



ANEXO INFORME TECNICO

SECRETARIA DE POLITICAS UNIVERSITARIAS

1ra. CONVOCATORIA DE PROYECTOS DE INVESTIGACION BASICA Y APLICADA DEL PROGRAMA
“UNIVERSIDAD Y TRANSPORTE ARGENTINO”

PROYECTO: DESARROLLO DE UN BANCO DE ENSAYO A LA FATIGA DE BOGIES FERROVIARIOS

DIRECTOR Ing. Eugenio F. Dattilo

Departamento de Mecánica – Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda

Av. Ramón Franco 5050 (1870), Villa Dominico, Avellaneda, Buenos Aires, Argentina

mecanica@fra.utn.edu.ar - efdattilo@yahoo.com.ar

Anexo 1: CONDICIONES DECARGA

1. Introducción a la norma UIC 515-4 aplicación en Argentina.

Para la verificación de la capacidad de los bastidores del bogie de soportar las cargas propias del servicio se deben realizar una serie de ensayos estáticos acordes a los diferentes casos de carga posibles.

La normativa a utilizar para la validación de bastidores de bogies será la ficha técnica UIC 515-4 de la Unión Internacional de Ferrocarriles (Union Internationale deschemins de fer, UIC) siendo que en la Argentina no existe una norma de aplicación.

Esta norma clasifica en 4 a los ensayos estáticos para la verificación de la capacidad de carga de los bogies, según el siguiente detalle:

- Ensayos estáticos para simular cargas excepcionales.
- Ensayos estáticos para simular las principales fuerzas sufridas en servicio.
- Ensayos estáticos para simular fuerzas particulares ocurridas en servicio.
- Ensayos de fatiga destinados a verificar la resistencia del bastidor de bogie.

Desde el punto de vista de la validación del diseño del bogie estos ensayos se realizan durante la etapa de desarrollo del bogie (o sus rediseños) de modo de optimizar la estructura del bastidor (peso, velocidad a la que puede circular, reducción de momentos entre otros cuestiones) y asegurar que los bogies de diseño tienen la capacidad de soportar las cargas de servicio sin sufrir deformaciones permanentes o fracturas capaces de comprometer la seguridad a distintas velocidades de servicio.

Finalmente los ensayos en etapa de desarrollo permiten completar y verificar las especificaciones e información de Ingeniería elaborada durante la etapa de diseño y establecer las acciones de





ANEXO INFORME TECNICO

Ingeniería Temprana necesarias para asegurar el ciclo de vida del bogie en concordancia con el proyecto general de la unidad tractiva o remolcada.

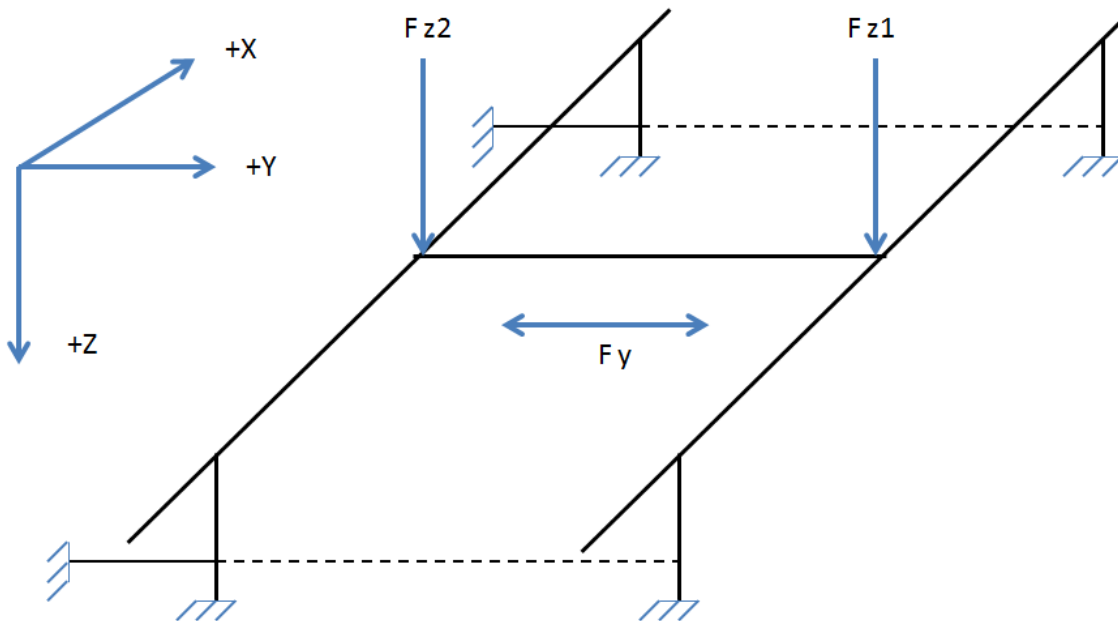
Bajo las mismas condiciones es factible desarrollar especificaciones de recepción de bogies por parte de usuarios ferroviarios, concluyendo sobre los criterios básicos de recepción, aplicando los conceptos de fiabilidad de componentes.

