x 200 mm de espesor

4.2 Modelo en StaDyn del puente Barranca Honda

El desarrollo del modelo de elementos finitos del puente Barranca Honda se realizó en el paquete StaDyn versión 4.5, el cual fue desarrollado en el Departamento de Aeronáutica de la Universidad de Purdue. Una de las ventajas de realizar el modelo del puente asistido en StaDyn es que fue programado en fortran y acoplar el algoritmo de simulación Monte Carlo al programa de elementos finitos de StaDyn es de manera directa, sin interfaces.

Para construir el modelo se emplearon 1 542 elementos y 676 nodos, a lo ancho del puente se utilizaron 12 elementos en una longitud de 11 m y 51 elementos a lo largo del puente en una longitud de 51 m; para el tablero se utilizaron elementos tipo placa y para el resto de los componentes estructurales se utilizaron elementos tipo viga. Con relación a las condiciones de frontera se simuló una articulación móvil en las columnas del puente, el modelo de elementos finitos se muestra en la figura 4.4.

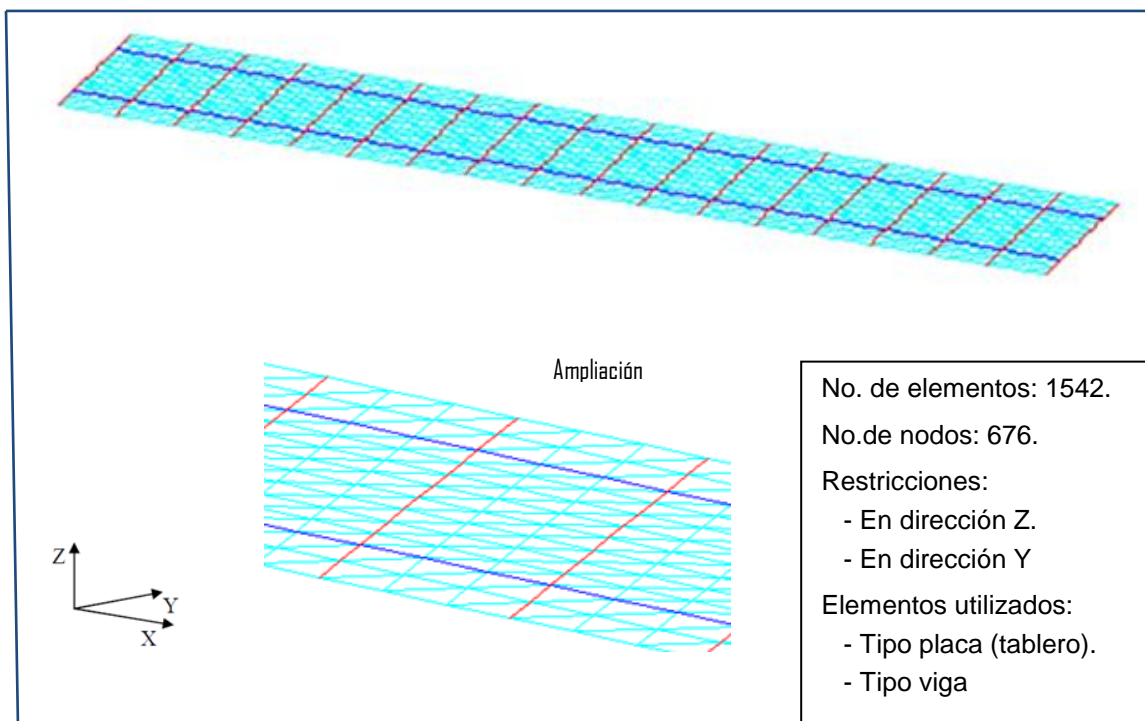


Figura 4.4 Modelo del puente Barranca Honda

4.3 Calibración del modelo de elementos finitos del puente Barranca Honda

Para calibrar el modelo de elementos finitos del Puente Barranca Honda se realizaron mediciones dinámicas sobre el puente. Las mediciones fueron realizadas colocando un acelerómetro en diferentes posiciones del puente. En la figura 4.5 se pueden observar las posiciones del sensor.

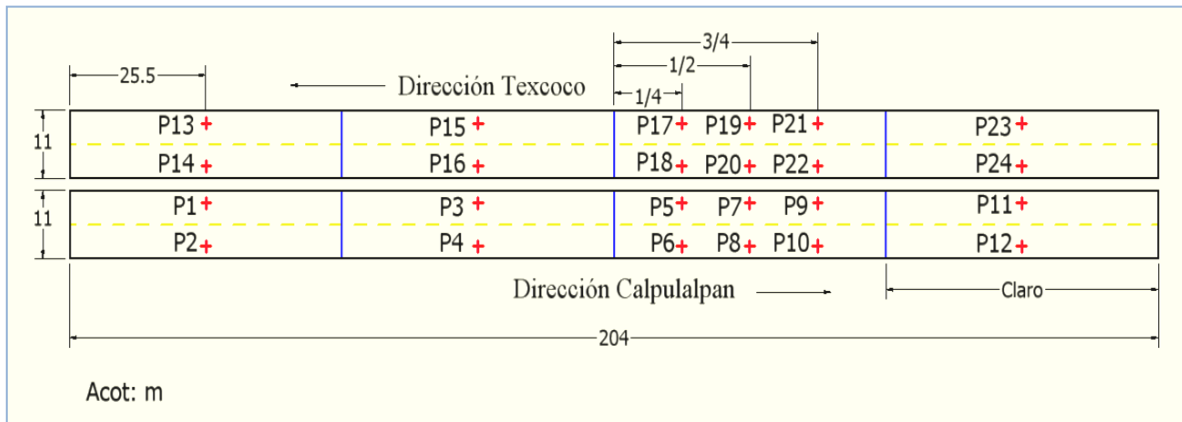


Figura 4.5 Puntos (P_i) de medición de vibraciones del puente Barranca Honda

Antes de realizar las mediciones dinámicas, se pegaron placas de acero de 50 x 50 x 2 mm (ver figura 4.6) con un adhesivo epóxico Sikadur 31HMG en el asfalto del puente para garantizar la fijación del acelerómetro a la estructura.



Figura 4.6 Placa de acero sobre el puente Barranca Honda

El equipo utilizado para medir las vibraciones fue un acelerómetro marca Tec Kistler, modelo 1 330, el equipo se observa colocado sobre el puente en la figura 4.7, las gráficas de la figura 4.8 y 4.9 son mediciones dinámicas típicas realizadas sobre el puente Barranca Honda.



Figura 4.7 Acelerómetro Tec Kistler, ubicado sobre el puente Barranca Honda

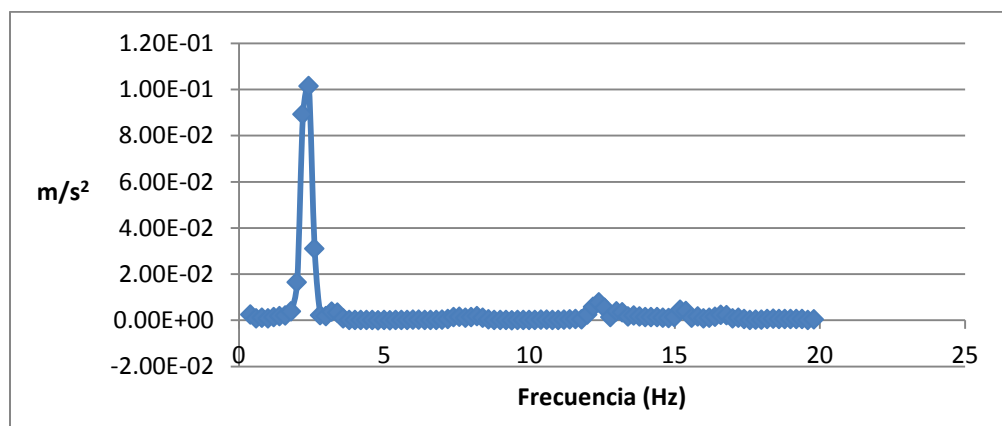


Figura 4.8 Espectro de vibraciones, amplitud máxima en 2.4 Hz

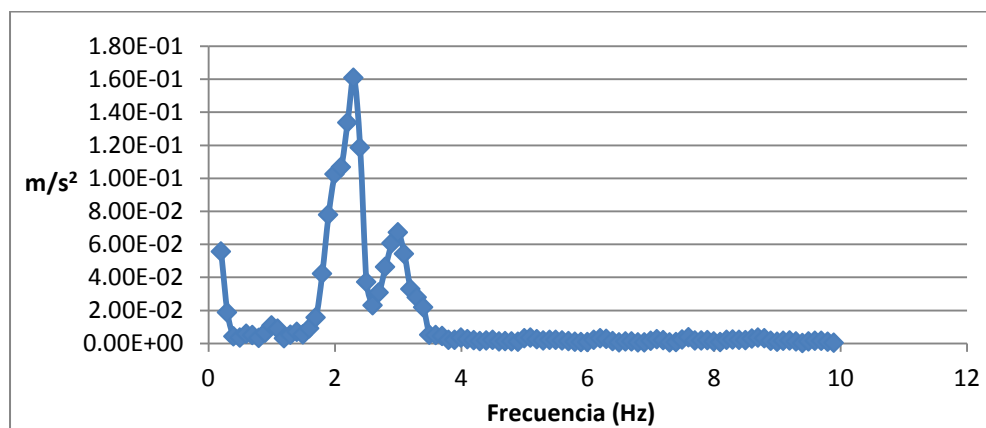


Figura 4.9 Espectro de vibraciones, amplitud máxima en 2.3 Hz

En total se registraron 24 mediciones de vibraciones, las cuales son listadas en la tabla 4.2, el promedio de la frecuencia natural de estas mediciones fue 2.356 Hz. Los valores registrados se utilizaron para calibrar el modelo de elementos finitos del puente Barranca Honda el cual, calibrado, simuló una frecuencia natural igual

a 2.396 Hz, cuya variación es de 1.69% respecto a lo obtenido en las pruebas experimentales.

Tabla 4.2 Mediciones de vibración del puente

Ubicación	Frecuencia (Hz)	Ubicación	Frecuencia (Hz)
P ₁	2.30	P ₁₃	2.35
P ₂	2.40	P ₁₄	2.40
P ₃	2.40	P ₁₅	2.30
P ₄	2.40	P ₁₆	2.35
P ₅	2.40	P ₁₇	2.25
P ₆	2.25	P ₁₈	2.30
P ₇	2.30	P ₁₉	2.35
P ₈	2.25	P ₂₀	2.35
P ₉	2.30	P ₂₁	2.60
P ₁₀	2.35	P ₂₂	2.35
P ₁₁	2.35	P ₂₃	2.60
P ₁₂	2.30	P ₂₄	2.35

Así también, para complementar la calibración del modelo, se realizó un cálculo teórico en una de las vigas que conforman la superestructura (figura 4.10), para determinar la fuerza cortante (V), el momento flexionante (M) y el esfuerzo (σ) que produce la carga muerta en el puente, tomando en cuenta la densidad de las vigas (acero = 7 800 kg/m³) y de la losa de concreto (2 000 kg/m³), se determinó una carga distribuida $w=3\,7042.768\text{ N/m}^3$ y las reacciones $R = 944\,590.583\text{ N}$.

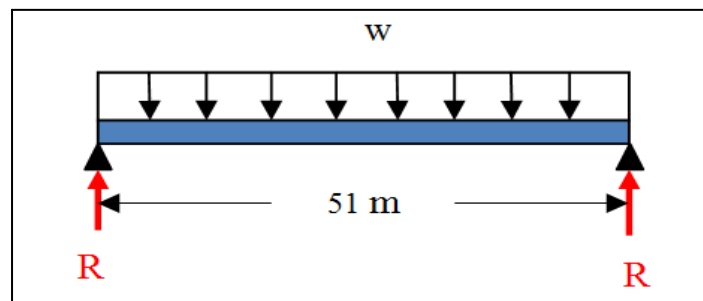


Figura 4.10 Esquema de cálculo del puente Barranca Honda, un claro

La ecuación de la fuerza cortante está definida por $v = 944\,590.583 - 37\,042.768 x$ (figura 4.11), el momento flexionante es $M = 944\,590.583 x - (37\,042.768/2) x^2$ (figura 4.12), de acuerdo a esto en $x = 25.5\text{ m}$ el momento máximo es igual a $12\,043\,529.9\text{ Nm}$, el esfuerzo máximo ($\sigma = M c/I$, $c = 1.75\text{ m}$, $I = 0.252\,8\text{ m}^4$) es igual a $83.370\,9\text{ MPa}$. El modelo del puente obtiene un esfuerzo máximo de 89.114 MPa

(figura 5.13), para la carga muerta del puente, se encontró una variación de 6.44% entre las dos esfuerzos máximos.

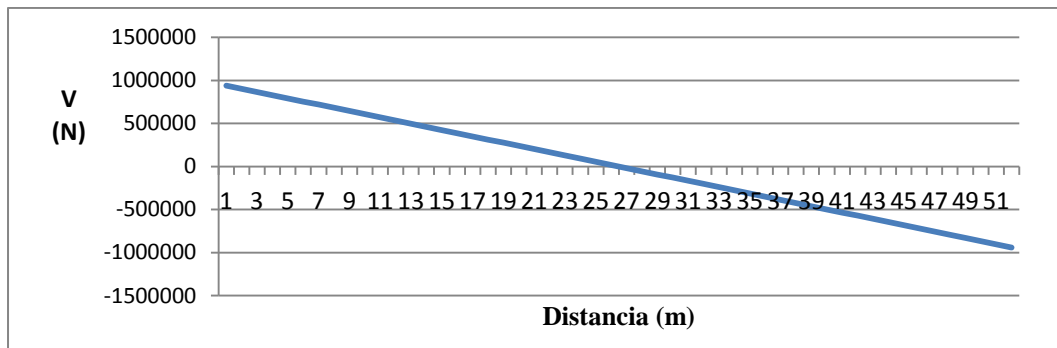


Figura 4.11 Diagrama de fuerza cortante

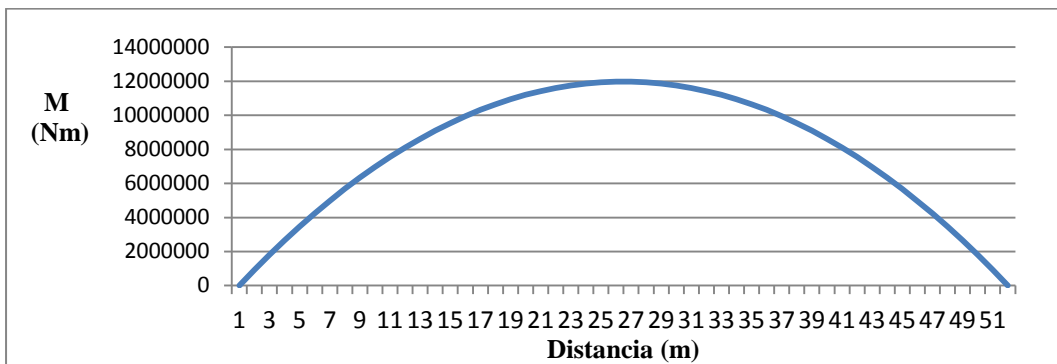


Figura 4.12 Diagrama de momento flexionante

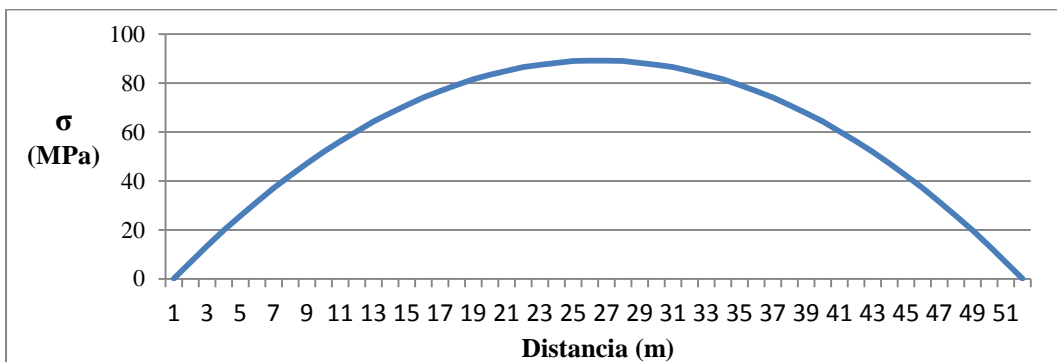


Figura 4.13 Esfuerzo por carga muerta, modelo del puente Barranca Honda

5 Distribución de esfuerzos y ciclos de carga del puente Barranca Honda

5.1 Deformaciones y esfuerzos promedio del puente Barranca Honda

Utilizando el modelo de elementos finitos del puente Barranca Honda se realizó un análisis para obtener las deformaciones y los esfuerzos para cada configuración vehicular, camiones C2, C3, T3-S2, T3-S3 y T3-S2-R4, a cada metro en dirección longitudinal, considerando el peso bruto promedio en intervalos de 1 m, como se observa en la figura 5.1. La deformación total sin considerar la carga muerta y los esfuerzos normales del puente se muestra en las figuras 5.2 a 5.11.

