



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

LM-PI-UP-05-2013

ASESORÍA TÉCNICA

ENSAYOS DE TENSIÓN AXIAL, DE FATIGA Y ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO DE UN PUENTE MODULAR TIPO BAILEY

Preparado por:
Unidad de Puentes



San José, Costa Rica
22 de mayo de 2013

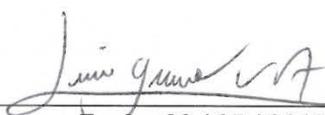
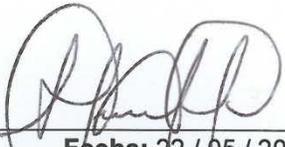
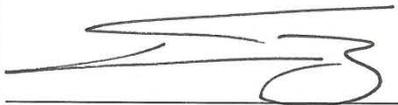
Página intencionalmente dejada en blanco



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

1. Informe: LM-PI-UP-05-2013		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: ENSAYOS DE TENSION AXIAL, DE FATIGA Y ANÁLISIS DE COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO DE UN PUENTE MODULAR TIPO BAILEY		4. Fecha del informe 22 de mayo de 2013
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna.		
7. Resumen Este informe resume los resultados obtenidos de ensayos de tensión axial y de fatiga a probetas extraídas de elementos de acero, análisis de composición química del acero y de ensayos de tensión axial realizados a tornillos de conexión del puente modular tipo Bailey que estaba instalado sobre la quebrada la Guaría en la Autopista General Cañas (Ruta No 1). Este puente temporal colapsó el pasado 6 de noviembre del 2012 cuando una grúa transitaba sobre el puente. La verificación que aquí se reporta es el resultado de los trabajos de inspección y evaluación de estructuras de puentes a lo largo de la red vial nacional y red vial concesionada que realiza la Unidad de Puentes del LanammeUCR de conformidad con las responsabilidades que le competen según se establece en la ley 8114.		
8. Palabras clave Puente, Modular, Bailey, ensayo, tensión, análisis químico, fatiga, propiedades mecánicas, especificaciones, acero, tornillos.	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 69
11. Informe preparado por: Ing. Luis Guillermo Vargas Alas Unidad de Puentes-LanammeUCR  Fecha: 22 / 05 / 2013		
12. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR  Fecha: 22 / 05 / 2013	13. Revisado por: Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD. Coordinador Unidad de Puentes  Fecha: 22 / 05 / 2013	14. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD. Coordinador General PITRA  Fecha: 22 / 05 / 2013



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

Página intencionalmente dejada en blanco

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVOS	7
ALCANCE	8
DESCRIPCIÓN DEL PUENTE MODULAR TIPO BAILEY Y DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA OBTENER LOS ESPECIMENES	8
INFORMACION SOBRE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	12
INFORMACION SOBRE LA NORMATIVA ESPECIFICADA EN EL CARTEL Y POR EL FABRICANTE DEL PUENTE.....	15
RESULTADOS DE ENSAYOS	20
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
REFERENCIAS	31
ANEXO A Informe de ensayos en tensión de probetas de acero preparado por el Laboratorio de Infraestructura Civil del Lanamme.....	33
ANEXO B Informe de ensayos en tensión de tornillos preparado por el Laboratorio de Infraestructura Civil del Lanamme.....	39
ANEXO C Informe de ensayos de resistencia a la fatiga de probetas de acero preparado por el Laboratorio de Infraestructura Civil del Lanamme	55
ANEXO D Informe de Análisis Químico del acero preparado por el Laboratorio LABOMET Metalurgia Aplicada S.R.L.....	65



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LanammeUCR



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

Página intencionalmente dejada en blanco

1. INTRODUCCIÓN

Este informe resume los resultados obtenidos de ensayos de tensión axial y de fatiga a probetas extraídas de elementos de acero, análisis de composición química del acero y de ensayos de tensión axial realizados a tornillos de conexión del puente modular tipo Bailey que estaba instalado sobre la quebrada la Guaria en la Autopista General Cañas (Ruta No 1). Este puente temporal colapsó el pasado 6 de noviembre del 2012 cuando una grúa transitaba sobre el puente.

La verificación que aquí se reporta es el resultado de los trabajos de inspección y evaluación de estructuras de puentes a lo largo de la red vial nacional y red vial concesionada que realiza la Unidad de Puentes del LanammeUCR de conformidad con las responsabilidades que le competen según se establece en la ley 8114.

Este informe complementa los ensayos realizados y reportados en el informe LM-PI-UP-01-2012 con fecha de 14 de diciembre de 2012.

Los ensayos que se reportan en este informe fueron realizados por personal calificado del Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR. El análisis de composición química del acero fue realizado por el laboratorio privado LABOMET Metalurgia Aplicada S.R.L. La interpretación y verificación de los resultados fue realizada por la Unidad de Puentes.

2. OBJETIVOS

Los objetivos específicos de este informe son:

- Verificar el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo último y la elongación de probetas de acero con base en las especificaciones de la normativa británica correspondiente.
- Verificar el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último de tornillos de conexión con base en las especificaciones de la normativa británica correspondiente.
- Verificar la resistencia a la fatiga de probetas de acero con base en las especificaciones para diseño de puentes AASHTO LRFD 2012.

Informe No. LM-PI-UP-05-2013	Fecha del emisión: 22 de mayo de 2013	Página 7 de 69
------------------------------	---------------------------------------	----------------

- Verificar la composición química de una muestra de acero con base en las especificaciones de la normativa británica correspondiente.
- Ofrecer recomendaciones para mejorar el contenido de las especificaciones técnicas sobre la calidad del acero de puentes modulares tipo Bailey para su inclusión en futuros carteles de licitación.

3. ALCANCE

Este informe se limita a presentar los resultados obtenidos a partir de ensayos experimentales realizados a especímenes de acero extraídos de varios elementos del puente y a tornillos de conexión según se describe más adelante en este informe.

La calidad del acero del puente se verifica con las recomendaciones incluidas en la normativa británica correspondiente. Se aplica este enfoque porque el manual técnico del fabricante indica que los aceros del puente cumplen con normativa británica.

Las conclusiones y recomendaciones que aquí se presentan son derivadas a partir de los ensayos realizados.