Con el Bogie en servicio es posible la adaptación de la norma a acciones de mantenimiento de condición o predictivos cuando estos bogies alcancen el estado de mantenimiento correspondiente.

En el caso de bogies de reciente adquisición por el Estado Nacional para distintas vías férreas de alcance suburbano esto se completa a los 2.000.000 de Kilómetros según las cartillas de mantenimiento.

2. Determinación de estados de carga:

La norma define las condiciones de contorno a utilizar, que pueden apreciarse en la siguiente gráfica:





ANEXO INFORME TECNICO

De esto se deduce que se deben fijar los desplazamientos verticales en las suspensiones primarias y los desplazamientos según el eje transversal del bogie solamente en las suspensiones primarias de uno de los dos largueros.

Para la aplicación del proyecto tomaremos el primero de los ensayos correspondiente a simular cargas estáticas excepcionales en el vehículo.

3. Ensayos estáticos para cargas excepcionales:

Las fuerzas que actúan sobre el bogie en servicio pueden ser verticales, transversales y resultantes del alabeo de la vía.

Las fuerzas verticales son, fundamentalmente, la carga que transporta el vehículo y el peso propio del vehículo que se reparten entre los dos bogies del coche, más el peso propio del bogie. Ahora bien, cuando circula por una curva aparece una fuerza centrífuga F_c en dirección transversal, que hace que la pestaña de la rueda se acerque más a la cabeza del riel carril incrementándose el contacto y los rozamientos, apareciendo fuerzas transversales.

Por otro lado al existir peralte al circular en curva, interviene como fuerza transversal la componente horizontal del peso.

Por lo tanto estas fuerzas transversales resultan función del peso total y pueden ser simuladas como incrementos de las fuerzas verticales.

El propósito de estos ensayos es verificar que no exista ningún riesgo de deformación permanente del bastidor de bogie cuando se somete a los efectos combinados de las máximas cargas que pueden ocurrir durante el servicio.

Los valores de las fuerzas usadas en estos ensayos se seleccionan con el objetivo de representar las máximas cargas que pueden ocurrir en servicio, sin incluir las cargas debidas a accidentes.

3.1. Definición de las cargas bajo estudio

Fuerzas Verticales:

Las fuerzas verticales, medidas en Newtons, que deben ser utilizadas en el ensayo (calculadas a partir de las cargas excepcionales y válidas para todo vehículo con cargas simétricas) vienen dadas por:

$$Fz1 = Fz2 = (1,4/4) \times (m \cdot v^2 - 2 m) g$$





ANEXO INFORME TECNICO

Donde:

m = masa del bogie en Kg

m_{vc1} = masa del vehículo en Kg. con la carga del ensayo

m_{vc1} = masa del vehículo vacío en marcha (m_m) + carga del ensayo (C)

Considerando que se tiene 4 pasajeros de 80 Kg cada uno de por m^2 y 300 Kg por m^2 de equipajes

La fuerza transversal

$$F_{y_{max}} = 2 \cdot 10^4 (m_{vel} \cdot g / 12)$$

Calculada a partir del límite de cambio de la vía de acuerdo con las teoría de Prud'homme.