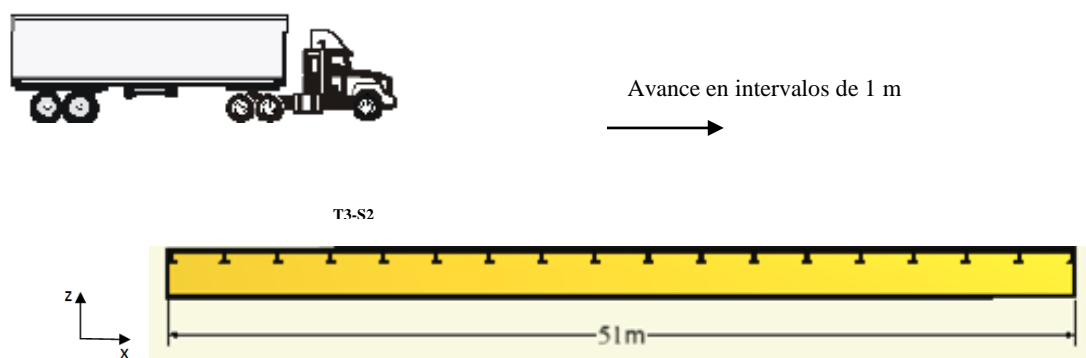


Figura 5.1 Esquema puente – camión, un claro del puente

El camión C2 tiene un peso promedio de 6 861 kg, en la gráfica de la figura 5.2 se muestra el valor absoluto de la deformación total menos la deformación producida por la carga muerta del puente. En la figura 5.3 se observa la gráfica de los esfuerzos normales máximos de la viga principal del puente provocado por el peso promedio del vehículo C2 (considerando carga muerta). En ambas figuras se muestran 55 eventos, éstos corresponden al avance del camión en intervalos de 1 m sobre el eje longitudinal del puente.

El esfuerzo máximo es igual a 92.314 MPa, corresponde al evento 30, es decir cuando el eje delantero del camión C2 se encuentra a 30 m sobre el puente tiene una deformación total de 2.38 mm (deformación sin carga muerta).

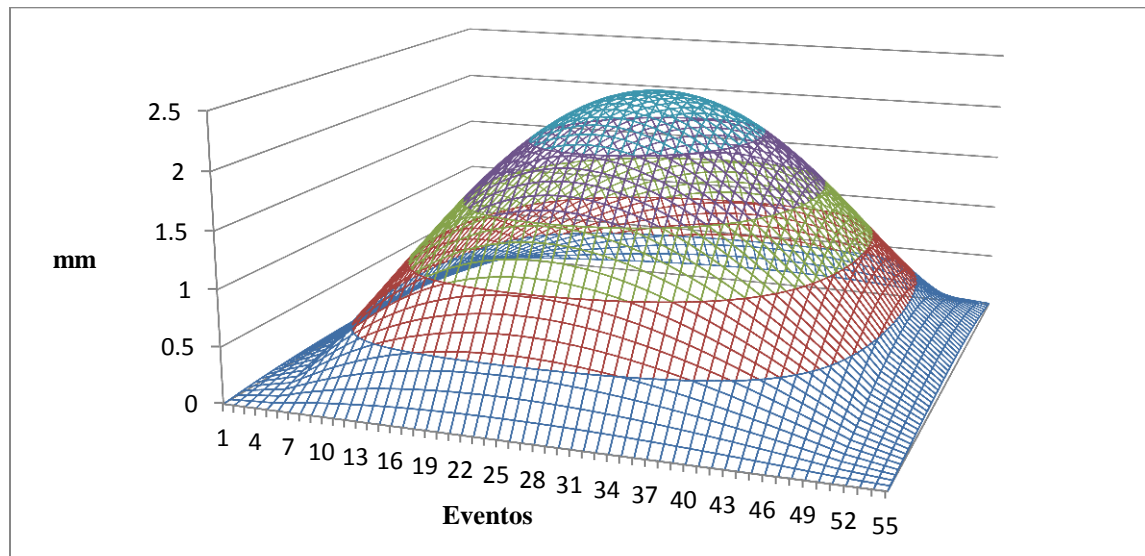


Figura 5.2 Deformación (total – carga muerta), vehículo C2

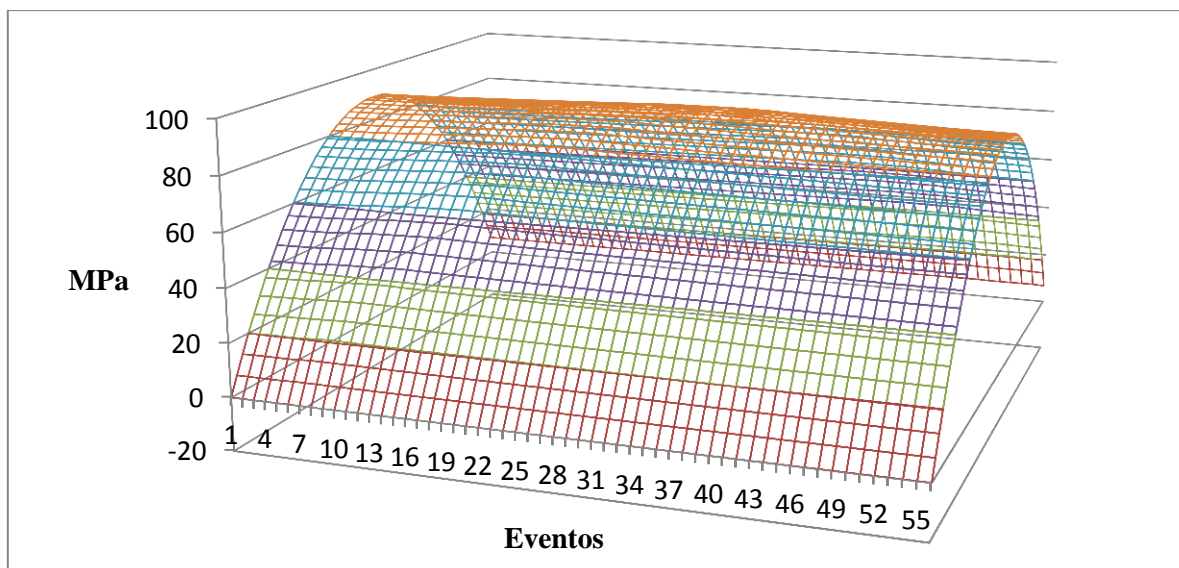


Figura 5.3 Esfuerzos de la viga principal del puente, vehículo C2

El camión C3 tiene un peso promedio de 15 122 kg, bajo la acción de esta carga el esfuerzo máximo es igual a 96.441 MPa, éste ocurre cuando el eje delantero del camión se encuentra a 30 m sobre el puente (evento 30) y le corresponde una deformación total de 6.29 mm sin carga muerta. En la figura 5.4 se muestra el valor absoluto de la deformación menos la deformación producida por la carga muerta del puente y en la figura 5.5 se observan los esfuerzos producidos por la acción de la carga.

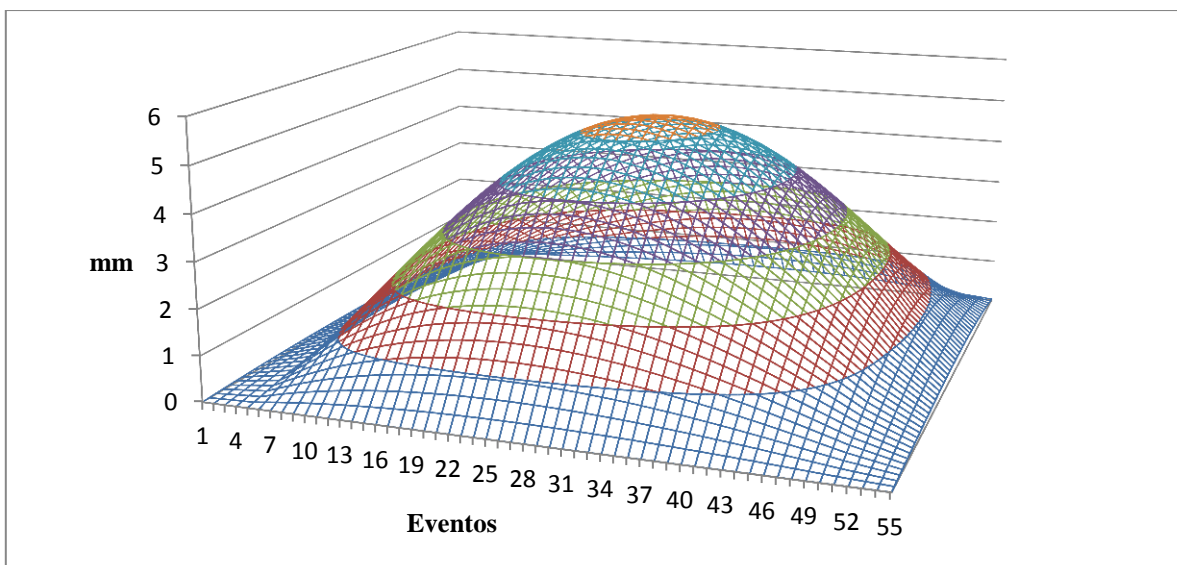


Figura 5.4 Deformación (total – carga muerta), vehículo C3

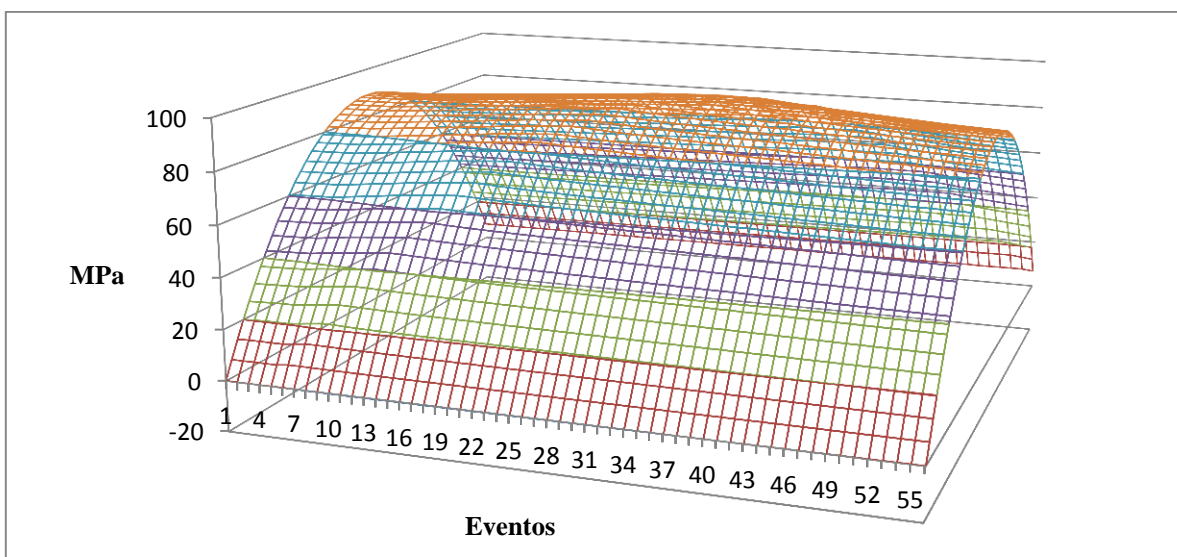


Figura 5.5 Esfuerzos de la viga principal del puente, vehículo C3

Para el camión T3-S2 cuyo peso promedio es de 34 406 kg, se obtiene un esfuerzo máximo de 102.758 MPa y una deformación total de 10.93 mm en el evento 30. En la figura 6.6 se muestra el valor absoluto de la deformación menos la deformación producida por la carga muerta del puente y en la figura 5.7 se observan los esfuerzos producidos por este vehículo.

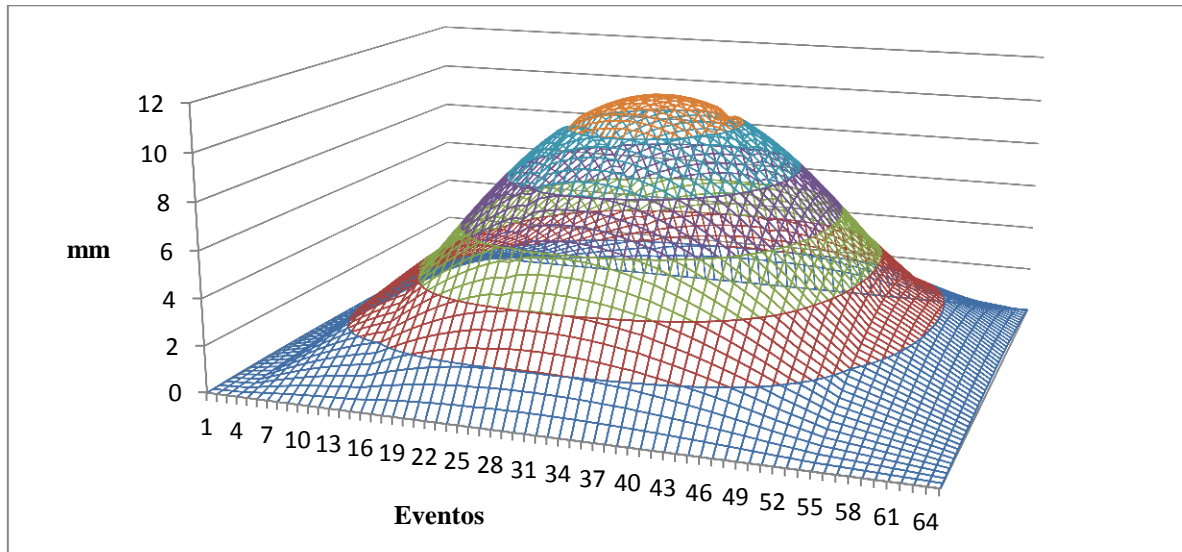


Figura 5.6 Deformación (total – carga muerta), vehículo T3-S2

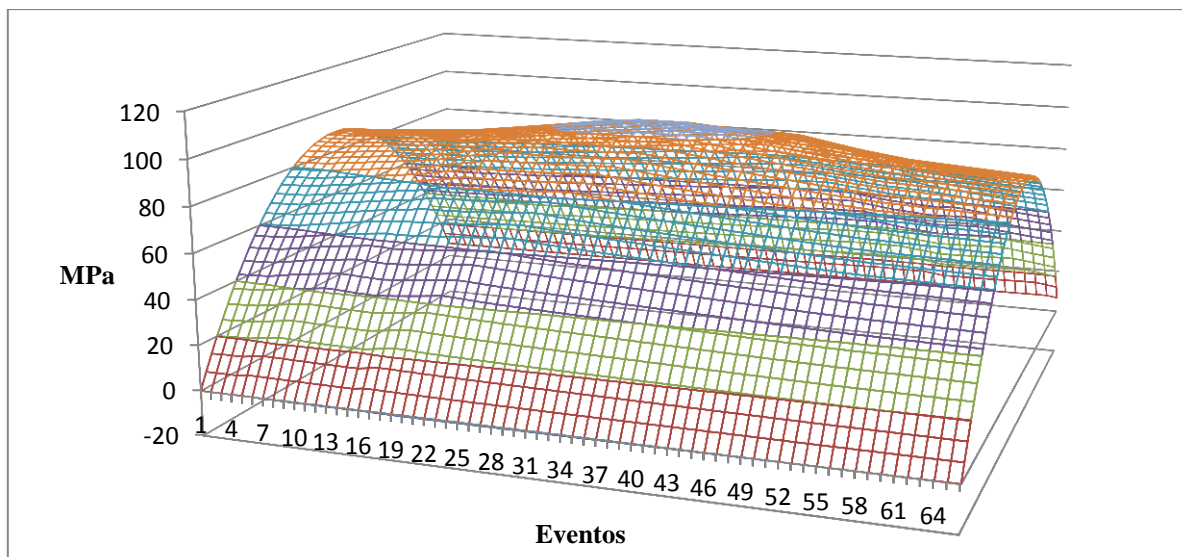


Figura 5.7 Esfuerzo de la viga principal del puente, vehículo T3S2

El tractocamión T3-S3 tiene un peso promedio de 46 331 kg, provoca un esfuerzo máximo de 106 MPa, cuando el eje delantero del camión se encuentra a 30 m sobre el puente y una deformación 13.53 mm. En la figura 5.8 se muestra el valor absoluto de la deformación menos la deformación producida por la carga muerta del puente y en la figura 5.9 se observan los esfuerzos para este vehículo.