4. DESCRIPCIÓN DEL PUENTE MODULAR TIPO BAILEY Y DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA OBTENER LOS ESPECIMENES

El LanammeUCR realizó una solicitud formal al CONAVI para obtener varios elementos del puente dañado con el fin de verificar la calidad del acero y de los tornillos. En el informe LM-PI-UP-01-12 se describen los elementos del puente modular que fueron entregados por el CONAVI. Se tiene información de que el suministro de este puente está asociado con la licitación Pública MOPT N° 2010LN-000054-32700. La especificación técnica incluida en dicha licitación provee información sobre la calidad del acero según el elemento correspondiente.

Los elementos que se utilizaron para la extracción de las probetas fueron: la cuerda inferior y el refuerzo de la cuerda superior. De la cuerda inferior, se extrajeron probetas para los ensayos de fatiga y la muestra para el análisis de composición química del material. Del refuerzo de la cuerda superior, se extrajeron probetas para los ensayos de tensión axial. En la figura 1, se muestran los elementos de donde se obtuvieron las muestras de los ensayos.

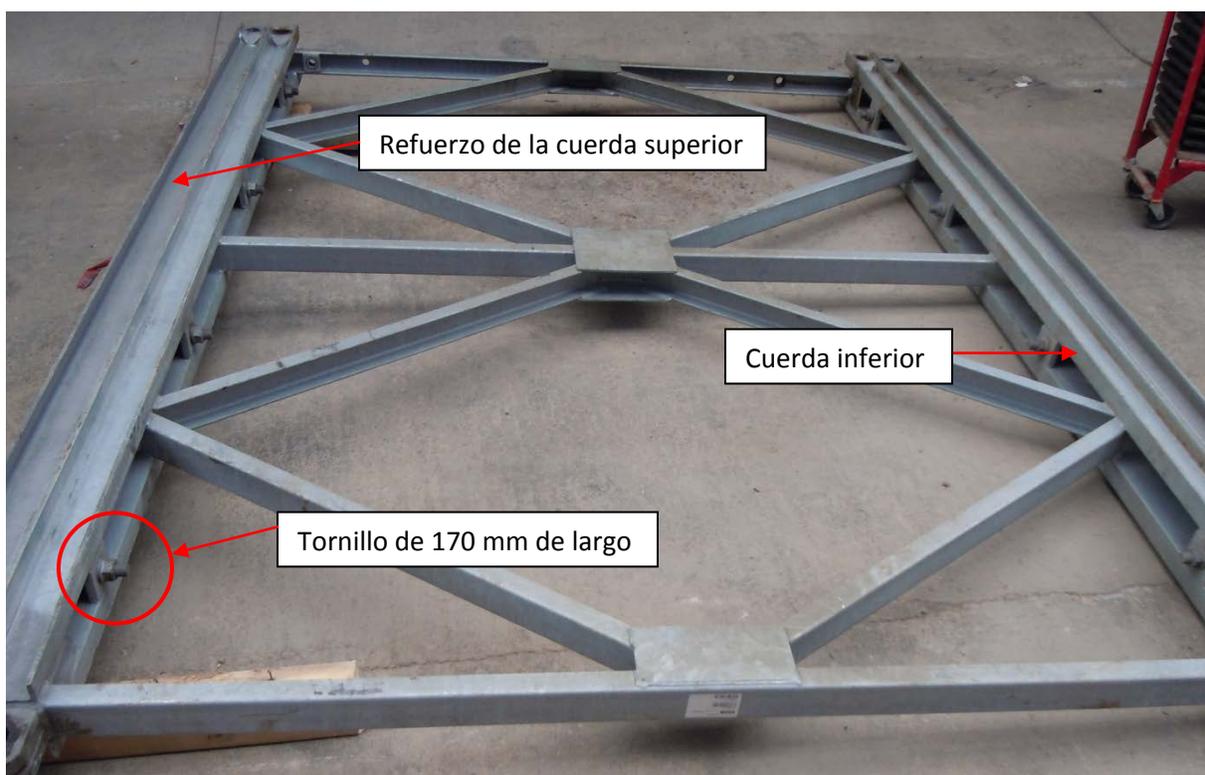


Figura No. 1. Identificación de los elementos utilizados para la extracción de muestras de ensayo

Los ensayos de tensión axial en tornillos se realizaron en tornillos de cabeza hexagonal con un diámetro de 24 mm y con longitudes de 108 y 170 mm como se muestra en la figura No.2.

Los tornillos de 108 mm son los utilizados para conectar los elementos de arrioste horizontal a la viga transversal según se muestra en la figura No. 3.

Los tornillos de 170 mm son los utilizados para conectar los elementos de refuerzo a las cuerdas del puente modular según se muestra en la figura No. 4.



Figura No. 2. Tipos de tornillos del puente modular que se utilizaron en los ensayos.

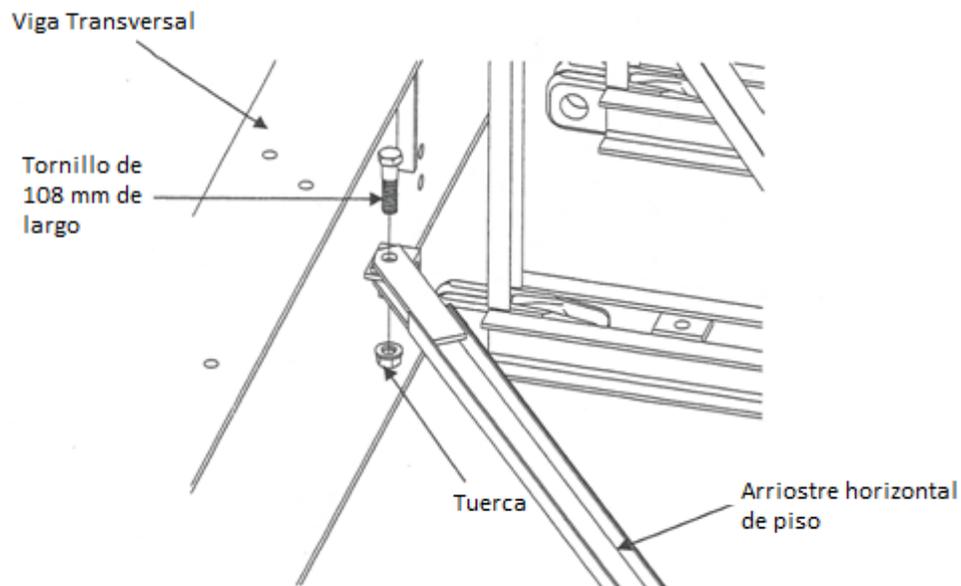


Figura No. 3. Ubicación de los tornillos de 108 mm de largo en el puente modular.