Según la norma se considera el alabeo soportado por el bastidor del bogie como aquel que soporta cuando el bogie, montado con la suspensión, soporta una torsión de la vía máxima del 10‰.

Las fuerzas longitudinales no se simulan en el programa de ensayos

4. Diseño básico del Ensayo y resultados a obtener:

El ensayo se debe realizar en un banco de pruebas que permita aplicar las fuerzas verticales en las mismas localizaciones y distribuidas de la misma forma que ocurrirían durante el servicio, de modo que se puedan simular el estado tensional de carga que adoptará el bogie de diseño durante esos ciclos de aplicación.

La simulación de estos estados de carga puede hacerse por software específico y medios vinculados, pero en el ensayo real debe equiparse al bogie con elementos de control de toma de datos tensionales y de deformación como galgas extensiométricas, celdas de carga y sensores que dan origen al sistema de asociación de señales para sollicitación de cargas.

Los modelos de simulación establecen los límites de carga que resultan factibles aplicar al bogie antes de exceder el límite elástico en puntos específicos del bastidor, ya que este no debe mostrar ninguna deformación permanente después de quitar la carga.

Como la simulación estática de fuerzas excluye cualquier influencia de los efectos de inercia, que varía dependiendo de la posición en relación con las partes de la suspensión, los valores de las cargas definidas para los ensayos estáticos bajo cargas excepcionales se corresponden con la parte del bogie comprimida entre la suspensión primaria y la secundaria.

Cuando se exceda el límite elástico en aquellos componentes localizados por encima de la suspensión secundaria los ensayos se deben hacer de nuevo para estos componentes con valores de carga de la mitad de estos valores límites, criterio extraído de la norma UIC 515-4.





ANEXO INFORME TECNICO

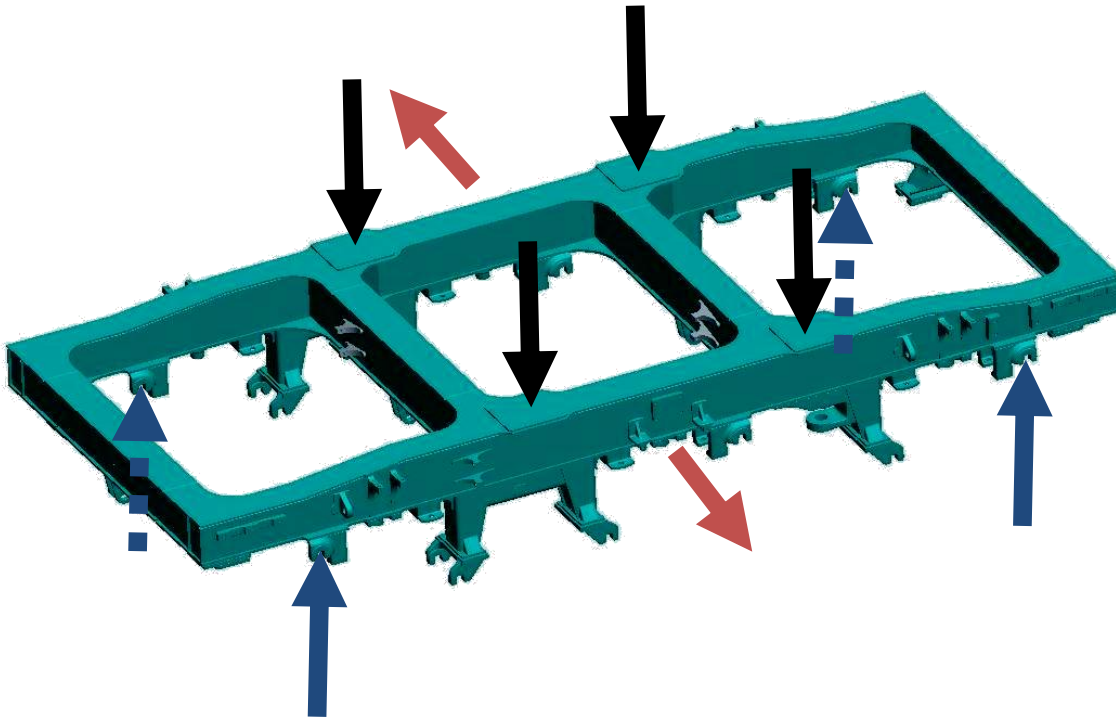
Con estos valores extraídos de la simulación estática se procede a ensayar el bogie real, comparando los perfiles de datos con el bogie de diseño.