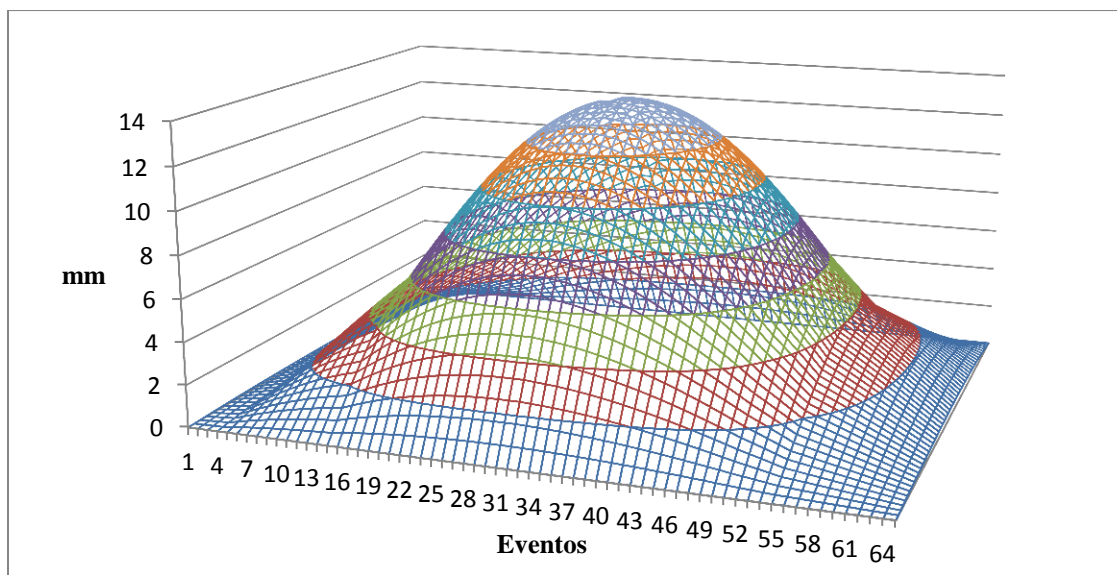


Figura 5.8 Deformación (total – carga muerta), vehículo T3-S3

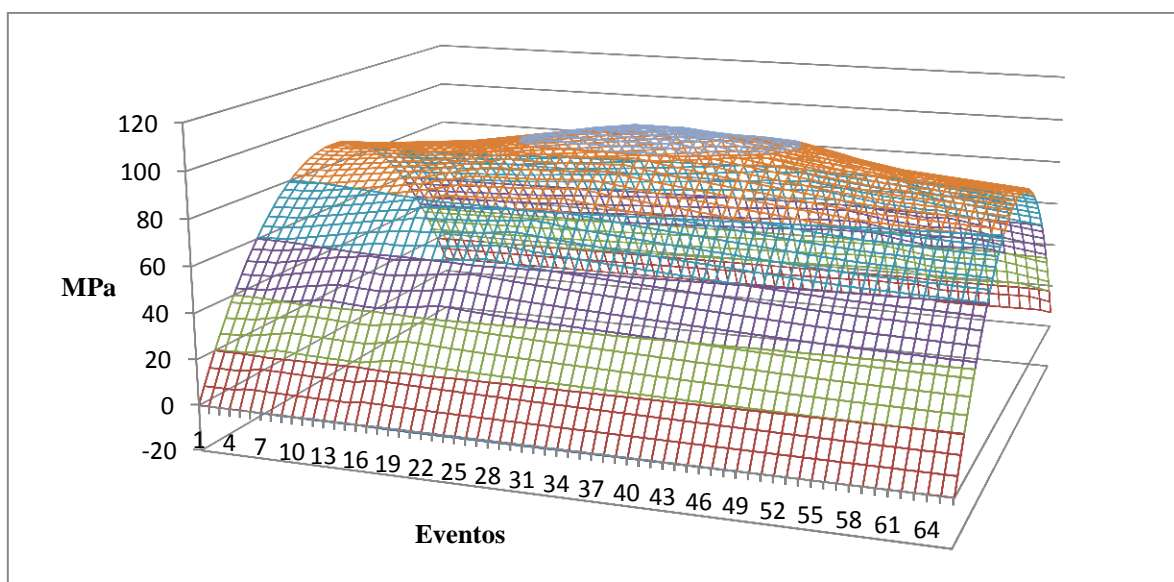


Figura 5.9 Esfuerzo de la viga principal del puente, vehículo T3-S3

Finalmente el tractocamión T3-S2-R4 tiene un peso promedio de 58 648 kg, ejerce un esfuerzo máximo de 111.232 MPa cuando el eje delantero del camión se encuentra a 38 m sobre el puente y una deformación total de 18.22 mm. En la figura 5.10 se muestra el valor absoluto de la deformación, menos la deformación producida por la carga muerta del puente y en la figura 5.11 se observan los esfuerzos producidos.

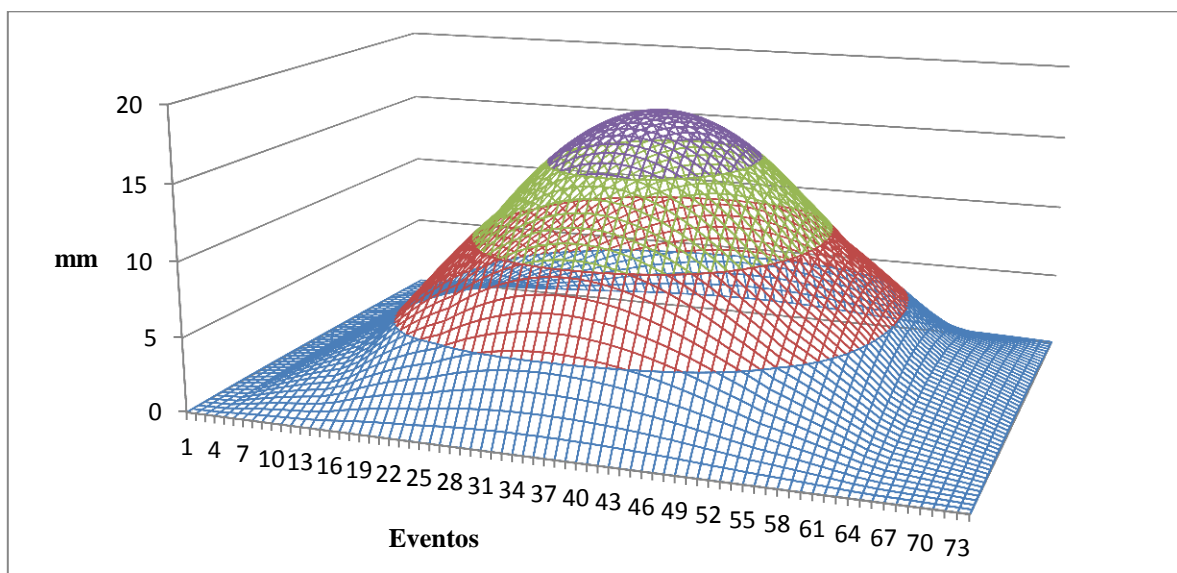


Figura 5.10 Deformación (total – carga muerta), vehículo T3-S2-R4

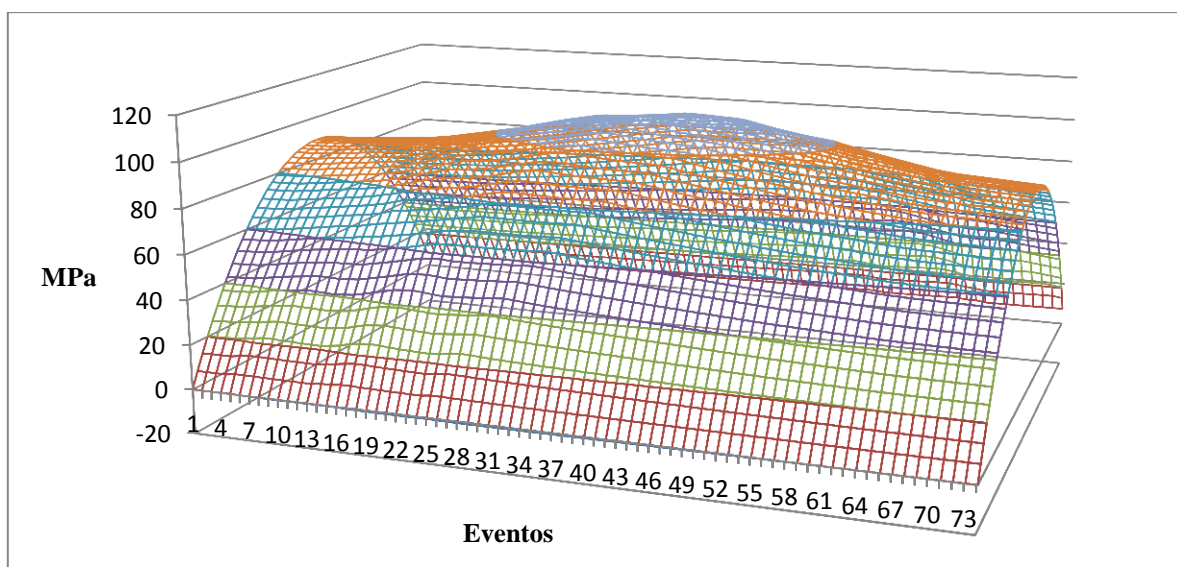


Figura 5.11 Esfuerzo de la viga principal del puente, vehículo T3-S2-R4

En la tabla 5.1 se presenta un resumen de los esfuerzos normales máximos y sus correspondientes deformaciones producidas por la carga promedio de los vehículos C2, C3, T3-S2, T3-S3 y T3-S2-R4, obtenidas utilizando el modelo calibrado de elementos finitos del puente Barranca Honda.

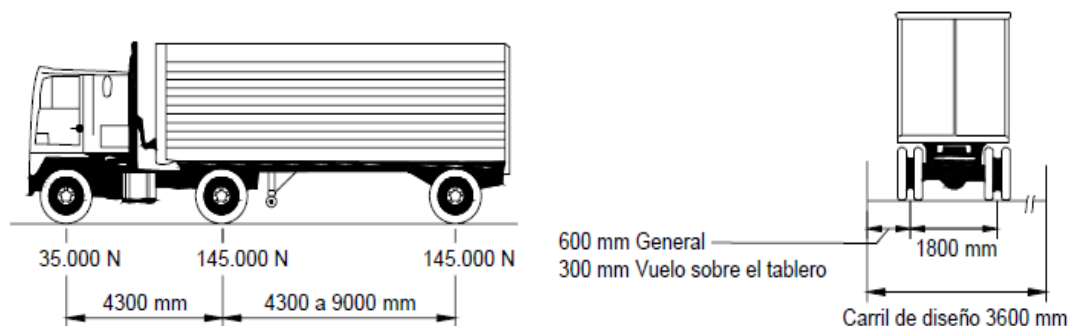
Tabla 5.1 Deformaciones y esfuerzos promedio del puente Barranca Honda

Vehículo	Peso promedio (kg)	Esfuerzo normal máximo (MPa)	Deformación máxima menos carga muerta (mm)
C2	6861	92.314	2.38
C3	15122	96.441	5.29
T3-S2	34406	102.758	10.93
T3-S3	46331	106	13.53
T3-S2-R4	58648	111.232	18.29

5.2 Esfuerzo máximo en el puente utilizando cargas AASHTO

Para calcular el esfuerzo, de acuerdo con lo especificado en el código AASHTO, se utilizó el camión de diseño (figura 5.12) y el tándem de diseño, especificados en este código en las secciones 3.6.1.2.2 y 3.6.1.2.2. [21]

La carga que aplica el camión de diseño AASHTO sobre el puente Barranca Honda se especifica en la figura 5.12, la separación entre los ejes varía entre 4 300 y 9 000 mm para producir las solicitaciones extremas, tal y como lo especifica la norma AASHTO.



Fuente: AASHTO. LRFD bridge desing specifications, 4th 2007

Figura 5.12 Características del camión de diseño AASHTO [21]

El tándem de diseño AASHTO (2007) consiste en representar un par de ejes que ejercen una carga de 110 000 N (ver figura 5.13 y 5.15) con una separación de 1200 mm. La separación transversal de las ruedas es de 1 800 mm.

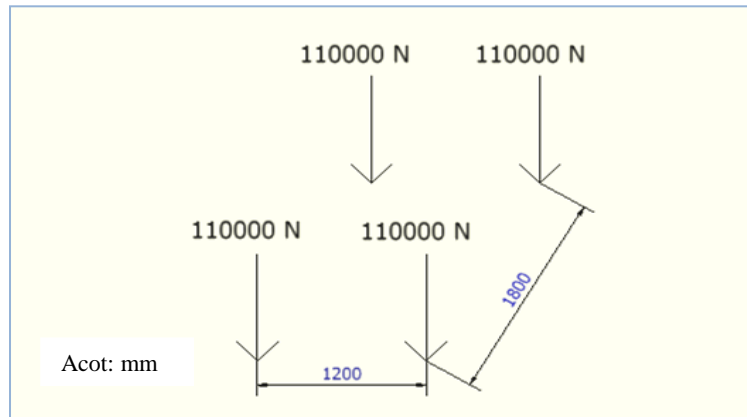


Figura 5.13 Cargas por el tándem de diseño AASHTO

Las cargas del camión y del tándem de diseño AASHTO se amplificaron por un factor dinámico de 1.33 y un factor de carga de 1.75 (AASHTO, 2007) también se tomó una carga para considerar diseño transversal y longitudinal la cual fue igual a 9 300 N/m (AASHTO, 2007), tal y como lo especifica la norma.

El camión y el tándem de diseño se colocaron sobre varias posiciones del modelo de elementos finitos del puente Barranca Honda, cuando el eje delantero del camión de diseño se colocó a 31 m sobre el puente (figura 5.14), se obtuvo el esfuerzo máximo igual a 143.744 MPa. A su vez, cuando el primer eje del tándem de diseño se ubicó a 25 m sobre el puente (figura 5.15), se obtuvo un esfuerzo máximo de 122.305 MPa, este esfuerzo se usará para compararlo con el máximo esfuerzo obtenido por las simulaciones utilizando el programa Monte Carlo.

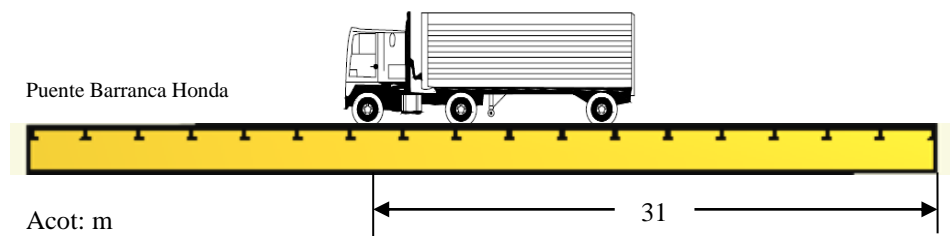


Figura 5.14 Ubicación del camión de diseño AASHTO

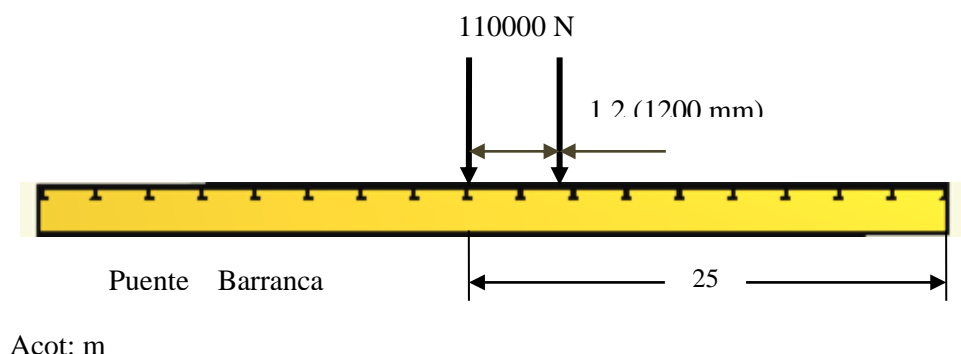


Figura 5.15 Ubicación del tándem de diseño AASHTO

5.3 Simulación de escenarios de carga presentes y futuros del puente Barranca Honda

En el análisis estadístico del flujo de vehículos (sección 3.2), se muestra en las tablas 3.3 y 3.4, el tipo y la cantidad de vehículos que circulan en el puente Barranca Honda, los datos fueron obtenidos de videos del flujo vehicular que transita en el puente.