Fuente: Manual del fabricante, modificado por Unidad de Puentes

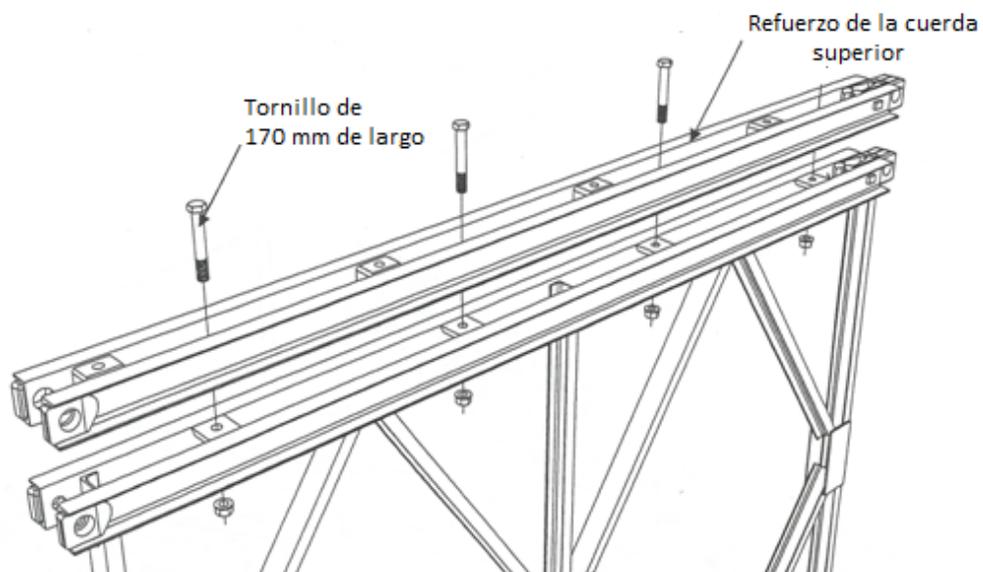


Figura No. 4. Ubicación de los tornillos de 170 mm de largo en el puente modular.

Fuente: Manual del fabricante, modificado por Unidad de Puentes

5. INFORMACION SOBRE LOS ENSAYOS REALIZADOS

5.1. Ensayo a tensión axial de probetas de acero

Los ensayos a tensión axial realizados a probetas de acero se llevaron a cabo de acuerdo con la norma ASTM A370-12a. En esta norma se especifican los procedimientos de ensayo para obtener el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo último y la elongación.

Los ensayos los realizó personal calificado del Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR. En la sección 5.1 del informe del laboratorio incluido en el Anexo A se hace referencia a las secciones de la norma ASTM A370-12a que se utilizaron para realizar el ensayo.

El esfuerzo de fluencia de las probetas ensayadas fue determinado con base en las disposiciones de la norma ISO 6892-1: 2009 para ser consistente con la normativa británica especificada por el fabricante del puente en su manual técnico. Esta norma establece que el esfuerzo de fluencia corresponde al esfuerzo de fluencia superior, R_{eH} , obtenido a partir de la curva esfuerzo-deformación del material según se muestra en la figura No. 5.

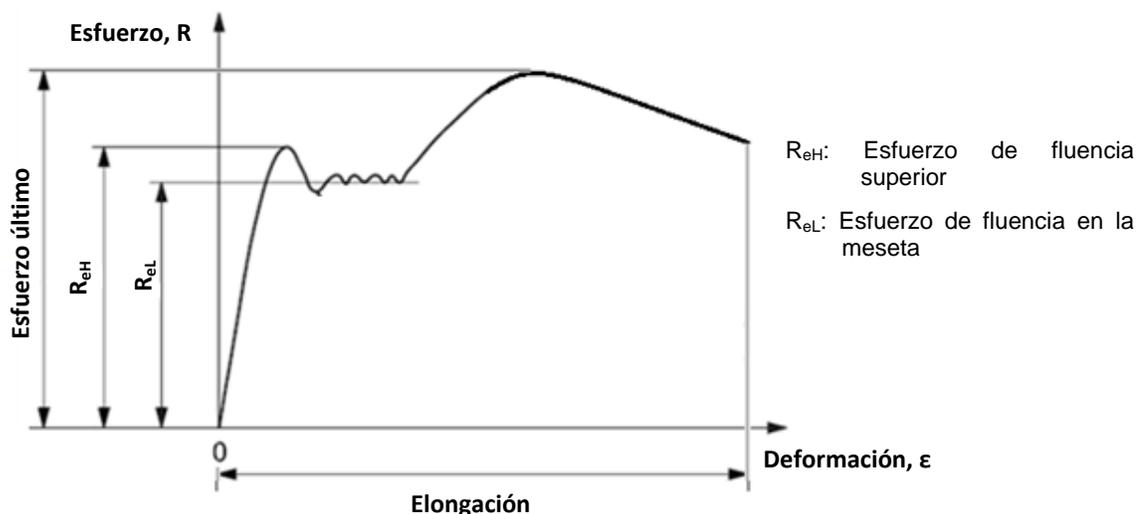


Figura No. 5. Definición del esfuerzo de fluencia superior según la norma ISO 6892-1:2009 a partir de del ensayo a tensión axial realizados a probetas.