$$Fz1 = fz2 = (1,4/4) \times (mvc1 - 2 m) g$$

Esta comparación servirá para:

- Determinar que el bogie real responde desde el punto de vista resistivo y a la deformación en forma equivalente al bogie de diseño, en estados de desarrollo o recepción de estas ferropartes.
- En situación de mantenimiento predictivo o ingreso o egreso del bogie de sectores de mantenimiento la comparación sirve para determinar la presencia de fisuras o fallas que pudieran afectar el estándar de seguridad del trabajo en servicio.

El estado de cargas aplicables y sus reacciones se observa en el siguiente esquema:



Protocolo de ensayo:

Para la realización de las pruebas extensiométricas necesarias para el estudio del comportamiento del bogie a la deformación frente a las diferentes condiciones de carga, es necesaria la especificación de un protocolo de ensayo en banco a seguir para su validación.





ANEXO INFORME TECNICO

De acuerdo con la ficha técnica UIC 515-4 utilizada como referencia por este trabajo y coincidiendo con los casos de carga contemplados en el análisis de viabilidad estructural para el diseño de un bogie de material con 20 Toneladas por eje, las pruebas a realizar se resumen en los siguientes valores:

Estado de carga	Esfuerzos en KN			
	Verticales			Transversales
	FZ1	FZ	FZ2	
Normal	16,5	49,5	16,5	FY 52,7

5. Protocolo propuesto:

Los ensayos sobre bogies en condición de recepción o en servicio de mantenimiento están diseñados para verificar la ausencia de cualquier riesgo de roturas por fatiga que puedan ocurrir bajo los efectos combinados de las principales fuerzas que se pueden encontrar en servicio (verticales, transversales, alabeo de la vía).

Los valores de las fuerzas propuestas en los ensayos se seleccionan con el objetivo de representar todas las cargas variables que soporta el bogie durante su vida útil.

Para la definición de cargas a aplicar en los modelos de simulación se utiliza entonces el siguiente criterio que busca compatibilizar la norma de referencia con las necesidades de desarrollo de una herramienta de trabajo que rápidamente permita establecer la condición del bogie para su aprobación de ingreso o su vuelta segura al servicio.

La ausencia de este criterio motivó la dificultad de crear un equipo o arco de ensayo para seguir un protocolo no establecido.

Los pasos de determinación de las cargas a aplicar serán:

- a. Diseñar la Ingeniería del bogie en formato que pueda ser estudiado bajo las condiciones de simulación por elementos finitos.
- b. Realizar la simulación bajo distintas condiciones de carga arribando a las conclusiones de los estados de carga que provocan la aparición de deformaciones en puntos críticos de la estructura considerada como un diseño simulado.
- c. Determinamos (acompañando el criterio de la norma) que la mitad de esta carga es la máxima aplicable a un bogie bajo ensayo, definiendo así la sollicitación base a aplicar.
- d. Volvemos al modelo de diseño simulado con este estado de carga y definimos el perfil por elementos finitos.





ANEXO INFORME TECNICO

5.1. Ensayos de campo y aplicaciones:

Al ser un criterio de fuerzas excepcionales que pudiera sufrir el bogie el banco de ensayos a diseñar deberá permitir aplicar los esfuerzos en las mismas localizaciones y distribuciones establecidas en el modelo de simulación de forma tal que permita:

- a. Establecer en campo real el criterio de carga y toma de datos.
- b. Obtener un criterio comparativo que permita determinar la condición del bogie y sus riesgos de servicio.
- c. Establecer los máximos y mínimos de tensión y deformación en cada sección crítica que permita fijar los criterios comparativos y de condenación del bogie.