El total de tiempo de filmación fue de tres horas, el número de vehículos que circuló en este lapso fue de 834 en dirección a Calpulalpan y 636 en dirección a Texcoco. Considerando los datos recabados se obtiene un flujo vehicular de 6 672 vehículos por día en la dirección Calpulalpan, con la siguiente composición: 66.43% vehículos ligeros (autos compactos, pickups, camionetas, etc.), 8.03% C2, 4.08% C3, 15.11% T3-S2, 4.20% T3-S3 y 2.16% T3-S2-R4, en tanto que la dirección a Texcoco el flujo vehicular corresponde a 5 088 ciclos de carga diarios, desglosados de la siguiente forma: 70.75% vehículos ligeros, 6.60% C2, 3.93% C3, 12.42% T3-S2, 2.99% T3-S3, 3.30% T3-S2-R4.

Para calcular la proyección de tránsito se utilizó el flujo vehicular en la dirección Calpulalpan como base, por ser el mayor para los próximos 10, 20 y 30 años, con una tasa de crecimiento de 2%, 4% y 6% ^[19]. Las proyecciones se obtuvieron mediante la fórmula: $CV = CVA (1 + i)^n$ en donde CV = cantidad de vehículos en n años, CVA = cantidad de vehículos actual, i = tasa de crecimiento, n = número de años ^[19], los resultados calculados se muestran en la figura 5.16.

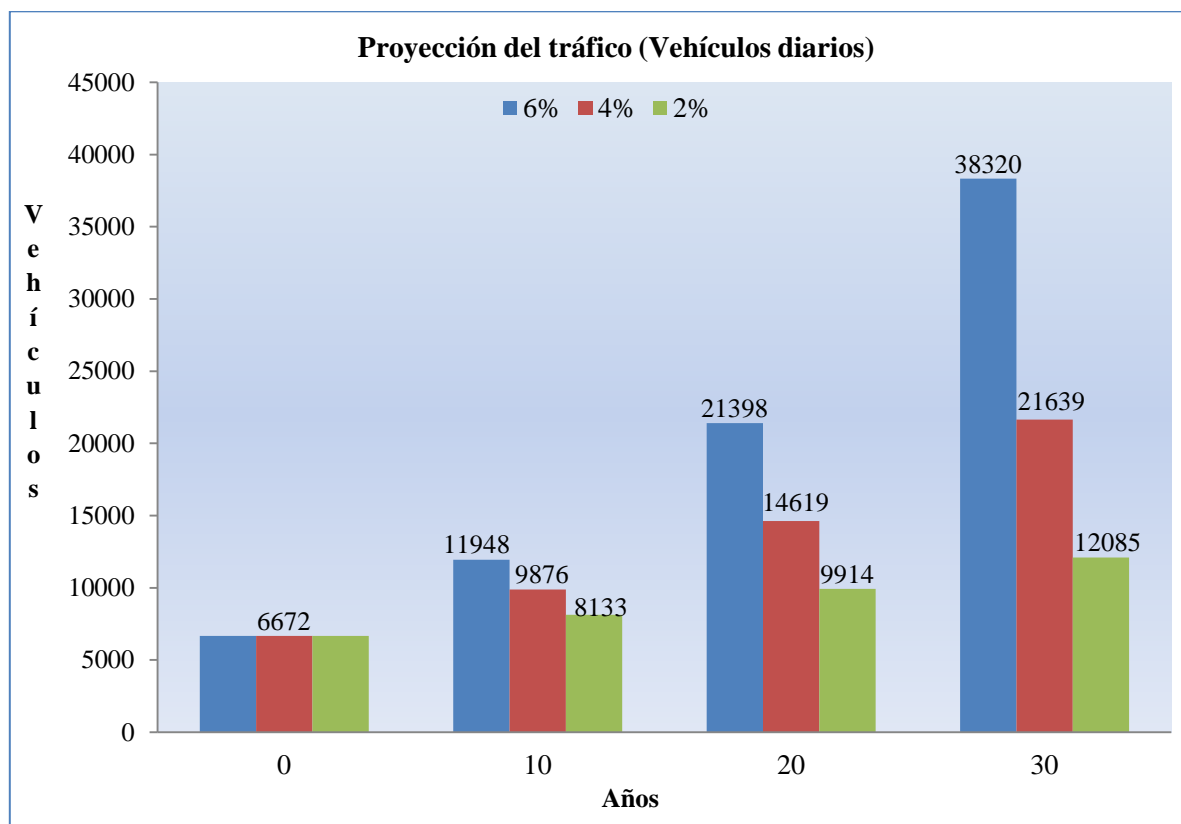


Figura 5.16 Flujo vehicular proyectado a 10, 20 y 30 años

5.4 Distribuciones estadísticas de esfuerzos del puente Barranca Honda

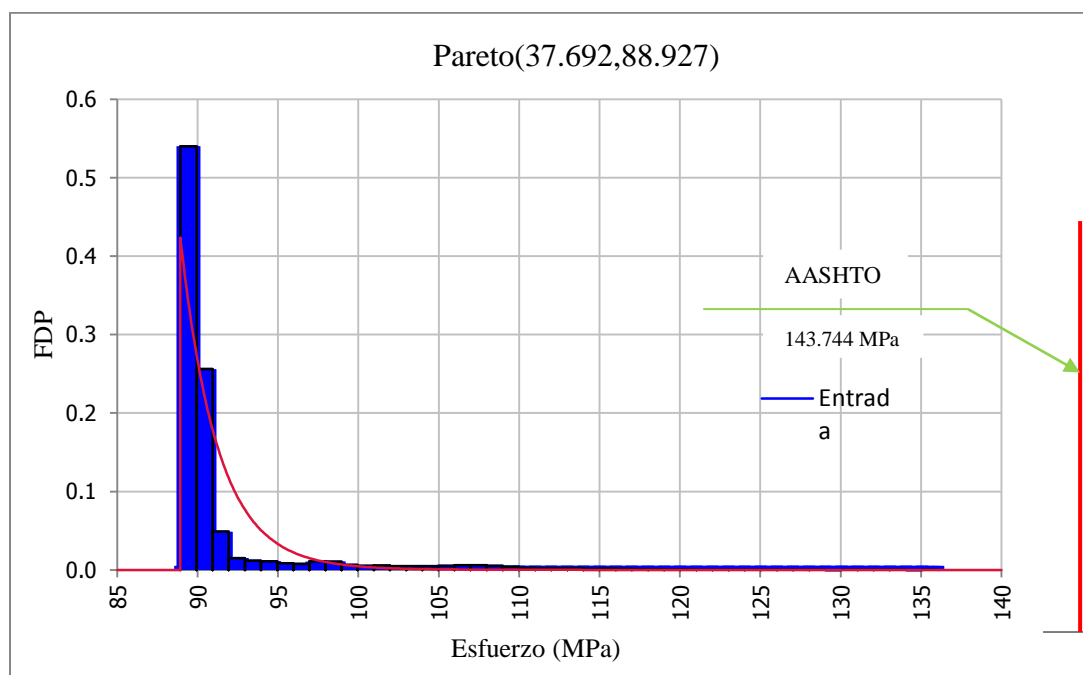
Para el cálculo de los esfuerzos, se consideraron los vehículos ligeros con un peso fijo de 3000 kg y una distancia entre ejes de 2 m, en vehículos C2, C3, T3-S2, T3-S3 y T3-S2-R4, la distribución de pesos y la distancia entre ejes, se tomó de acuerdo a las tablas 3.8 y 5.2, respectivamente. Así también, debido a que las simulaciones se realizaron en condiciones estáticas, se utilizó un factor de amplificación dinámica de 1.5 (Quintana, 2009).

Tabla 5.2 Distancia entre ejes de los vehículos

Vehículo	C2	C3	T3-S2		T3-S3		T3-S2-R4			
Número de ejes	2	2	3		3		5			
Distancia entre ejes	Ejes	Ejes	Ejes	Ejes	Ejes	Ejes	Ejes	Ejes	Ejes	Ejes
	1-2	1-2	1-2	2-3	1-2	2-3	1-2	2-3	3-4	4-5
	5 m	5 m	4 m	11 m	4 m	5 m	4 m	9 m	2 m	9 m

En los resultados de la gráfica 5.14 se observa que algunas proyecciones de los flujos vehiculares son muy cercanas ($11\,948 \approx 12\,085$, $9\,876 \approx 9\,914$, $21\,398 \approx 21\,639$), razón por la que se decidió obtener la distribución de esfuerzos de siete escenarios: flujo actual y las proyecciones en 10 años con tasas de crecimiento de 2%, 4% y 6%, en 20 años 4% y 6%, y en 30 años 6%. Para obtener estas distribuciones de esfuerzos del puente se realizaron 60,000 simulaciones con el programa Monte Carlo para cada escenario mencionado. Esta cantidad de simulaciones se seleccionó debido a que, a partir de 40 000 simulaciones, existe poca variación en los datos obtenidos (media, desviación estándar y los parámetros que componen la función de densidad probabilidad), en 60,000 simulaciones la media varía un 0.08% respecto a la media obtenida; efectuando 40 000 simulaciones y la desviación estándar solo varía 0.00 03%.

Las distribuciones de esfuerzos obtenidos para cada escenarios se muestran en las figuras 6.17 a 6.23, la línea roja vertical representa el esfuerzo de diseño AASHTO (143.744 MPa) calculado en la sección 5.2.

**Figura 5.17 Distribución de esfuerzos del flujo actual**

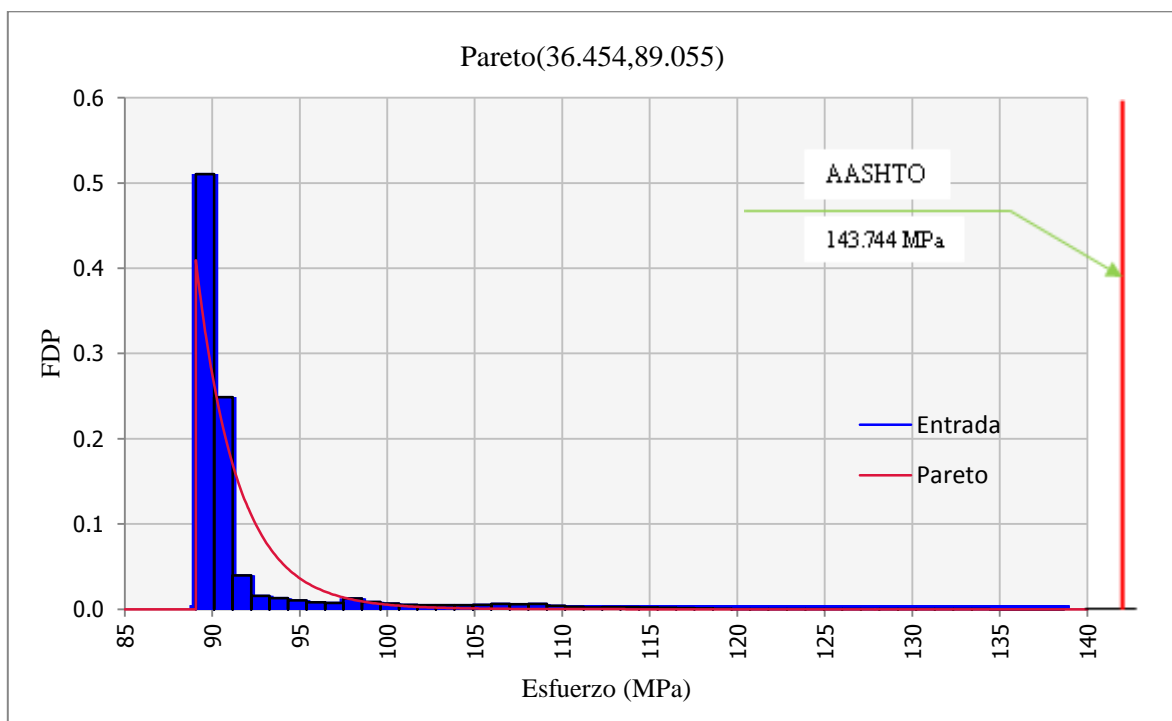


Figura 5.18 Distribución de esfuerzos con proyección a 10 años y tasa de crecimiento de 2%

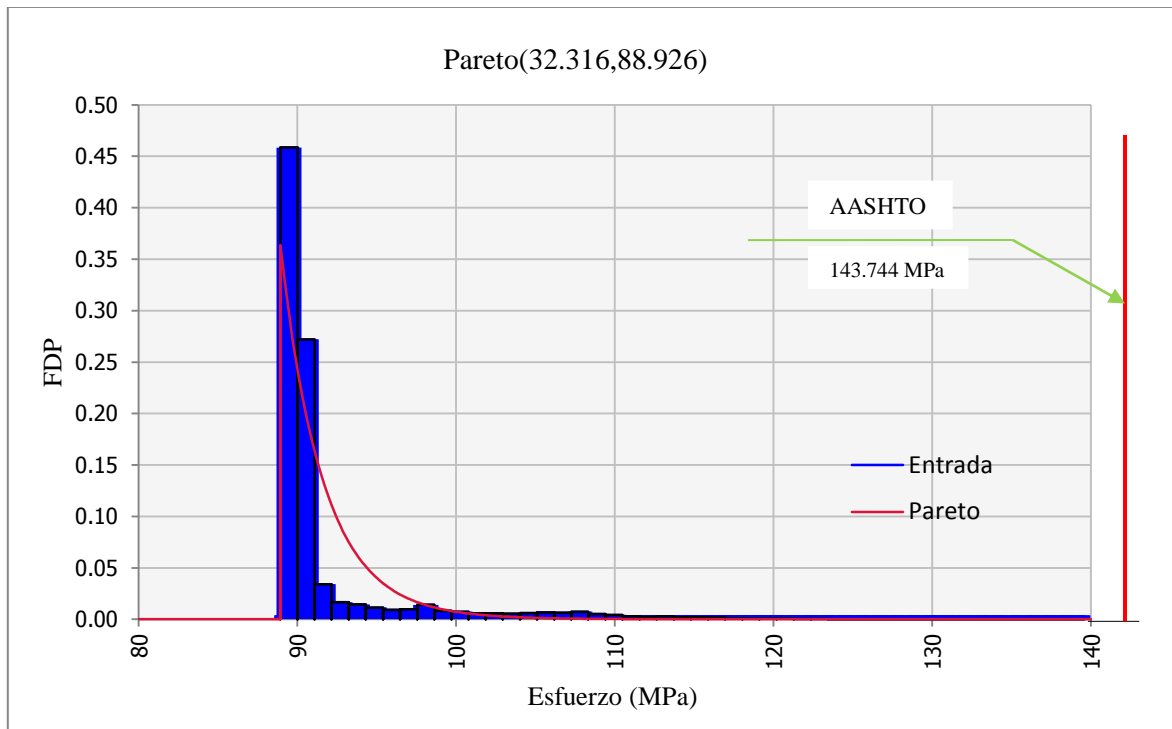


Figura 5.19 Distribución de esfuerzos con proyección a 10 años y tasa de crecimiento de 4%

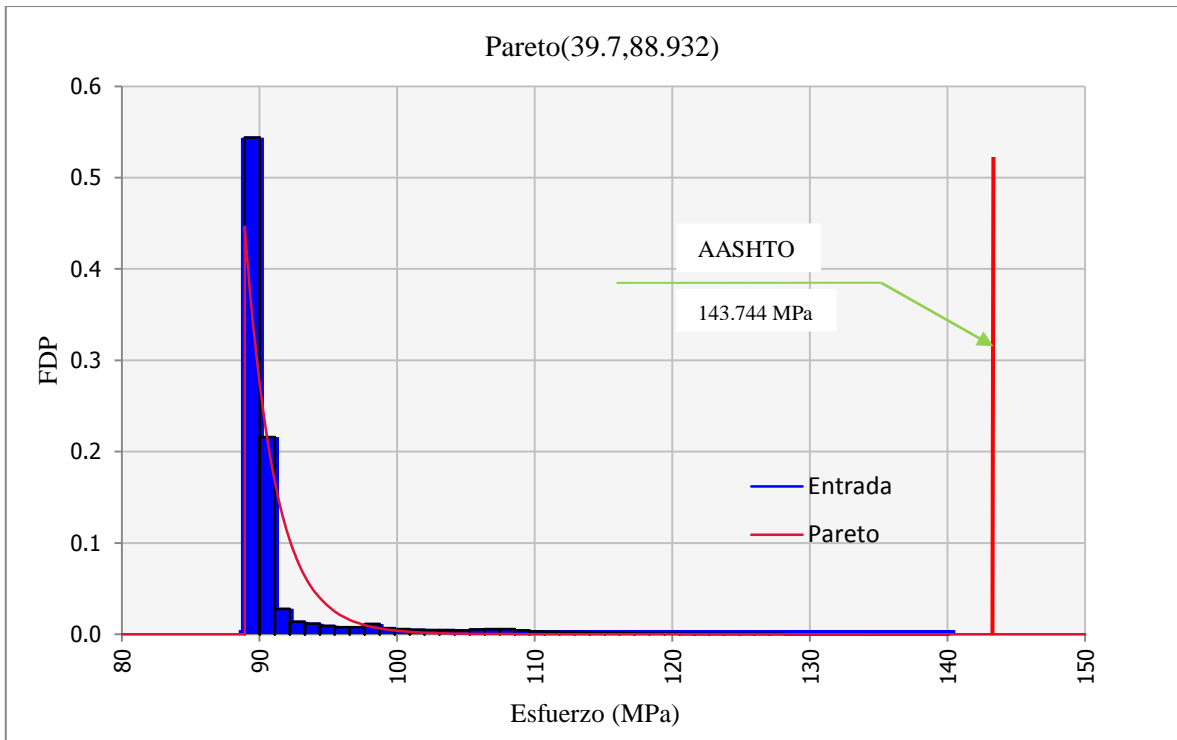


Figura 5.20 Distribución de esfuerzos con proyección a 10 años y tasa de crecimiento de 6%.