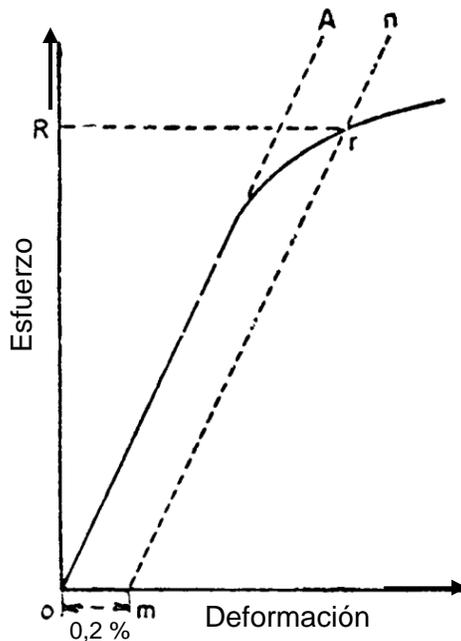
5.2. Ensayos de tensión axial a tornillos

Los ensayos de tensión axial realizados a tornillos de conexión se llevaron a cabo siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM F606-11a. En esta norma se especifican procedimientos de ensayo para obtener el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último.

Los ensayos los realizó el personal calificado del Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR. En el anexo B se incluye el informe donde se presentan los resultados de los ensayos realizados.

El esfuerzo de fluencia se obtuvo mediante la curva carga aplicada vs desplazamiento entre cabezas para cada ensayo realizado. Este esfuerzo corresponde al punto que interseca una recta paralela a la pendiente inicial de la curva para una deformación de 0,2% (ver figura No. 6). En la sección 5.4.2 del informe adjunto en el anexo B se muestran las curvas generadas y los esfuerzos de fluencia respectivos.

El sistema para cargar los tornillos fue fabricado conforme a lo establecido en la norma ASTM F606-11a. Para ello, se utilizó la máquina universal SATEC, la cual posee una capacidad máxima de carga de 890 kN y una capacidad máxima de desplazamiento entre cabezas de 900 mm.



- o-A: Recta con la pendiente inicial de la curva esfuerzo-deformación
- o-m: desplazamiento de la recta "o-A" (0,2%)
- m-n: recta paralela a la recta o-A desplazada una distancia "o-m".
- r: punto de intersección de la recta "m-n" con la gráfica esfuerzo-deformación
- R: Esfuerzo correspondiente al punto "r" o esfuerzo de fluencia para el desplazamiento "o-m" de 0,2% la deformación

Figura No. 6. Diagrama del procedimiento para determinar el esfuerzo de fluencia con el método del desplazamiento de 0,2% de deformación

Fuente: ASTM F606-11a, modificada por Unidad de Puentes

5.3. Ensayos de fatiga a probetas de acero

Los ensayos de fatiga realizados a probetas de acero se llevaron a cabo siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E466-07. En esta norma se especifica el procedimiento para realizar el ensayo de fatiga en probetas de acero sometidas a un rango constante de esfuerzo y a un número de ciclos específico definidos con anticipación. Se considera como una falla por fatiga si el espécimen de acero se fractura antes de alcanzar el número de ciclos establecido para el rango de esfuerzos correspondiente.

Los ensayos fueron realizados por personal calificado del Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR. En el anexo C se presenta el informe donde se incluyen los resultados de los ensayos (ver sección 5). Para este ensayo se utilizó la máquina MTS 810 que se describió en el informe LM-PI-UP-01-2012.

En el anexo C se adjunta el informe donde se reportan los resultados de los ensayos de fatiga efectuados por el Laboratorio de Infraestructura Civil del Lanamme. Este informe incluye información de interés sobre las características de las probetas, la función de carga utilizada, el procedimiento para realizar los ensayos, los rangos de esfuerzos aplicados, las frecuencias utilizadas en cada uno de los ensayos y el criterio de falla que se eligió para las probetas.

5.4. Análisis de composición química del acero

El análisis de composición química fue realizado y reportado por el laboratorio privado LABOMET Metalurgia Aplicada. El informe preparado por dicha firma se incluye en el Anexo D. En la sección 4 de dicho informe se describe el método de análisis utilizado para obtener el porcentaje de contenido de cada elemento solicitado para la muestra de acero por analizar.

6. INFORMACION SOBRE LA NORMATIVA ESPECIFICADA EN EL CARTEL Y POR EL FABRICANTE DEL PUENTE

La especificación técnica incluida en el cartel de licitación del MOPT indica que los elementos de acero deben satisfacer los grados de acero especificados en la norma BS4360 según se muestra en la Tabla No.1. Sin embargo, el cartel no indica el año de publicación de dicha normativa.

A partir de una revisión de normas británicas realizada por la Unidad de Puentes, se concluyó que la norma a la que hace referencia el Cartel del MOPT es la versión publicada en 1986.

El fabricante tampoco indica el año de la norma británica con que especifica sus elementos de acero. Sin embargo, a partir de la revisión de normas británicas realizada también se concluye que el fabricante utiliza la norma británica de 1986.

Informe No. LM-PI-UP-05-2013	Fecha del emisión: 22 de mayo de 2013	Página 15 de 69
------------------------------	---------------------------------------	-----------------

Con base en lo anterior, en este informe se utiliza la norma BS4360 del año 1986 para evaluar las propiedades de los elementos de acero del puente Bailey.

La Tabla No.1 compara la normativa británica y el grado de acero de los elementos del puente según se especifica en el cartel MOPT 2010LN-000054-32700 con la normativa británica y el grado de acero especificado en el manual técnico del fabricante del puente. El manual técnico revisado fue uno de los muchos documentos presentados por el oferente al cual se le adjudicó el contrato, con el objetivo de identificar diferencias que sean importantes de resaltar.

Tabla No. 1. Comparación entre la normativa británica especificada en el cartel de licitación del MOPT y la normativa británica especificada en el manual técnico del fabricante para los elementos de acero del puente.