Si estuviéramos diseñando un ensayo para condiciones normales de operación los bancos de ensayos deberían simular las condiciones de vía y circulación (vía recta, vía curva, alabeos y vibraciones o impactos repetitivos y fuerzas dinámicas) de modo de simular correctamente las sollicitaciones sobre el bastidor

Este segundo caso o tipo de ensayo, mucho más exigente, sería aplicable a las condiciones del diseño, desarrollo y especificación de Ingeniería del bogie para adaptarlo a Proyectos de fabricación.

En cambio el modelo propuesto por este trabajo resulta de simular un estado de carga y deformación en un bogie ya diseñado y luego instrumentar para medir en un bogie real esos estados en forma comparativa obedece a dos aplicaciones específicas:

Controlar bogies en estado de recepción y aprobación.

Controlar off line bogies para establecer su condición comparativa respecto a la original y avalar su continuidad en servicio en una etapa de mantenimiento predictivo.

5.2 Resultados a obtener asimilación a la fatiga trabajo:

En el bogie inspeccionado en cada punto crítico de medida se deben medir las tensiones y deformaciones localizadas, que en caso de alterar las condiciones de máximos y mínimos establecidos en la hipótesis de que esta alteración se deberá a la aparición de grietas por fatiga cuya progresión en las direcciones de las tensiones principales puede ocasionar riesgos de rotura en los cuerpos ensayados.

Ante la aparición de estas modificaciones en los valores de deformación y estado tensional del bogie real respecto a los originales con la aplicación del mismo estado de carga, un procedimiento indicará la acción a seguir declarando la condenación del bogie o la factibilidad de su reparación, en cuyo caso deberá nuevamente pasar por el banco de ensayo.





ANEXO INFORME TECNICO

Un sólido se mueve y se deforma como respuesta a fuerzas exteriores, según un sistema de reposición que puede ser cuasi irreversible o elástico o irreversible o plástico.

Las propiedades elásticas de un material se hallan relacionadas a la capacidad de sufrir en un periodo de aplicación de esas sollicitaciones exteriores deformaciones reversibles o cuasiirreversibles.

Bajo el comportamiento elástico todo el trabajo que realizan estas fueras exteriores se almacena en el cuerpo bajo la forma de energía potencial elástica, ocasionando un aumento de su energía interna y una deformación (por lo general pequeña) que se restituye al abandonarse estas sollicitaciones devolviendo el material al medio la energía recibida y retomando su condición geométrica y dimensional original.

Cuando las tensiones y las deformaciones se hallan linealmente relacionadas se dice que estamos en presencia de un sólido con estado elástico lineal que puede ser estudiado bajo comportamientos de la mecánica de los sólidos deformables.

En términos matemáticos cuando las deformaciones son pequeñas y se dan dentro del límite elástico resultan una combinación lineal del tensor de deformación del sólido,

$$\mathbb{T} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix}$$

Esto forma un octaedro de tensiones donde las componentes σ_x , σ_y , y σ_z establecen los cambios longitud de las aristas del octaedro y las tensiones transversales τ_{xy} τ_{yz} τ_{zx} las modificaciones angulares.

Partiendo de la expresión de la ley que establece la proporcionalidad tensión deformación este será también el tensor de deformaciones.

Los modelos de simulación y la toma de datos por instrumentación nos permite la determinación práctica de estos tensores de tensión deformación que se manifiestan en régimen elástico bajo leyes de proporcionalidad. Por lo tanto al aplicarse cargas que originalmente resultan la mitad de las que provocan deformaciones en el cuerpo del bastidor, siempre que las tensiones medidas en el bogie de trabajo o real se encuentren dentro de los límites puede concluirse que el bogie ha trabajado en forma estática sin deformaciones permanentes ni indicaciones de presencia de fatiga.