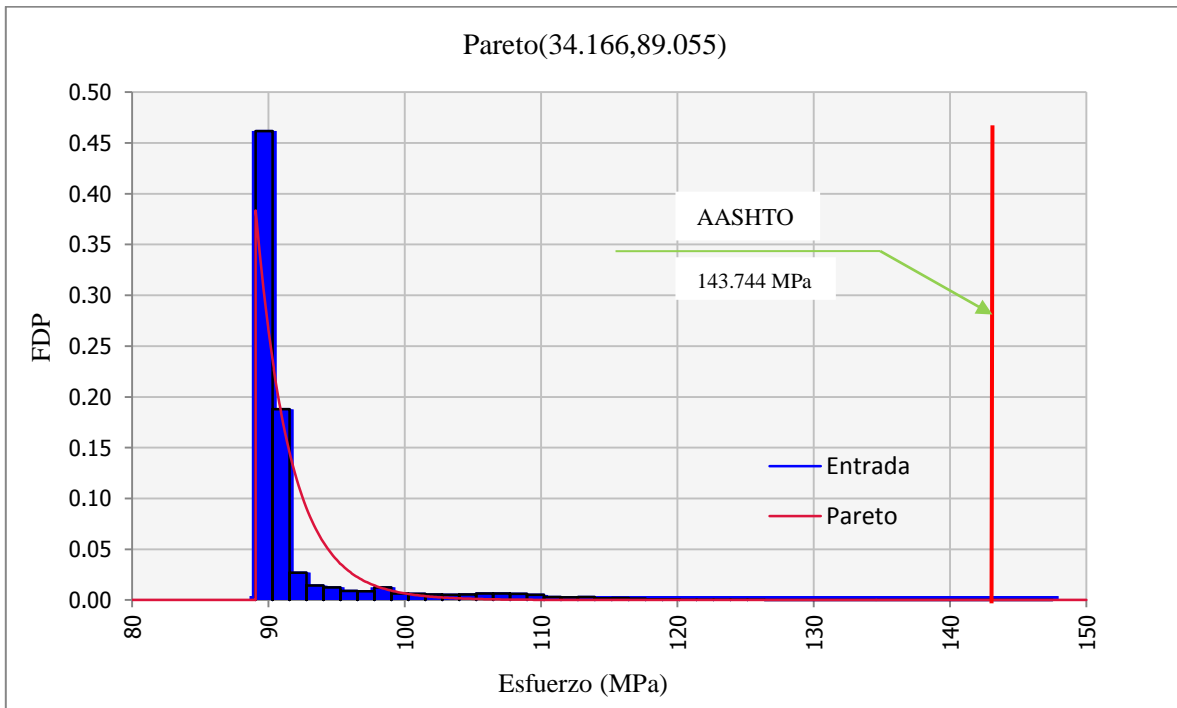


Figura 5.21 Distribución de esfuerzos con proyección a 20 años y tasa de crecimiento de 4%

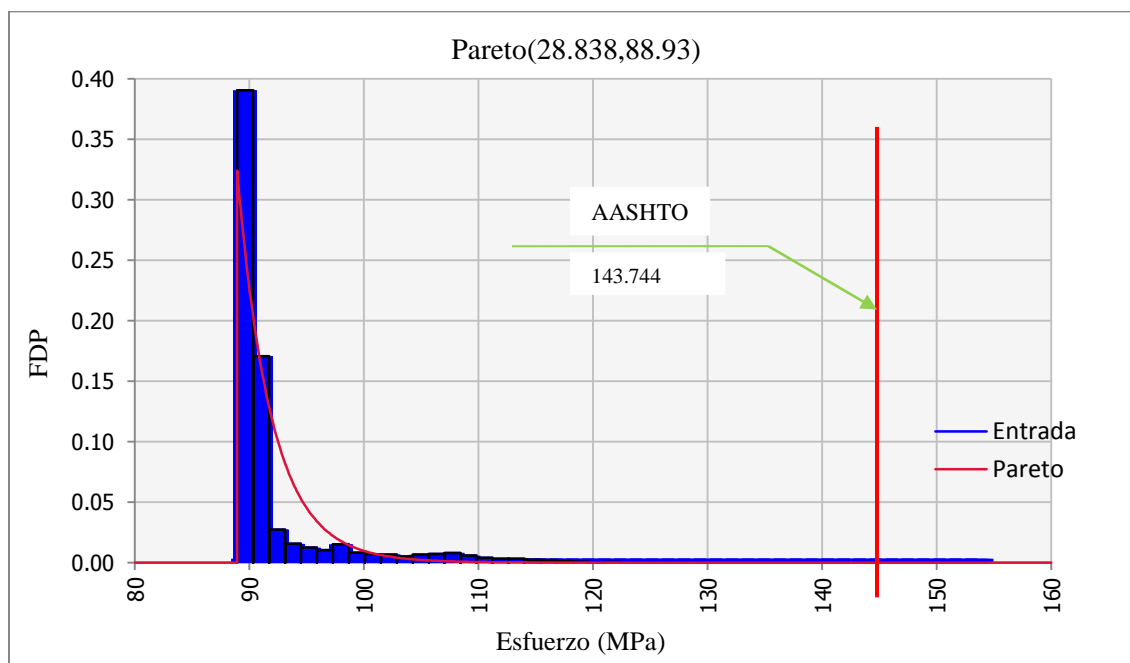


Figura 5.22 Distribución de esfuerzos con proyección a 20 años y tasa de crecimiento de 6%

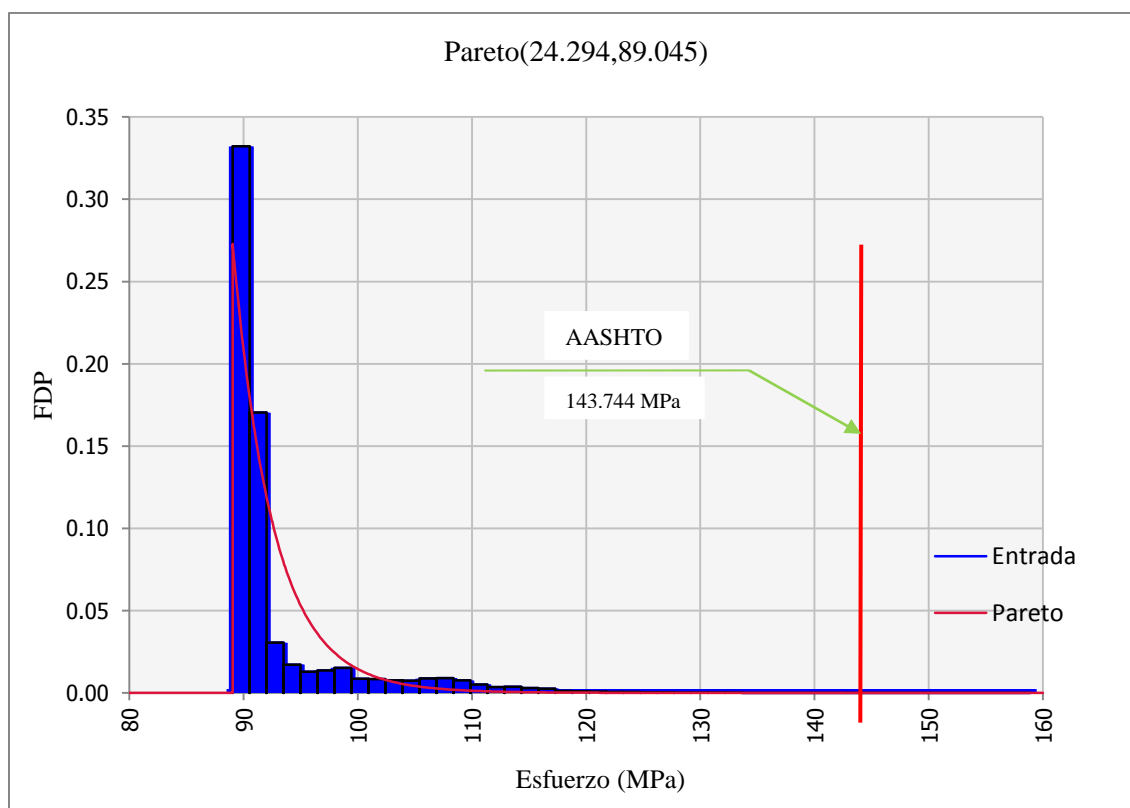


Figura 5.23 Distribución de esfuerzos con proyección a 30 años y tasa de crecimiento de 6%

5.5 Desempeño estructural del puente Barranca Honda

Para evaluar el desempeño estructural del puente se utilizaron, como parámetros comparativos, el factor de seguridad del puente y el esfuerzo de diseño AASHTO. Para calcular el factor de seguridad en los escenarios: flujo actual y las proyecciones en 10 años con tasas de crecimiento de 2%, 4% y 6%, en 20 años 4% y 6%, y en 30 años 6%, se consideró un acero estructural M270 grado HPS 485W (AASHTO), con una resistencia de fluencia de 485 MPa y los valores de esfuerzo máximo encontrados en cada uno de los siete escenarios mencionados.

De la distribución de esfuerzos encontrada con el flujo vehicular actual mediante la simulación Monte Carlo, se registró un esfuerzo máximo de 136.074 MPa, este valor es 5.35% menor al esfuerzo de diseño de AASHTO (143.774 MPa), bajo estas condiciones el puente opera con un factor de seguridad igual a 3.56.

Para la distribución de esfuerzos, generada con proyección de flujo vehicular en 10 años y con una tasa de crecimiento de 2%, se registró de la simulación un esfuerzo máximo de 138.664 MPa, el cual es 3.55% menor que el esfuerzo de diseño de AASHTO con un factor de seguridad de 3.50.

En lo que respecta a la proyección de flujo vehicular a 10 años y tasa de crecimiento del 4% y 6%, se encontró un esfuerzo máximo de 139.601 MPa y 140.134 MPa respectivamente, con un factor de seguridad de 3.47 para la primera tasa de crecimiento y 3.46 para la segunda tasa.

En la proyección de flujo vehicular a 20 años y tasas de crecimiento de 4% y 6%, el esfuerzo máximo registrado en la simulación Montecarlo es igual 147.538 MPa y 154.436 MPa. Finalmente, para la proyección de flujo vehicular a 30 años y tasa de crecimiento de 6%, se registró un esfuerzo máximo de en 158.916 MPa

En la tabla 5.3 se muestra un resumen de los datos obtenidos de las simulaciones Monte Carlo para los diferentes escenarios y en la figura 5.24 se muestra el número de casos que superan el esfuerzo de diseño AASHTO.

Tabla 5.3 Factores de seguridad y esfuerzos máximos de la simulación Monte Carlo

Flujo vehicular	Tasa de crecimiento	Esfuerzo Máximo (MPa)	Factor de seguridad	% de variación esfuerzo máximo y esfuerzo de diseño AASHTO	AASHTO cumple
actual	0%	136.074	3.56	< 5.36%	Si
10 años	2%	138.664	3.50	< 3.55%	Si
10 años	4%	139.601	3.47	< 2.90%	Si
10 años	6%	140.134	3.46	< 2.53%	Si
20 años	4%	147.538	3.29	> 2.62%	No
20 años	6%	154.436	3.14	> 7.42%	No
30 años	6%	158.916	3.05	> 10.53%	No

* Esfuerzo de diseño AASHTO igual a 143.774 MPa.

(% de variación = $[(\text{esfuerzo máximo} \div \text{esfuerzo AASHTO}) * 100 - 100]$)

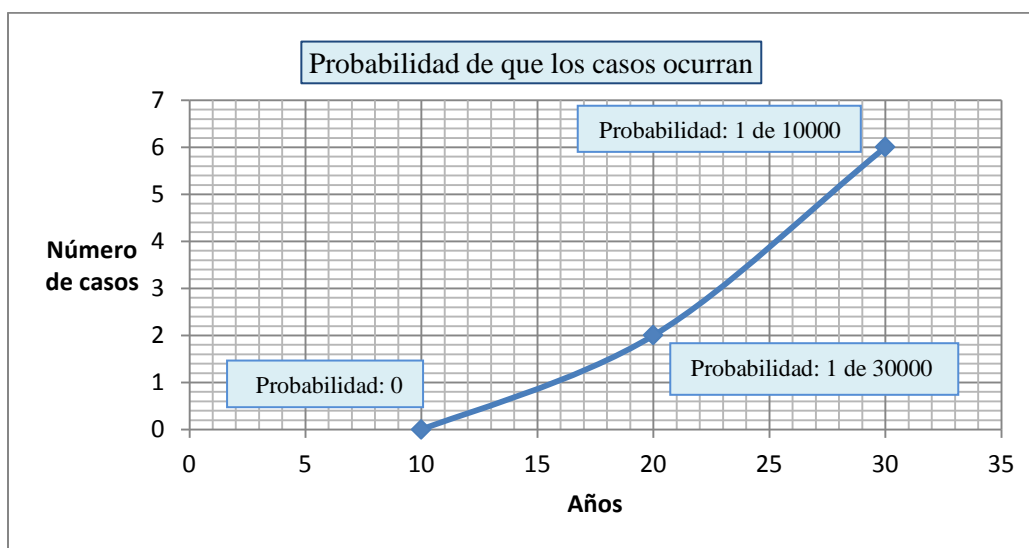


Figura 5.24. Número de casos que superan el esfuerzo de diseño AASHTO

En la tabla 5.3 se observa que el factor de seguridad en el flujo actual es de 3.56 y baja gradualmente hasta 3.05 en el escenario proyección de flujo vehicular a 30 años con tasa de crecimiento de 6%. También se observa que el esfuerzo de diseño AASHTO es superado por el máximo esfuerzo obtenido en la simulación Montecarlo, a partir del escenario correspondiente a la proyección del flujo en 20 años con una tasa de crecimiento de 4%.

El número de casos que superan el esfuerzo de diseño AASHTO se muestra en la figura 5.24, considerando que se realizaron 60,000 simulaciones por escenario, la probabilidad de que estos casos sucedan es: para 10 años cero, para 20 años es

1 en 30 000, y para 30 años es 1 en 10 000. Los resultados obtenidos en los distintos escenarios muestran un factor de seguridad mayor que 3 y la posibilidad de superar el esfuerzo de diseño AASHTO es mínima (1 en 10 000), de acuerdo a estos resultados se observa que el puente Barranca Honda soportará el tráfico actual, y en los próximos 30 años, considerando que los materiales estructurales del puente no han tenido degradación.

6 Conclusiones

La metodología propuesta es una alternativa para evaluar y realizar diagnósticos de los niveles de esfuerzos originados por carga viva, principalmente por incremento en el flujo vehicular y de los pesos transportados. Es importante resaltar la importancia de tener un modelo de elemento finito de la estructura calibrado y la información de la composición vehicular y pesos que circulan por el puente para obtener resultados con mayor confiabilidad.

Aunque la probabilidad de sobrepasar los límites establecidos por el código AASHTO a los 30 años de servicio en la estructura analizada es baja, se ha reconocido que los mecanismos de deterioro por fatiga y corrosión (Bastidas-Arteaga, 2009) en este tipo de estructuras provocan degradación gradual de rigidez en los elementos del sistema, por lo que resulta fundamental la inclusión de estos mecanismos de deterioro en la metodología propuesta.

Por otro lado, mediante el desarrollo de modelos paramétricos de este tipo de estructuras, se espera evaluar la condición estructural a través de simulación Monte Carlo y el empleo de pruebas de campo simplificadas, e inscribir esta técnica como una herramienta más de evaluación de la integridad de nuestra infraestructura carretera en los sistemas de gestión de puentes.