Elemento del puente	Normativa británica especificada en el cartel de licitación del MOPT	Normativa británica especificada por el fabricante en su manual técnico
Cuerdas del panel y cuerdas de refuerzo	BS 4360 Grado 50A	BS 4360 grado 55C
Otros elementos estructurales principales	BS 4360 Grado 50A	BS 4360 grado 50A
Vigas transversales	BS 4360 Grado 50A	BS 4360 grado 55C
Tableros	BS 4360 Grado 50A	BS 4360 grado 50A
Arriostramiento y partes restantes	BS 4360 equivalente	BS4360 grado 43A
Pines de conexión entre paneles o bulones	BS 970	BS 970 grado 709M40
Pernos, tornillos y tuercas	BS 970	BS 3692
Clips	No se especifica	BS 5216

La tabla No1 muestra varias diferencias entre lo especificado en el cartel de licitación del MOPT y lo especificado por el fabricante en su manual técnico. Estas diferencias son:

- Cuerdas superior e inferior de los paneles, las cuerdas de refuerzo y las vigas transversales: La especificación técnica del cartel de licitación del MOPT indica que estos elementos deben cumplir con la calidad de acero BS 4360 grado 50A (esfuerzo de fluencia mínimo de 355 MPa). Por otro lado, el fabricante indica en su manual técnico que estos elementos cumplen con la calidad de acero BS 4360 grado 55C (esfuerzo de fluencia mínimo de 450 MPa). De la comparación anterior, se concluye que el grado de acero especificado en el manual técnico del fabricante posee un esfuerzo de fluencia mayor al esfuerzo de fluencia mínimo especificado en el cartel del MOPT para los mismos elementos. Se recomienda corregir esta diferencia.
- Elementos de arriostramiento y partes restantes: La especificación técnica del cartel del MOPT indica que estos elementos deben cumplir con la norma "BS 4360 equivalente" pero no especifica el grado de acero. Por otro lado, el fabricante indica que estos elementos cumplen con el grado de acero BS 4360 grado 43A (esfuerzo de fluencia mínimo de 275 MPa). Por lo tanto, se recomienda indicar en la especificación técnica del cartel el grado del acero de los elementos para poder determinar el esfuerzo de fluencia mínimo y otras propiedades relevantes con que debe cumplir el acero.
- Bulones: La especificación técnica del cartel del MOPT indica que el acero de los bulones debe cumplir con la norma BS 970 pero no indica el correspondiente grado de acero ni el año de la norma. Por otro lado, el fabricante indica que estos elementos cumplen con el grado de acero BS 970 grado 709M40 (esfuerzo de fluencia mínimo de 800 MPa). Luego de investigar dicha norma, se concluye que además de especificar el grado del acero, se debe indicar su tratamiento térmico para poder determinar el esfuerzo de fluencia mínimo y otras propiedades relevantes con que debe cumplir el acero.
- Tornillos: La especificación técnica del cartel del MOPT indica que los tornillos deben cumplir con la norma BS 970 pero no indica el correspondiente grado de acero ni el año de la norma. Por otro lado, el fabricante indica que sus tornillos cumplen con la norma BS 3692 pero no indica el grado de acero respectivo ni el año de la norma.

Con base en una revisión realizada por la Unidad de Puentes, se corrobora que la norma BS 970:1991 aplica a bulones únicamente y más bien es la norma británica BS 3692:2001 con un grado de acero de 8.8 la que aplica a tornillos. Por lo tanto, se recomienda corregir estas diferencias.

En la Tabla No 2 se presenta una comparación entre el esfuerzo de fluencia mínimo que deben cumplir los diferentes elementos de acero del puente modular según la normativa británica especificada en el cartel de licitación MOPT 2010LN-000054-32700 y los esfuerzos de fluencia mínimos también especificados en dicha norma. De la tabla se puede observar que los esfuerzos de fluencia mínimos para los diferentes elementos de acero especificados en el cartel de licitación son menores a los esfuerzos de fluencia mínimos indicados en la normativa británica también especificada en el cartel.

Tabla No. 2. Comparación entre el esfuerzo de fluencia mínimo del acero según la normativa británica y el esfuerzo de fluencia mínimo especificados en el cartel de licitación del MOPT.

Elemento	Esfuerzo de fluencia mínimo del acero, F_y (MPa)	
	Requerido según la normativa británica especificada en el cartel de licitación	Valor especificado en el cartel de licitación
Cuerdas del panel y cuerdas adicionales de refuerzo	355 MPa (3619 kg/cm ²)	345 MPa (3515 kg/cm ²)
Otros elementos estructurales principales	355 MPa (3619 kg/cm ²)	345 MPa (3515 kg/cm ²)
Vigas transversales	355 MPa (3619 kg/cm ²)	345 MPa (3515 kg/cm ²)
Tableros	355 MPa (3619 kg/cm ²)	345 MPa (3515 kg/cm ²)
Arriostramiento y partes restantes	No se puede determinar porque en el cartel no se especifica el grado de acero	248 MPa (2531 kg/cm ²)
Pines de conexión entre paneles o bulones	No se puede determinar porque en el cartel no se especifica el grado de acero	850 MPa (8665 kg/cm ²)
Pernos, tornillos y tuercas	No se puede determinar porque en el cartel se especifica un número de norma incorrecto ⁽¹⁾	303 MPa (3094 kg/cm ²)
⁽¹⁾ En el cartel se especifica la norma BS 970 para tornillos. La Unidad de Puentes corroboró que se debería especificar la norma BS 3692:2001 con el grado 8.8.		

Con base en lo anterior, se recomienda realizar las siguientes mejoras a futuros carteles de licitación para compra de puentes tipo Bailey:

- Indicar el año de publicación de todas las normas británicas especificadas.
- Asegurarse que la normativa británica y el grado de acero especificado en el cartel de licitación para cada uno de los elementos de acero del puente, coincida con la normativa británica y el grado de acero especificado en el manual técnico del fabricante. Se brinda esta recomendación porque los puentes ofertados son estructuras estandarizadas con elementos que tienen propiedades predefinidas según se indica en su manual técnico. En el caso que el MOPT decidiera especificar una normativa británica y un correspondiente grado de acero distinto al especificado en el manual técnico del fabricante, la variación debe ser resaltada en el cartel de licitación con el fin de evitar confusiones. Una variación en el cartel respecto a lo especificado en el manual técnico de los fabricantes podría incrementar el costo del puente por adquirir.
- Corregir la referencia a la normativa británica especificada para los tornillos.
- Indicar el grado de acero de todos los elementos especificados según la normativa británica e indicar el tipo de tratamiento térmico que reciben los bulones.
- Eliminar, de la especificación del cartel, la referencia a un esfuerzo de fluencia mínimo ya que esta información ya está definida en la norma británica para el grado de acero correspondiente. En caso que se quiera especificar el esfuerzo de fluencia mínimo, éste debe coincidir con el esfuerzo mínimo especificado en la norma británica.