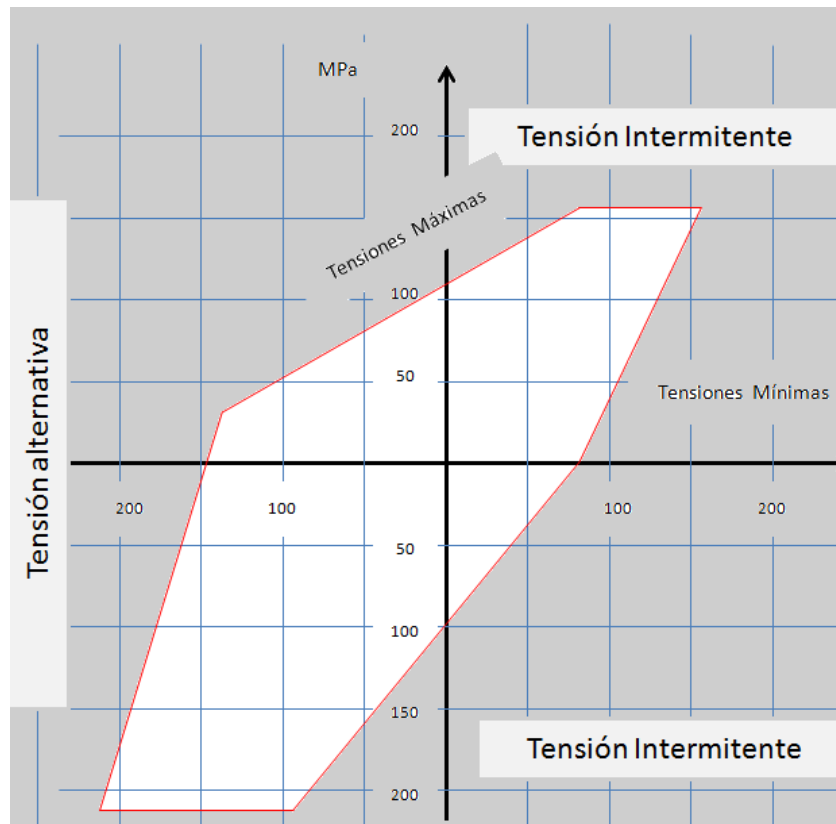
ANEXO INFORME TECNICO

Esta conclusión es válida para la indicación de fallas para bogies en mantenimiento predictivo ya que se supone que si la falla dinámica (por fatiga) tuviera un mecanismo presente o falla potencial sería detectable en la medición.

En cambio en bogies de recepción es necesario aplicar otro criterio partiendo del conocimiento de los factores de cálculo o diseño vinculados a las propiedades del material con que fue desarrollado el cuerpo.

Así es indispensable obtener en el ensayo o prueba de recepción los valores de la tensión estática a la tracción (σ_{et}) y del límite de Fatiga (σ_N) con el objeto de realizar allí un análisis de la resistencia del equipo a la fatiga y la fiabilidad del componente a estudiar.

Los datos pueden ser volcados en un diagrama de Goodman convencional y determinarse el ciclo máximo de aplicación de carga y descargas factibles de indicar que no existirán mecanismos de fatiga destructiva en los puntos críticos de medición del cuerpo del bastidor mientras las suspensiones estén realizando correctamente su trabajo.





ANEXO INFORME TECNICO

El área encerrada por la gráfica representa la zona segura de trabajo de las cargas variables que pudiera soportar el bogie, la norma indica que estas cargas máximas y mínimas pueden superar hasta un 20 % este valor.

6. Ensayos para seguridad operativa y confort en el vehículo:

Para verificar las condiciones de seguridad y confort de los bogies deben realizarse ensayos dinámicos en los que deben simularse diferentes condiciones de funcionamiento reales.

La normativa que podría utilizarse para la validación de bogies es la ficha técnica UIC 518-1. Esta norma UIC 518 cubre todas las estipulaciones de los ensayos dinámicos en vía y el análisis de los resultados en términos de la homologación del material rodante (vehículos convencionales, vehículos con nuevas tecnologías y vehículos especiales) desde el punto de vista del comportamiento dinámico junto con la seguridad, la fatiga de las vías y comportamiento del material rodante.

El propósito de esta ficha es establecer las reglas que se deben seguir cuando se llevan a cabo ensayos de comportamiento dinámico junto con seguridad, fatiga de las vías y comportamiento rodante, y cuando se analizan los resultados para homologar material rodante ferroviario.

Los vehículos se aprueban en base a un código de práctica definido en esta ficha, respecto al diseño de alineación de las vías, la geometría de las vías y las condiciones de operación relacionadas que se deben cumplir en los ensayos de validación del vehículo.