Bibliografía

AASHTO. LRFD bridge desing specifications. 4th 2007.

Baeza P. J. Tutorial rápido de Fortran: Versiones Fortran 77 y 90. <http://iate.oac.uncor.edu/~manuel/astro2/FortranTutorial.pdf>

Barousse Moreno, M. Galindo Solórzano, A. Sistema de administración de puentes. Publicación técnica No.49 del IMT y la SCT. Sanfandila, Qro. 1994.

Bedair, H. M. & H. T. Al-Saad. Dissolved and Particula de Adsorbed Hydrocarbons in Water of Shatt Al-Arab River, Iraq. Water, Air, Soil Pollution. Iraq (1992).

Carrión Viramontes, F. J. Quintana Rodríguez, J. A. López López, J. A. Metodologías de inspección no destructiva aplicables a sistemas de gestión de puentes. Publicación técnica No.302 del IMT y la SCT. Sanfandila, Qro. 2006.

Crespo Sánchez, S. Análisis del deterioro estructural y prognosis de un puente típico de concreto utilizando simulación MonteCarlo. UAQ. 2011.

Devore, J. L. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Cengage Learning. Séptima edición. 2008.

Doyle, J. F. Guided Explorations on the Mechanics of Solids & Structures. Purdue University. 2006.

Fossas Requena, F. Cargas vivas sobre puentes. Memoria del Seminario Internacional de Puentes 1991.IMT. Pag.53.

Hibbeler, R. C. Structural Analysis. Prentice Hall. 6th Ed. 2005.

Lawrence, N. Compaq Visual Fortran: A guide to creating windows applications. Elsevier Digital Press. 2002

Luthe, R. Olivera, A. Shutz, F. Métodos numéricos. Limusa. Quinta reimpresión. 1985.

Masonry. Heritage Study of Masonry Bridges in NSW. 2005.

Quintana Rodríguez, J. A. Análisis del método de búsqueda global para la detección de daño y monitoreo estructural de puentes. IPN. 2009.

Rascón, O. A, Barousse, M. Ventura, G. Análisis normativo y estadístico de cargas vivas en puentes en México. Publicación Técnica No. 97, Instituto Mexicano del Transporte. 1997.

Rascón, O. A. Desarrollo de un modelo de cargas vivas para diseño de puentes en México. Revista Ingeniería Civil No. 366. 1999. Colegio de Ingenieros Civiles de México.

Rascón, O. A. Formulación de la norma SCT de cargas vehiculares para diseño estructural de puentes carreteros. Publicación Técnica No 243. Sanfandila, Qro. 2004.

Samayoa Ochoa, D. Balankin, A. Carrión Viramontes, F. J. López López, J. A. Análisis de confiabilidad y riesgo en puentes atirantados. Publicación Técnica No. 301. Sanfandila, Qro 2006.

SCT, NOM-012-SCT-2-2008, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal, 2008.

SCT. Principales estadísticas del sector comunicaciones y transportes. 2009.

SCT. Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal. 2006.

Sukhen Chatterjee. The Design of Modern Steel Bridges. Blackwell Science. Second Edition. 2003.

Vázquez, M. López, E. El método de los elementos, finitos aplicado al análisis estructural. Editorial Noela – Madrid. 2001.

Anexo 1 Programa: Probabilidad de ocupación del número de vehículos sobre el puente Barranca Honda (Fortran)

```
c      programa para obtener el % de ocupación
integer, dimension (100000):: V1,V2
integer::t,nd,cont,cont1
real::jaq,a,b,c,fab,d
write(*,*)'Introduzca el número de datos'
read(*,*)nd
write(*,*)'Introduzca el tiempo total en segundos'
read(*,*)t
idat=20
open(unit=idat, file='tiempos.dat')
rewind(idat)
do i=1, nd
    read(idat,*)V1(i)
    v1(i)=v1(i)+8
enddo
jaq=0.0
do j=1, 10
    v2(j)=0
enddo
do i=1, t
    cont=0
    do j=1, nd
        if(i .le. v1(j)) then
            if(V1(j) .le. i+7)then
                cont=cont+1
            endif
        endif
    enddo
    if (cont .eq. 0)then
```

```
        cont1=cont1+1
    endif
    do j=1, 10
        if (cont .eq. j) then
            v2(j)=v2(j)+1
        endif
    enddo
enddo
d=0
do j=1, 10
c    write(*,*)v2(j),t
    a=v2(j)
    b=t
    c=cont1
    jaq=(a/b)*100
    d=d+jaq
    write(*,*)'la probabilidad de',j,'vehiculos es',jaq
enddo
fab=c/b*100
d=d+fab
write(*,*)'la probabilidad de cero vehiculos es',fab
write(*,*)'la probabilidad total',d
end
```

Anexo 2 Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos

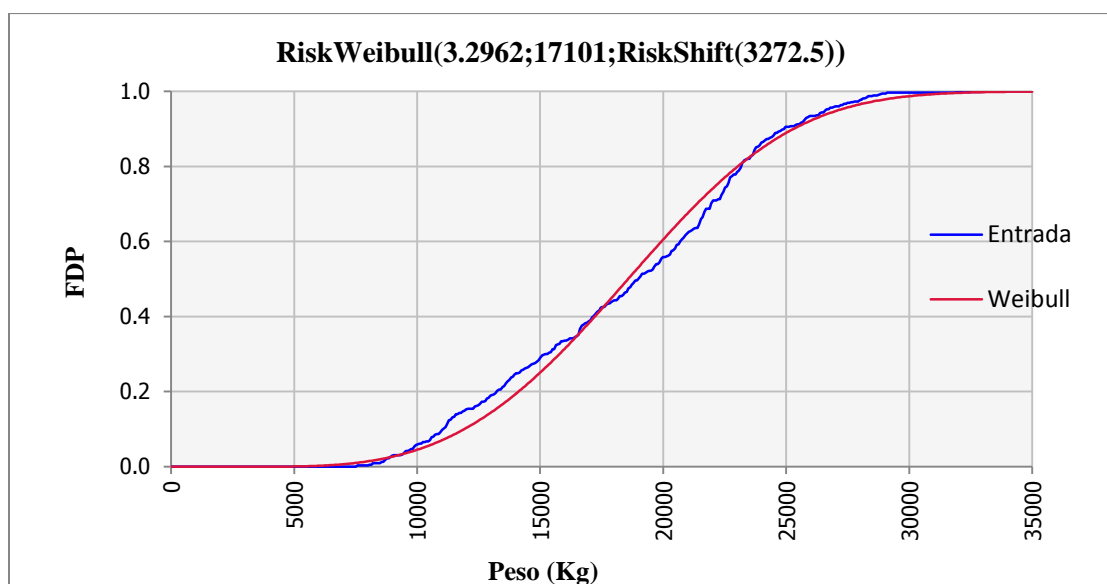


Figura A2.1 Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos C3, no excedidos y sobrecargados

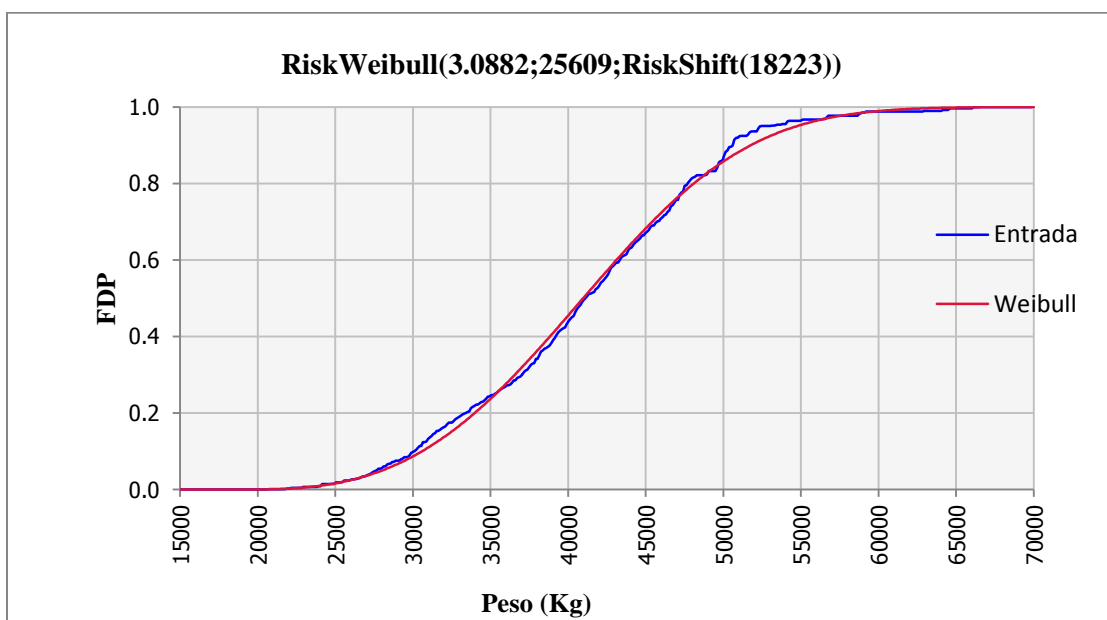


Figura A2.2 Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos T3-S2, no excedidos y sobrecargados

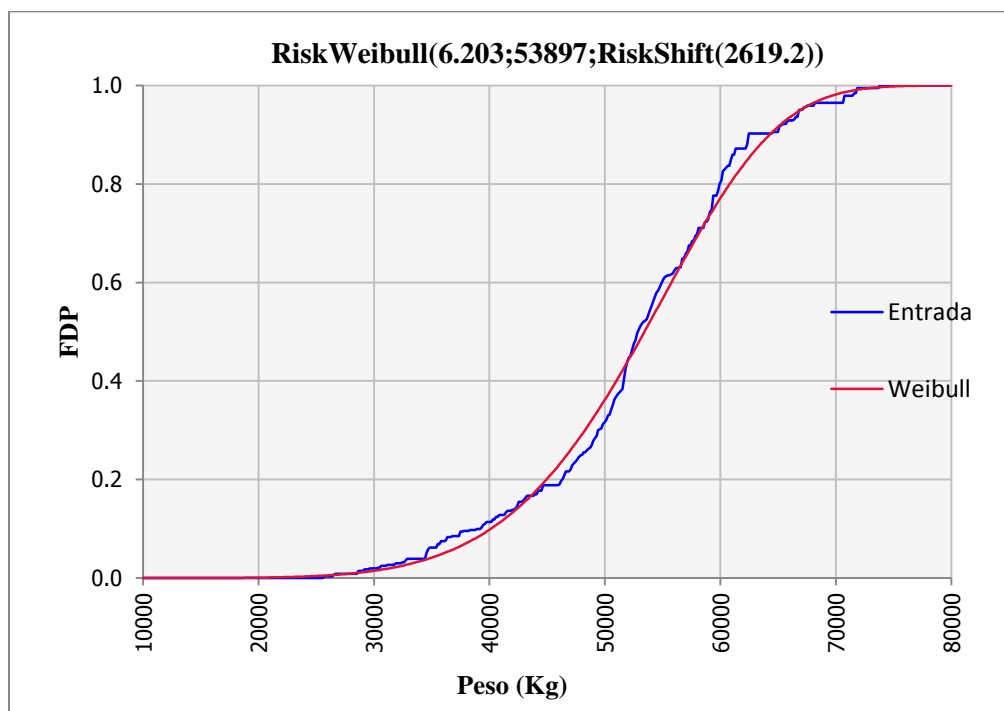


Figura A2.3 Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos T3-S3, no excedidos y sobrecargados

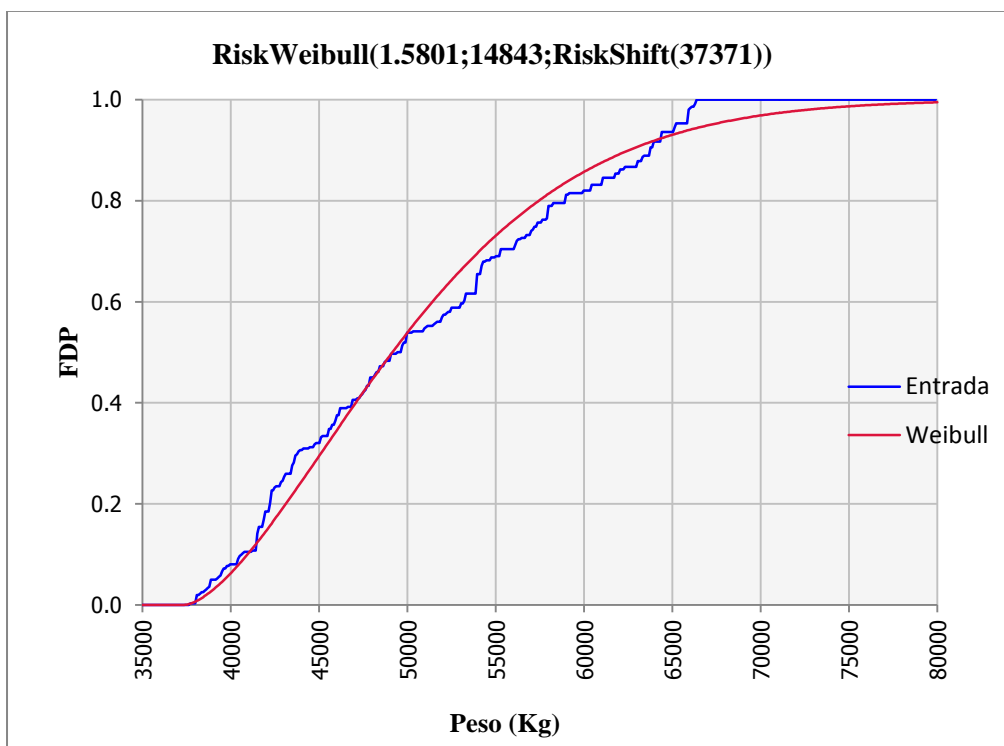


Figura A2.4 Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos T3-S2-R4, no excedidos

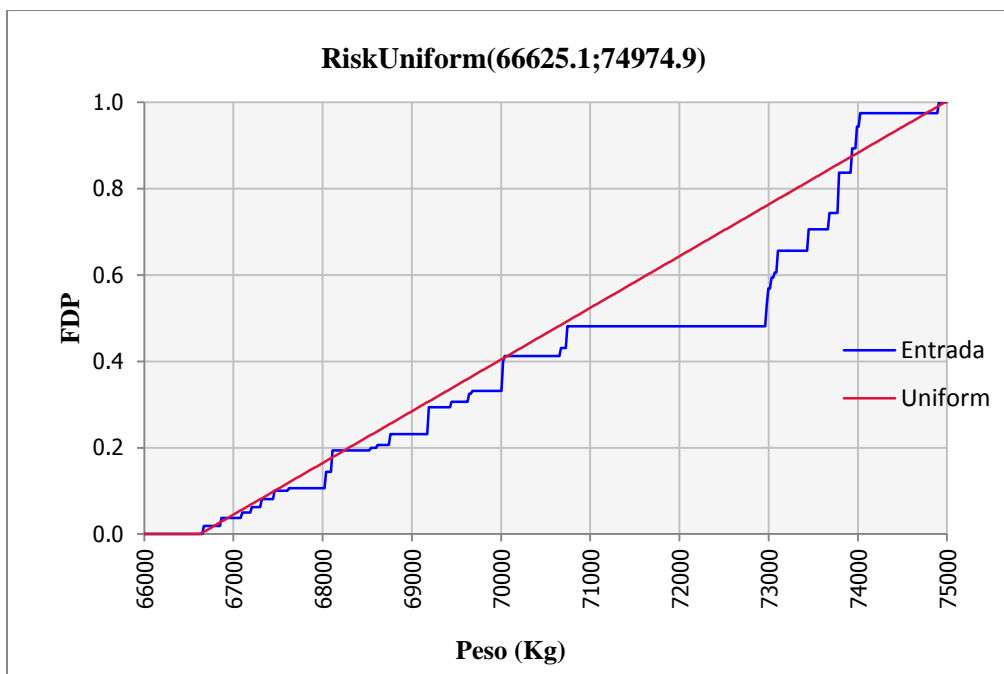


Figura A2.5 Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos T3-S2-R4, sobrecargados 1