7. RESULTADOS DE ENSAYOS

7.1. ASPECTOS GENERALES

Se utiliza la normativa británica y el grado de acero especificado en el manual técnico del fabricante (ver tabla No.1) para verificar la calidad del acero con base en los ensayos experimentales realizados.

No se utilizaron las especificaciones incluidas en el cartel de licitación para verificar la calidad del acero por las siguientes razones:

- El cartel especifica para ciertos elementos, un grado de acero menor al especificado por el fabricante. Estos elementos son: las cuerdas de los paneles, el refuerzo de las cuerdas y las vigas transversales (Ver tabla No1).
- La normativa británica especificada en el cartel de licitación para los tornillos no es la correcta (Ver tabla No1).
- El cartel de licitación especifica un esfuerzo de fluencia mínimo para cada elemento el cual es menor al requerido por la normativa británica para el grado de acero correspondiente. (Ver tabla 2)

7.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TENSIÓN A PROBETAS DE ACERO

Las propiedades mecánicas analizadas mediante ensayos de tensión axial a probetas de acero fueron: esfuerzo de fluencia, esfuerzo último a tensión y porcentaje de elongación. A continuación se analizan los resultados obtenidos según el informe de ensayo que se adjunta en el Anexo A.

7.2.1. Esfuerzo de fluencia

La Tabla No 3 compara el esfuerzo de fluencia mínimo especificado en la norma BS 4360:1986 con el esfuerzo de fluencia obtenido experimentalmente conforme a lo indicado en la norma ISO 6892-1:2009 (ver figura No. 3). Se puede observar de la tabla que los esfuerzos obtenidos experimentalmente igualan al esfuerzo de fluencia mínimo especificado en la norma BS 4360:1986 para el grado de acero 55C

Tabla No. 3. Comparación entre el esfuerzo de fluencia mínimo especificado en la norma BS 4360:1986 para el grado de acero 55C con los esfuerzos obtenidos experimentalmente

Identificación del espécimen	Esfuerzo de fluencia mínimo, F_y , especificado en la norma BS 4360:1986 para el grado de acero 55C (MPa)	Esfuerzos de fluencia obtenidos experimentalmente conforme a la norma ISO 6892-1:2009 (MPa)	
0744-13 (1)	450	450	Todos cumplen
0744-13 (2)		450	

7.2.2. Esfuerzo último

La Tabla No. 4 compara el rango de esfuerzo último especificado en la norma BS 4360:1986 para el grado de acero 55C con el esfuerzo último obtenido experimentalmente. Se puede observar de la tabla que el esfuerzo último alcanzado por los especímenes 0744-13 (1) y 0744-13 (2) fue, respectivamente, un 0,18% y un 1,64 % menor al especificado en la norma. Por lo tanto, los esfuerzos obtenidos con estos especímenes no cumplen con la norma BS 4360:1986 para grado de acero 55C.

Tabla No. 4. Comparación entre el esfuerzo último especificado en BS 4360:1986 para grado de acero 55C y los esfuerzos obtenidos experimentalmente

Identificación del espécimen	Rango de esfuerzo último especificado en BS 4360:1986 grado 55C (MPa)	Esfuerzo último obtenido experimentalmente (MPa)	
0744-13 (1)	550 – 700	549	No cumple. Resultó ser 0,18% menor
0744-13 (2)		541	No cumple. Resultó ser 1,64% menor

7.2.3. Elongación

La tabla No.5 compara el porcentaje de elongación mínima especificado en la norma BS 4360:1986 con el porcentaje de elongación obtenido experimentalmente. Se puede observar de la tabla que el porcentaje de elongación obtenido experimentalmente excedió la elongación mínima especificada en la norma BS 4360:1986 para grado de acero 55C.

Tabla No. 5. Comparación de la elongación mínima especificada en BS 4360:1986 para grado de acero 55C y la elongación obtenida experimentalmente

Número de espécimen	Porcentaje de elongación mínima en la longitud de control, L_o , especificada en BS 4360:1986 para el grado de acero 55C	Porcentaje de elongación para una longitud de control, L_o (%)	
0744-13 (1)	19%	47,8	Todos cumplen
0744-13 (2)		47,5	

Se aclara que los porcentajes de elongación, obtenidos experimentalmente conforme con la norma ASTM A370 (ver informe de ensayo del anexo A), fueron convertidos a la longitud de control, L_o , especificada en la norma BS 4360:1986 siguiendo las recomendaciones incluidas en la norma EN ISO 2566-1:1999. Esta conversión se realizó con el fin de asegurar que las verificaciones realizadas en este informe fueran consistentes con las especificaciones británicas. Los porcentajes de elongación que se presentan en la tabla No. 5 corresponden a los valores convertidos.

7.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TENSIÓN A TORNILLOS

7.3.1. Esfuerzo de fluencia

La Tabla No.6 compara el esfuerzo de fluencia mínimo especificado en la norma BS 3692:2001 para tornillos grado 8.8 con los esfuerzos de fluencia obtenidos experimentalmente. De la tabla se observa que el esfuerzo de fluencia obtenido

experimentalmente para todos los tornillos excedió el esfuerzo especificado en la norma BS 3692:2001 para el grado de acero 8.8.

Tabla No. 6. Comparación del esfuerzo de fluencia mínimo que se especifica en la norma BS 3692:2001 y los esfuerzos de fluencia obtenidos experimentalmente

Identificación del espécimen	Esfuerzo de fluencia mínimo especificado en la norma BS 3692:2001 y asociado al método del desplazamiento de 0,2% de deformación (MPa)	Esfuerzos de fluencia obtenidos experimentalmente conforme a la norma ASTM AF606-11a (MPa)	
0334-13	640	820	Todos cumplen
0335-13		710	

El objetivo de los ensayos a tornillos era verificar si el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último del acero del tornillo cumplen con las especificaciones de la normativa británica respectiva. Para ello, el laboratorio del LanammeUCR fabricó tuercas con una tolerancia mínima, para los dos especímenes mostrados en la tabla 6, con el fin de asegurarse de la falla del acero y no de la conexión entre tuerca y rosca del tornillo.

En los resultados reportados en la tabla 1 del informe del anexo B se muestran los ensayos con la tuerca original del puente Bailey, en donde el tipo de falla de algunos tornillos fue por deslizamiento de la tuerca (barrido de rosca). Esta falla está relacionada con la gran tolerancia observada entre la tuerca original del tornillo y su respectiva rosca. Sin embargo, como el fin de los ensayos era verificar la calidad del acero, estos resultados de ensayo fueron descartados. La falla por barrido de rosca es de suma importancia para tornillos sujetos a esfuerzos por tensión axial lo cual no es aparente para los tornillos ensayados ya que son elementos sujetos primordialmente a esfuerzos cortantes (ver figuras 3 y 4) por lo que la conexión entre tuerca y rosca no resulta relevante.

7.3.2. Esfuerzo último

La Tabla No.7 compara el esfuerzo último mínimo especificado en la norma BS 3692:2001 para los tornillos grado 8.8 y el esfuerzo último obtenido experimentalmente. De la tabla se puede observar que el esfuerzo último obtenido experimentalmente excedió el esfuerzo especificado para todos los tornillos.

Tabla No. 7. Comparación del esfuerzo último mínimo especificado en la norma BS 3692:2001 y el esfuerzo último obtenido experimentalmente

Identificación del espécimen	Esfuerzo último mínimo especificado en la norma BS 3692:2001 (MPa)	Esfuerzo último obtenidos experimentalmente conforme a la norma de ensayo ASTM F606-11a (MPa)		
0334-13	800	910	Falla de sección transversal roscada	Todos cumplen
0335-13		885	Falla de sección transversal roscada	

7.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FATIGA

Para los ensayos se utilizaron especímenes extraídos de la cuerda inferior del panel la cual está sujeta a esfuerzos de tensión fluctuando entre un esfuerzo máximo y un esfuerzo mínimo.

Para verificar la resistencia a la fatiga, se utiliza el gráfico S-N (rango de esfuerzos vs. número de ciclos) incluido en las especificaciones para diseño de puentes AASHTO LRFD 2012. Este gráfico incluye varias curvas asociadas con varias categorías de detalle. Para estos ensayos, se utiliza la categoría de detalle A, la cual corresponde con la resistencia del material y no considera el efecto de soldadura o de discontinuidades.

La tabla No 8 muestra el rango de esfuerzos y el correspondiente número de ciclos elegidos para el ensayo de los especímenes. Estos valores fueron obtenidos a partir de la figura C6.6.1.2.5-1 incluida en la especificación AASHTO LRFD 2012 para la categoría de detalle A. De la tabla se puede observar que ninguno de los especímenes falló para el rango de esfuerzos y el correspondiente numero de ciclos que se muestra en la Tabla No. 8.

Tabla No. 8. Rango de esfuerzos y el correspondiente número de ciclos para los ensayos realizados a especímenes.

Identificación del espécimen	Rango de esfuerzos (MPa)	Número de ciclos especificado según AASHTO LRFD 2012	
0188-13	406	$1,23 \times 10^6$	No se presentó la falla del material (Ver anexo C)
0189-13	312	$2,70 \times 10^6$	
0190-13	281	$3,70 \times 10^6$	

Con el objetivo de analizar la capacidad remanente a la fatiga de los especímenes, se continuó con el ensayo aplicando el mismo rango de esfuerzos para un número adicional de ciclos hasta alcanzar la falla de la probeta. La figura No. 7 muestra los resultados obtenidos cuando se alcanzó la falla de los especímenes 0188-13 y 0189-13. En el caso del espécimen 0190-13, este nunca falló. Es evidente que todos los especímenes superaron la curva S-N (rango de esfuerzos vs. número de ciclos) correspondiente a la categoría de detalle A de AASHTO LRFD 2012.

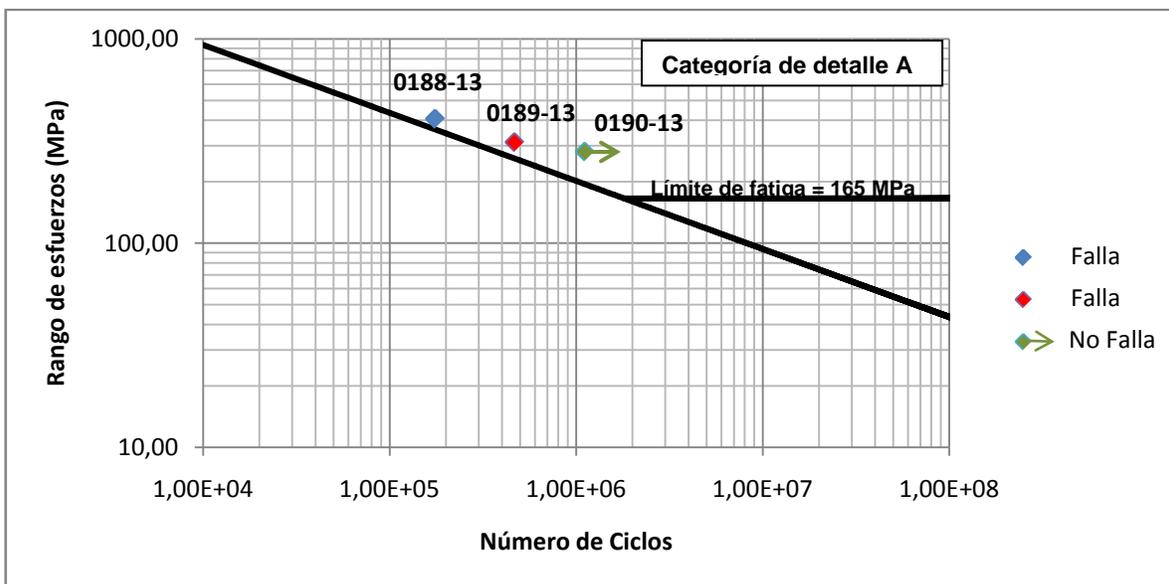


Figura No. 7. Resultados puntuales de los ensayos de fatiga realizados a probetas de acero junto a la curva para la categoría de detalle A según AASHTO LRFD 2012.