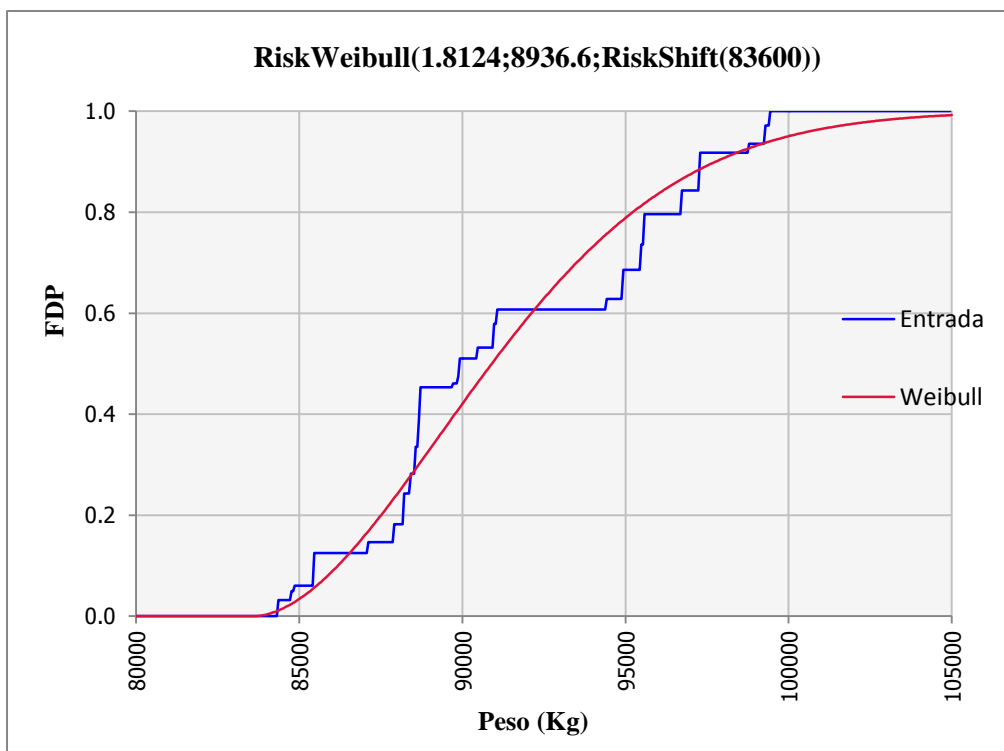


Figura A2.6 Frecuencia relativa acumulada del peso de vehículos T3-S2-R4, sobrecargados 2

Anexo 3 Programa de simulación Monte Carlo

```
c Programa para calcular los esfuerzos en el puente Barranca Honda
c
USE msflib
Integer::N,Z,Nve,ve,cuerpo,sum,sum1,dummy,jaq3,fab,carril1,carril2
Integer::pau1,pau2,buitre,jaq4,jaq5,fel,ferrel,contveh1,conveh
Integer::jaqur,empalme,num11,fel1,fel2,fel3,conta33,contaQQ
Real::fa,fa2,fa3,fa4,fa5,fac
c Real::jaq1,jaq2,hi
Integer, Dimension(200000)::cont,line,conta,nodo,nosta,eje1,eje2
Integer, Dimension(200000)::espacio
real, Dimension(200000)::proveh,carril,ye
Integer, dimension(100000,15)::MP,prueba,prueba1,AA,BB,DD
Real, dimension(100000,15)::portive,pesos,carga,posici,cargano
Real, dimension(100000,15)::mirror,espejo,CC,EE,FF,GG
Real, dimension(100000,25)::HH
character*8::ab
logical (4) gamma
conteo=0
fel2=0
ioutb=32
open(unit=ioutb, file='deflexi.dat')
rewind(ioutb)
write(ioutb,84)255,269,282,295,309,323,336,349,362,375,390,
& 277,290,303,316,329,342,355,367,380,393,406
* se pregunta por el factor dinámico
write(*,*)'escribe el factor dinamico'
read(*,*)fac
* se determina el número aleatorio
Write(*,*)'Escribe el número de impar de 6 digitos'
read(*,*)Z
* Se determina el número de ciclos
Write(*,*)'Escribe el núm. de ciclos por calcular'
read(*,*)N
c
* Se pregunta el porcentaje de ocupación del puente
c
write(*,*)'Escribe el máximo núm. de vehiculos '
```

```
read(*,*)ve
ve=ve+1
do i=1, ve
  proveh(i)=0
  cont(i)=0
  carril(i)=0
enddo
do j=1, 6
  conta(j)=0
enddo
do i=1, ve
  write(*,*)'Escribe la prob. para ',i-1,' vehiculos'
  read(*,*)proveh(i+1)
  proveh(i+1)=proveh(i+1)*10000+proveh(i)
enddo
proveh(ve+2)=10000

c
*   Se pregunta el porcentaje de prob. por carril
c
do j=1, 4
  write(*,*)'Escribe la probabilidad del carril',j
  read(*,*)carril(j+1)
  carril(j+1)=carril(j+1)*10000+carril(j)
enddo
carril(5)=10000
do j=1, 5
  write(*,*)carril(j)
enddo

c
c   se pregunta por el porcentaje del tipo de vehículo
c
do i=1, 2
do j=1, 6
  write(*,*)'Para el carril',i
  write(*,*)'Porcentaje de vehiculos tipo',j
  read(*,*)portive(i,j+1)
  portive(i,j+1)=portive(i,j+1)*10000+portive(i,j)
  portive(i+2,j+1)=portive(i,j+1)
enddo
enddo
do i=1, 4
  portive(i,7)=10000
  portive(i,1)=0
enddo
```



```

c
c  pregunta por el % de pesos vacios y con carga
c
  do i=1, 6
    pesos(i,1)=0
    Write(*,*)'Escribe % de vacios del tipo',i
    read(*,*)pesos(i,2)
    pesos(i,2)=pesos(i,2)*10000
    write(*,*)'Escribe % de con carga del tipo',i
    read(*,*)pesos(i,3)
    pesos(i,3)=pesos(i,3)*10000+pesos(i,2)
    write(*,*)'Esc. % de con sobcarg I del tipo',i
    read(*,*)pesos(i,4)
    pesos(i,4)=pesos(i,4)*10000+pesos(i,3)
    pesos(i,5)=10000
    write(*,*)pesos(i,1:5)
  enddo
c  comienza el ciclo principal
c
  do i=1, N
    fa=ran(z)*10000
    Nve=0
c
c  asignación de núm. de vehiculos por iteración
c
    do j=1, ve
      if(fa .ge. proveh(j))then
        if(fa .le. proveh(j+1))then
          Nve=j
        endif
      endif
      if(Nve .eq. j)then
        cont(j)=cont(j)+1
      endif
    enddo
c
c  Revision ciclo de asignación de vehiculos
c
c  do j=1, ve
c    jaq1=cont(j)
c    jaq2=N
c    write(*,*)(jaq1/jaq2)*100
c  enddo
c  termina subrutina
c

```

```
c
c   Comienza asignación de carril
c
    do j=1, 4
    line(j)=0
    enddo
    If(Nve .eq. 1)then
    Conta(5)=conta(5)+1
    endif
    if(nve .gt. 1)then
    Conta(6)=nve-1+conta(6)
    endif
    do k=1, Nve-1
    fa2=ran(Z)*10000
c   write(*,*)fa2
    do j=1, 4
    if(fa2 .ge. carril(j))then
    if(fa2 .le. carril(j+1))then
    cuerpo=j
    endif
    endif
    if(cuerpo .eq. j)then
    line(j)=line(j)+1
    cuerpo=0
    endif
    enddo
    enddo
c   write(*,*)nve-1
    do j=1, 4
c   write(*,*)j,line(j)
    conta(j)=conta(j)+line(j)
    enddo
c   read(*,*)hi
c
c   termina asignación de carril
c
c
c   Comienza asignación de tipo de vehículos
c
    sum=line(1)+line(2)+line(3)+line(4)
    sum1=conta(5)+Conta(6)
c   write(*,*)'los valores son'
c   write(*,*)sum,sum1
*   read(*,*)hi
```

```

do j=1, 4
do l=1,line(j)
fa3=ran(z)*10000
do k=1, 6
if(line(j) .gt. 0)then
if(fa3 .ge. portive(j,k))then
if(fa3 .le. portive(j,k+1))then
carga(sum1+1-sum,1)=i
MP(sum1+1-sum,2)=i
Mp(sum1+1-sum,3)=j
Mp(sum1+1-sum,4)=k
c
c   Asignación de pesos
c
fa4=ran(z)*10000
do m=1, 4
if(fa4 .ge. pesos(K,m))then
if(fa4 .le. pesos(k,m+1))then
Mp(sum1+1-sum,5)=m
c
c   prueba porcentaje de pesos
c
prueba1(k,m)=prueba1(k,m)+1
c
c
c
c   write(*,*)'hola'
c   write(*,*)k,m
c   write(*,*)'hola'
if (k .eq. 1)then
if (m .eq. 1)then
carga(sum1+1-sum,2)=3000.0*9.81*fac
endif
if (m .eq. 2)then
carga(sum1+1-sum,2)=3000.0*9.81*fac
endif
if (m .eq. 3)then
carga(sum1+1-sum,2)=3000.0*9.81*fac
endif
if (m .eq. 4)then
carga(sum1+1-sum,2)=3000.0*9.81*fac
endif
c
c   Ubicación de vehiculos ligero

```

```
c
  fa5=ran(z)
  do p=1, 204
    if(fa5 .ge. 0.0049019608*(p-1))then
      if(fa5 .le. 0.0049019608*p)then
        carga(sum1+1-sum,3:13)=-100
        carga(sum1+1-sum,3)=p
        carga(sum1+1-sum,4)=p+2
        carga(sum1+1-sum,5)=p
        carga(sum1+1-sum,6)=p+2
      endif
    endif
  enddo

c
c  Termina ubicación vehiculos ligeros
c
  endif

c
  if (k .eq. 2)then
    if (m .eq. 1)then
      carga(sum1+1-sum,2)=4430.06*9.81*fac
    endif
    if (m .eq. 2)then
      fa5=ran(z)
      carga(sum1+1-sum,2)=(106219*fa5**4-158383*fa5**3
        & +63779*fa5**2+5615*fa5+3123.8)*fac*9.81
    endif
    if (m .eq. 3)then
      carga(sum1+1-sum,2)=20500*fac*9.81
    endif
    if (m .eq. 4)then
      carga(sum1+1-sum,2)=20500*fac*9.81
    endif

c
c  Ubicación de ejes C2
c
  fa5=ran(z)
  do p=1, 204
    if(fa5 .ge. 0.0049019608*(p-1))then
      if(fa5 .le. 0.0049019608*p)then
        carga(sum1+1-sum,3:13)=-100
        carga(sum1+1-sum,3)=p
        carga(sum1+1-sum,4)=p+5
        carga(sum1+1-sum,5)=p
```

```

    carga(sum1+1-sum,6)=p+5
  endif
endif
enddo
c
c  Termina ubicación C2
c
  endif
c
  if (k .eq. 3)then
    if (m .eq. 1)then
      carga(sum1+1-sum,2)=7869.1*9.81*fac
    endif
    if (m .eq. 2)then
      fa5=ran(z)
      carga(sum1+1-sum,2)=(92483*fa5**3-
& 140550*fa5**2+75369*fa5
& +4603.4)*9.81**fac
    endif
    if (m .eq. 3)then
      carga(sum1+1-sum,2)=32000*9.81*fac
    endif
    if (m .eq. 4)then
      carga(sum1+1-sum,2)=32000*9.81*fac
    endif
  c
  c  Ubicación de ejes C3
  c
    fa5=ran(z)
    do p=1, 204
      if(fa5 .ge. 0.0049019608*(p-1))then
        if(fa5 .le. 0.0049019608*p)then
          carga(sum1+1-sum,3:13)=-100
          carga(sum1+1-sum,3)=p
          carga(sum1+1-sum,4)=p+5
          carga(sum1+1-sum,5)=p
          carga(sum1+1-sum,6)=p+1
          carga(sum1+1-sum,7)=p+5
        endif
      endif
    enddo
  c
  c  Termina ubicación C3
  c
    endif

```

```
c
  if (k .eq. 4)then
    if (m .eq. 1)then
      carga(sum1+1-sum,2)=19977*9.81*fac
    endif
    if (m .eq. 2)then
      fa5=ran(z)
      carga(sum1+1-sum,2)=(55938*fa5**4
&      +32308*fa5**3-142264*fa5**2
&      +96967*fa5+20757)*9.81*fac
    endif
    if (m .eq. 3)then
      carga(sum1+1-sum,2)=64000*9.81*fac
    endif
    if (m .eq. 4)then
      carga(sum1+1-sum,2)=64000*9.81*fac
    endif
c
c  Ubicación de ejes T3S2
c
  fa5=ran(z)
  do p=1, 204
    if(fa5 .ge. 0.0049019608*(p-1))then
      if(fa5 .le. 0.0049019608*p)then
        carga(sum1+1-sum,3:13)=-100
        carga(sum1+1-sum,3)=p
        carga(sum1+1-sum,4)=p+19
        carga(sum1+1-sum,5)=p
        carga(sum1+1-sum,6)=p+1
        carga(sum1+1-sum,7)=p+14
        carga(sum1+1-sum,8)=p+15
        carga(sum1+1-sum,9)=p+19
      endif
    endif
  enddo
c
c  Termina ubicación T3S2
c
  endif
c
  if (k .eq. 5)then
    if (m .eq. 1)then
      carga(sum1+1-sum,2)=25656*9.81*fac
```

```

    if (m .eq. 2)then
      fa5=ran(z)
      carga(sum1+1-sum,2)=(210999*fa5**3
&      -341500*fa5**2+183984*fa5
&      +21690)*9.81*fac
    endif
    if (m .eq. 3)then
      carga(sum1+1-sum,2)=73000*9.81*fac
    endif
    if (m .eq. 4)then
      carga(sum1+1-sum,2)=73000*9.81*fac
    endif
c
c  Ubicación de ejes T3S3
c
    fa5=ran(z)
    do p=1, 204
      if(fa5 .ge. 0.0049019608*(p-1))then
        if(fa5 .le. 0.0049019608*p)then
          carga(sum1+1-sum,3:13)=-100
          carga(sum1+1-sum,3)=p
          carga(sum1+1-sum,4)=p+19
          carga(sum1+1-sum,5)=p
          carga(sum1+1-sum,6)=p+1
          carga(sum1+1-sum,7)=p+2
          carga(sum1+1-sum,8)=p+14
          carga(sum1+1-sum,9)=p+15
          carga(sum1+1-sum,10)=p+19
        endif
      endif
    enddo
c
c  Termina ubicación T3S3
c
    endif
c
    if (k .eq. 6)then
      if (m .eq. 1)then
        carga(sum1+1-sum,2)=40143*fac*9.81
      endif
      if (m .eq. 2)then
        fa5=ran(z)
        carga(sum1+1-sum,2)=66400*9.81*fac
        if( fa5 .le. 0.91)then
          carga(sum1+1-sum,2)=(112422*fa5**3

```

```
&-138417*fa5**2+65119*fa5
&      +38187)*fac*9.81
endif
endif
if (m .eq. 3)then
fa5=ran(z)
carga(sum1+1-sum,2)=(8460*fa5+66551)*fac*9.81
endif
if (m .eq. 4)then
fa5=ran(z)
carga(sum1+1-sum,2)=(32872*fa5**4
&      -7824.3*fa5**3-37230*fa5**2
&      +33426*fa5+82529)*fac*9.81
endif
c
c  Ubicación de ejes T3S2R4
c
fa5=ran(z)
do p=1, 204
if(fa5 .ge. 0.0049019608*(p-1))then
if(fa5 .le. 0.0049019608*p)then
carga(sum1+1-sum,3:13)=-100
carga(sum1+1-sum,3)=p
carga(sum1+1-sum,4)=p+30
carga(sum1+1-sum,5)=p
carga(sum1+1-sum,6)=p+1
carga(sum1+1-sum,7)=p+10
carga(sum1+1-sum,8)=p+11
carga(sum1+1-sum,9)=p+14
carga(sum1+1-sum,10)=p+15
carga(sum1+1-sum,11)=p+24
carga(sum1+1-sum,12)=p+25
carga(sum1+1-sum,13)=p+30
endif
endif
enddo
c
c  Termina ubicación T3S2R4
c
endif
endif
endif
enddo
c
```



```

c
c
c
c
c
c   prueba porcentaje de vehiculos
c
    prueba(j,k)=prueba(j,K)+1
c   termina prueba
    sum=sum-1
*   write(*,*)MP(i,1:5)
*   read(*,*)hi
    endif
    endif
    endif
    enddo
    enddo
    enddo
    if(sum .le. 0)then
        MP(sum1,2)=i
        carga(sum1,1)=i
    endif
    enddo
c   write(*,*)'Estos son los datos'
    Conta(6)=conta(5)+Conta(6)
    do i=1, conta(6)
        MP(i,1)=i
c   write(*,*)MP(i,1:5)
c   write(*,*)carga(i,1:13)
    enddo
c   write(*,*)conta(1:6)
c   write(*,*)cont(1:ve)
    do i=1, 4
c   write(*,*)prueba(i,1:6)
    enddo
    do i=1, 6
c   write(*,*)prueba1(i,1:4)
    enddo
c
c   Búsqueda de nodos para el modelo clarobh
c
    idata=20
    open(unit=idata, file='nodos.dat')
    rewind(idata)
    do i=1,676

```

```
        read(idata,*)nodo(i),posici(i,1:3)
    enddo
    dummy=1
    do i=1, conta(6)
        if(MP(i,2) .eq. MP(i+1,2))then
            dummy=dummy+1
c       write(*,*)'Hola'
        goto 1000
        endif
        jaq3=0
        carril1=0
        carril2=0
        pau1=0
        pau2=0
        ye(1)=2.25
        ye(2)=4.6875
        ye(3)=6.3125
        ye(4)=8.75
        do j=1,100
            eje1(j)=0
            eje2(j)=0
        enddo
        do j=1, dummy
c       Write(*,*)j,dummy,MP(i-dummy+j,3)
        do fab=1, 2
            if (MP(i-dummy+j,3) .eq. fab)then
                if(fab .eq. 1)then
                    pau1=pau1+1
                endif
                if(fab .eq. 2)then
                    pau2=pau2+1
                endif
            do k=1, 9
                do l=1, 676
c         write(*,*)carga(i-dummy+j,4+k),posici(l,1)
c         read(*,*)hi
                if (carga(i-dummy+j,4+k) .eq. posici(l,1))then
                    if(ye(fab*2-1) .eq. posici(l,2))then
                        jaq3=jaq3+1
                        nosta(jaq3)=nodo(l)
                        if(fab .eq. 1)then
                            carril1=carril1+1
                            eje1(pau1)=eje1(pau1)+1
                        endif
```

```

        if(fab .eq. 2)then
            carril2=carril2+1
            eje2(pau2)=eje2(pau2)+1
        endif
c
c
        if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 1)then
            cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.25
        endif
c
c
        if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 2)then
            if(k .eq. 1)then
                cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.3
            endif
            if(k .eq. 2)then
                cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.2
            endif
        endif
c
c
        if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 3)then
            if(k .le. 2)then
                cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.18750
            endif
            if(k .eq. 3)then

                endif
            endif
c
c
        if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 4)then
            if(k .le. 4)then
                cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.10625
            endif
            if(k .eq. 5)then
                cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.075
            endif
        endif
c
c
        if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 5)then
            if(k .le. 3)then
                cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.08
            endif

```

```

    if(k .eq. 4)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.10
    endif
    if(k .eq. 5)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.10
    endif
    if(k .eq. 6)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.06
    endif
  endif
c
c
  if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 6)then
    if(k .le. 8)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.0575
    endif
    if(k .eq. 9)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.04
    endif
  endif
c
c
  write(*,*)'nodo'
  write(*,*)nosta(jaq3),cargano(jaq3,3)
  endif
  if(ye(fab*2) .eq. posici(l,2))then
    jaq3=jaq3+1
    nosta(jaq3)=nodo(l)
  endif
c
c
  if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 1)then
    cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.25
  endif
c
c
  if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 2)then
    if(k .eq. 1)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.3
    endif
    if(k .eq. 2)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.2
    endif
  endif
c
```

```

C
  if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 3)then
    if(k .le. 2)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.18750
    endif
    if(k .eq. 3)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.125
    endif
  endif

C
C
  if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 4)then
    if(k .le. 4)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.10625
    endif
    if(k .eq. 5)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.075
    endif
  endif

C
C
  if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 5)then
    if(k .le. 3)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.08
    endif
    if(k .eq. 4)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.10
    endif
    if(k .eq. 5)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.10
    endif
    if(k .eq. 6)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.06
    endif
  endif

C
C
  if(MP(i-dummy+j,4) .eq. 6)then
    if(k .le. 8)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.0575
    endif
    if(k .eq. 9)then
      cargano(jaq3,3)=carga(i-dummy+j,2)*0.04
    endif
  endif

```

```
c
c
  write(*,*)'nodo'
  write(*,*)nosta(jaq3),cargano(jaq3,3)
  endif
  endif
  enddo
  enddo
  endif
  enddo
  enddo
  dummy=1
c
c  Rutina para quitar los empalmes carril 1
c
  idatb=21
  open(unit=idatb, file='nodos4L.dat')
  rewind(idatb)
  do j=1, 52
    read(idatb,*)mirror(j,1:4)
    espejo(j,1:4)=mirror(j,1:4)
  enddo
  buitree=1
  conveh=0
  do j=1, pau1
    if(eje1(j) .gt. 0)then
      empalme=1
      conveh=conveh+1
c    write(*,*)'pau1',j
c    write(*,*)eje1(j)
      do l=1, 52
        if(nosta(buitree) .eq. mirror(l,1))then
          do k=l, 52
            if(nosta(buitree+eje1(j)*2-1) .ge. mirror(k,1))then
c          write(*,*)nosta(buitree+eje1(j)*2-1),mirror(k,1)
            mirror(k,1:2)=0
          endif
        enddo
        empalme=0
      endif
    enddo
    buitree=eje1(j)*2+buitree
  endif
enddo
```

```

c
c
c
c  write(*,*)'saludos'
c  write(*,*)i
  if(empalme .eq. 1)then
    empalme=0
    write(*,*)'empalme, empalme,empalme'
    write(*,*)i
    conteo=conteo+1
    jaq4=0
    fel=0
    buitre=1
    ferrel=0
    contveh1=0
    jaqur=0
    do j=1,pau1
      if(eje1(j) .gt. 0)then
        ferrel=ferrel+1
        contveh1=contveh1+1
      endif
      write(*,*)'oso oso',pau1
      if (ferrel .gt. 1)then
1  200      do l=1,52
        if(nosta(buitre) .eq. mirror(l,1))then
          goto 1100
        endif
        fel=fel+1
        if(fel .eq. 52)then
          jaq4=jaq4+1
          fel=0
          write(*,*)'paula',jaq4
          endif
          jaqur=0
          if (jaq4 .eq. 1) then
            jaq5=0
            do K=1, eje1(j)*2
              do m=1, 52
                if(nosta(buitre+k-1) .eq. espejo(m,1))then
                  jaq5=jaq5+1
                  espacio(jaq5)=m
                  jaq6=1
                  write(*,*)'oso2',jaq5,espacio(jaq5)
                endif
              enddo
            enddo
          enddo
        enddo
      enddo
    enddo
  enddo

```

```
if(jaq6 .eq. 1)then
if(jaq5 .gt. 1)then
jaqr=espacio(jaq5)-espacio(jaq5-1)+jaqr
write(*,*)'oso',espacio(jaq5-1)
nosta(buitre+jaq5*2-2)=espejo(1+jaqr,1)
nosta(buitre+jaq5*2-1)=espejo(1+jaqr,2)
jaq6=0
endif
endif
if(k .eq. 1)then
nosta(buitre)=espejo(1,1)
nosta(buitre+1)=espejo(1,2)
endif
enddo
goto 1200
endif
jaqr=0
if (jaq4 .eq. 2) then
jaq5=0
do K=1, eje1(j)*2
do m=1, 52
if(nosta(buitre+k-1) .eq. espejo(m,1))then
jaq5=jaq5+1
espacio(jaq5)=m
jaq6=1
write(*,*)'oso2',jaq5,espacio(jaq5)
endif
enddo
if(jaq6 .eq. 1)then
if(jaq5 .gt. 1)then
jaqr=espacio(jaq5)-espacio(jaq5-1)+jaqr
write(*,*)'oso',espacio(jaq5-1)
nosta(buitre+jaq5*2-2)=espejo(37+jaqr,1)
nosta(buitre+jaq5*2-1)=espejo(37+jaqr,2)
jaq6=0
endif
endif
if(k .eq. 1)then
nosta(buitre)=espejo(37,1)
nosta(buitre+1)=espejo(37,2)
endif
enddo
goto 1200
endif
```



```

        enddo
    endif
1   100      write(*,*)'pasa'
    if(eje1(j) .gt. 0)then
        buitre=eje1(j)*2+buitre
    endif
    enddo
    paro=paro+1
    endif

c
c   quitar empalmes del carril 2
c
    empalme=2
    buitre=0
    Do j=1, pau1
        if(eje1(j) .gt. 0)then
            buitre=buitre+eje1(j)*2
        endif
    enddo
    buitre=buitre+1
    write(*,*)'el buitre de carril 2 es',buitre
    conveh=0
    do j=1, pau2
        if(eje2(j) .gt. 0)then
            empalme=3
            conveh=conveh+1
c       write(*,*)'pau2',j
c       write(*,*)eje2(j)
            do l=1, 52
                if(nosta(buitre) .eq. mirror(l,3))then
                    do k=l, 52
                        if(nosta(buitre+eje2(j)*2-1) .ge. mirror(k,3))then
c                   write(*,*)nosta(buitre+eje2(j)*2-1),mirror(k,3)
                            mirror(k,3:4)=0
                        endif
                    enddo
                empalme=2
            endif
        enddo
        buitre=eje2(j)*2+buitre
    endif
    enddo

c
c
c

```

```
c  write(*,*)'saludos'
c  write(*,*)i
   if(empalme .eq. 3)then
     empalme=2
     write(*,*)'empalme, empalme,empalme'
     write(*,*)i
     conteo=conteo+1
     jaq4=0
     fel=0
     buitre=0
     Do j=1, pau1
       if(eje1(j) .gt. 0)then
         buitre=buitre+eje1(j)*2
       endif
     enddo
     buitre=buitre+1
     ferrel=0
     contveh1=0
     jaqur=0
     do j=1,pau2
       if(eje2(j) .gt. 0)then
         ferrel=ferrel+1
         contveh1=contveh1+1
       endif
       write(*,*)'oso oso',pau2
       if (ferrel .gt. 1)then
2    200       do l=1,52

         goto 2100
       endif
       fel=fel+1
       if(fel .eq. 52)then
         jaq4=jaq4+1
         fel=0
         write(*,*)'paula',jaq4
       endif
       jaqur=0
       if (jaq4 .eq. 1) then
         jaq5=0
         do K=1, eje2(j)*2
           do m=1, 52
             if(nosta(buitre+k-1) .eq. espejo(m,3))then
               jaq5=jaq5+1
               espacio(jaq5)=m
```

```

jaq6=1
write(*,*)'oso2',jaq5,espacio(jaq5)
endif
enddo
if(jaq6 .eq. 1)then
if(jaq5 .gt. 1)then
jaqur=espacio(jaq5)-espacio(jaq5-1)+jaqur
write(*,*)'oso jaqur',jaqur
nosta(buitre+jaq5*2-2)=espejo(1+jaqur,3)
nosta(buitre+jaq5*2-1)=espejo(1+jaqur,4)
jaq6=0
endif
endif
if(k .eq. 1)then
nosta(buitre)=espejo(1,3)
nosta(buitre+1)=espejo(1,4)
endif
enddo
goto 2200
endif
jaqur=0
if (jaq4 .eq. 2) then
jaq5=0
do K=1, eje2(j)*2
do m=1, 52
if(nosta(buitre+k-1) .eq. espejo(m,3))then
jaq5=jaq5+1
espacio(jaq5)=m
jaq6=1
write(*,*)'oso2',jaq5,espacio(jaq5)
endif
enddo
if(jaq6 .eq. 1)then
if(jaq5 .gt. 1)then
jaqur=espacio(jaq5)-espacio(jaq5-1)+jaqur
write(*,*)'oso',espacio(jaq5-1)
nosta(buitre+jaq5*2-2)=espejo(37+espacio(jaqur),3)
nosta(buitre+jaq5*2-1)=espejo(37+espacio(jaqur),4)
jaq6=0
endif
endif
if(k .eq. 1)then
nosta(buitre)=espejo(37,3)
nosta(buitre+1)=espejo(37,4)
endif

```

```
        enddo
        goto 2200
    endif
enddo
endif
2  100      write(*,*)'pasa'
    if(eje2(j) .gt. 0)then
        buitree=eje2(j)*2+buitree
    endif
enddo
    paro=paro+1
    endif
    empalme=0
c
c
c
c
c
c  do j=1, 52
c  write(*,*)mirror(j,1:4)
c  enddo
    do j=1, jaq3
        write(*,*)nosta(j),cargano(j,3)
c  write(*,*)carril1*2,carril2*2
c  write(*,*)eje1(1:pau1)*2,eje2(1:pau2)*2
    enddo
    if (paro .eq. 20) then
        read(*,*)hi
    endif
c
c
c  Comienza Stady
c
c
c
    if (jaq3 .gt. 0)then
        fel2=fel2+1
        idatc=23
        open(unit=idatc, file='element.dat')
        rewind(idatc)
        idatd=24
        open(unit=idatd, file='mat.dat')
        rewind(idatd)
        idate=25
```

```

open(unit=idade, file='nodosbh.dat')
rewind(idate)
idatf=26
open(unit=idatf, file='boundary.dat')
rewind(idatf)
idatg=27
open(unit=idatg, file='matpro.dat')
rewind(idatg)
iouta=31
open(unit=iouta, file='qed.sdf')
rewind(iouta)
do k=1, 1542
read(idatc,*)AA(k,1:5)
enddo
do k=1, 32
read(idatd,*)BB(k,1:3)
enddo
do k=1, 676
read(idate,*)num11,CC(k,1:3)
enddo
do k=1, 26
read(idatf,*)DD(k,1:7)
enddo
do k=1, 3
read(idatg,*)num11,EE(k,1:8)
enddo
write(iouta,*)1
write(iouta,*)33
write(iouta,*)0,0,0,0
write(iouta,*)'end'
write(iouta,*)1542
do k=1, 1542
write(iouta,81)AA(k,1:5)
enddo
write(iouta,*)'end'
write(iouta,*)32
do k=1, 32
write(iouta,81)BB(k,1:3)
enddo
write(iouta,*)'end'
write(iouta,*)676
do k=1,676
write(iouta,81)k,CC(k,1:3)
enddo
write(iouta,*)'end'

```

```
write(iouta,81)26
do k=1, 26
write(iouta,81)DD(k,1:7)
enddo
write(iouta,*)'end'
write(iouta,81)jaq3
do K=1, jaq3
write(iouta,81)nosta(k),cargano(k,1:7)
enddo
write(iouta,*)'end'
write(iouta,81)3
do k=1, 3
write(iouta,81)k,EE(k,1:8)
enddo
write(iouta,*)'end'
write(iouta,*)4
write(iouta,*)2110,0.0,0.0,0.0
write(iouta,*)2120,0.0,0.0,-9.81
write(iouta,*)2210,0.0,0.0,0.0
write(iouta,*)2212,0.0,0.0,0.0
write(iouta,*)'end'
write(iouta,*)1
write(iouta,*)1
write(iouta,*)1
write(iouta,*)'end'
close(unit=iouta)
iouta=31
open(unit=iouta, file='qed.sdf')
rewind(iouta)
8 1 format(1x,40(g12.6,1x))
8 4 format(1x,42(g12.6,1x))
c
c SE CORRE PROGRAMA STADYN
c SE CORRE PROGRAMA STADYN
c
gamma = SYSTEMQQ('c:\bin\stady<inex.3')
c
c
c extracción de datos de Stady<dyn
c
c
idath=28
open(unit=idath, file='sigmadef.dat')
rewind(idath)
```

```

do k=1, 11
read(idath,*)FF(k,1:7)
enddo
idati=29
open(unit=idati, file='stodyn.out')
rewind(idati)
do k=1,2
read(idati,*)ab
enddo
do K=1,676
read(idati,*)GG(k,1:7)
enddo
do K=1, 3701
read(idati,*)ab
enddo
conta33=0
contaQQ=0
do K=1, 204
conta33=conta33+1
contaQQ=contaQQ+1
if (conta33 .eq. 1)then
read(idati,*)QQ(contaQQ,1:8)
endif
if (conta33 .eq. 2)then
read(idati,*)ab
conta33=0
endif
enddo
fel1=1
do K=1, 102
if (sigmadef(fel1,2) .eq. QQ(k,3))then
fel1=fel1+1
endif
enddo
fel2=1
do K=1, 102
if (sigmadef(fel1,5) .eq. QQ(k,3))then
fel2=fel2+1
endif
enddo
fel1=1
fel3=1
do k=1, 676
If(FF(fel1,2) .eq. GG(K,1))then
HH(fel2,fel1)=FF(fel1,4)-GG(k,4)*1000

```

```
    fel1=fel1+1
  endif
  If(FF(fel3,5) .eq. GG(K,1))then
    HH(fel2,fel3+11)=FF(fel3,7)-GG(k,4)*1000
    fel3=fel3+1
  endif
enddo
write(ioutb,84)HH(fel2,1:22)
endif
1  000      write(*,*)'hi'
    write(*,*)i
enddo
write(*,*)conteo
write(*,*)fel2
end
```




**INSTITUTO
MEXICANO DEL
TRANSPORTE**



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>