7.5. ANÁLISIS DE COMPOSICION QUÍMICA DEL ACERO

La tabla No 9 compara la composición química recomendada para el acero BS 4360:1986 grado 55C con los resultados del análisis de composición química realizado a una muestra de acero extraída de la cuerda inferior de un panel. Se puede observar de la tabla que el contenido obtenido por elemento químico cumple con el contenido máximo y el rango de contenido especificado en la norma BS 4360:1986 para acero grado 55C.

Tabla No. 9. Comparación de los resultados obtenidos de composición química de la muestra de acero con los requisitos para el grado de acero BS 4360:1986 grado 55C.

Elemento	Según especificaciones para el acero BS 4360:1986 grado 55C		Resultados del Análisis Químico	
	Elemento Químico	Requisitos		
Cuerdas del panel y cuerdas adicionales de refuerzo	Carbono (C)	0,22% (máx.)	0,138%	Sí cumple
	Silicio (Si)	0,60% (máx.)	0,215%	Sí cumple
	Manganeso (Mn)	1,60% (máx.)	1,44%	Sí cumple
	Fósforo (P)	0,040% (máx.)	0,0114%	Sí cumple
	Azufre (S)	0,040% (máx.)	0,0107%	Sí cumple
	Niobio (Nb)	0,003% - 0,10%	0,019%	Sí cumple
	Vanadio (V)	0,003% - 0,20%	0,092%	Sí cumple

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este informe se presentan los resultados de los ensayos de tensión axial de probetas de acero obtenidas de la cuerda de refuerzo superior, de tensión axial de tornillos de conexión, de fatiga y de composición química de la cuerda inferior del puente modular tipo Bailey que estaba instalado sobre la quebrada la Guaria en la Autopista General Cañas (Ruta No 1) y que colapsó el pasado 6 de noviembre 2012 cuando transitaba una grúa sobre el puente.

1. De la investigación realizada a la normativa británica especificada en el cartel de licitación del MOPT y a la normativa británica que indica cumplir el fabricante en su manual técnico para la calidad del acero de los puentes Bailey, se concluye lo siguiente:

1.1. La norma británica BS4360 que hace referencia el Cartel de licitación del MOPT es la versión publicada en 1986.

1.2. La norma británica BS4360 que hace referencia el manual técnico del fabricante es la versión publicada en 1986.

1.3. Con base en lo anterior, en este informe se utiliza la norma BS4360 del año 1986 para evaluar las propiedades de los elementos de acero del puente Bailey.

1.4. Se encontraron varias diferencias entre lo especificado en el cartel de licitación del MOPT y lo especificado por el fabricante en su manual técnico. Estas diferencias son:

- Cuerdas superior e inferior de los paneles, las cuerdas de refuerzo y las vigas transversales: La especificación técnica del cartel de licitación del MOPT indica que estos elementos deben cumplir con la calidad de acero BS 4360 grado 50A (esfuerzo de fluencia mínimo de 355 MPa). Por otro lado, el fabricante indica en su manual técnico que estos elementos cumplen con la calidad de acero BS 4360 grado 55C (esfuerzo de fluencia mínimo de 450 MPa). De la comparación anterior, se concluye que el grado de acero especificado en el manual técnico del fabricante posee un esfuerzo de fluencia mayor al esfuerzo de fluencia mínimo especificado en el cartel del MOPT para los mismos elementos. Se recomienda corregir esta diferencia.

- Elementos de arriostramiento y partes restantes: La especificación técnica del cartel del MOPT indica que estos elementos deben cumplir con la norma "BS 4360 equivalente" pero no especifica el grado de acero. Por otro lado, el fabricante indica que estos elementos cumplen con el grado de acero BS 4360 grado 43A (esfuerzo de fluencia mínimo de 275 MPa). Por lo tanto, se recomienda indicar en la especificación técnica del cartel el grado del acero de los elementos para poder determinar el esfuerzo de fluencia mínimo y otras propiedades relevantes con que debe cumplir el acero.
- Bulones: La especificación técnica del cartel del MOPT indica que el acero de los bulones debe cumplir con la norma BS 970 pero no indica el correspondiente grado de acero ni el año de la norma. Por otro lado, el fabricante indica que estos elementos cumplen con el grado de acero BS 970 grado 709M40 (esfuerzo de fluencia mínimo de 800 MPa). Luego de investigar dicha norma, se concluye que además de especificar el grado del acero, se debe indicar su tratamiento térmico para poder determinar el esfuerzo de fluencia mínimo y otras propiedades relevantes con que debe cumplir el acero.
- Tornillos: La especificación técnica del cartel del MOPT indica que los tornillos deben cumplir con la norma BS 970 pero no indica el correspondiente grado de acero ni el año de la norma. Por otro lado, el fabricante indica que sus tornillos cumplen con la norma BS 3692 pero no indica el grado de acero respectivo ni el año de la norma. Con base en una revisión realizada por la Unidad de Puentes, se corrobora que la norma BS 970:1991 es aplicable a bulones únicamente y más bien es la norma británica BS 3692:2001 con un grado de acero de 8.8 la que es aplicable a tornillos.

1.5. Los esfuerzos de fluencia mínimos para los diferentes elementos de acero especificados en el cartel de licitación son menores a los esfuerzos de fluencia mínimos indicados en la normativa británica también especificada en el cartel.

2. Con base en las conclusiones del punto 1, se recomienda realizar las siguientes mejoras a futuros carteles de licitación para compra de puentes Bailey:

- 2.1. Indicar el año de publicación de las normas británicas especificadas.
 - 2.2. Asegurarse que la normativa británica y el grado de acero especificado en el cartel de licitación para cada uno de los elementos de acero del puente, coincida con la normativa británica y el grado de acero especificado en el manual técnico del fabricante. Se brinda esta recomendación porque los puentes ofertados son estructuras estandarizadas con elementos que tienen propiedades predefinidas según se indica en su manual técnico. En el caso que el MOPT decidiera especificar una normativa británica y un correspondiente grado de acero distinto al especificado en el manual técnico del fabricante, la variación debe ser resaltada en el cartel de licitación con el fin de evitar confusiones. Una variación en el cartel respecto a lo especificado en el manual técnico de los fabricantes podría incrementar el costo del puente por adquirir.
 - 2.3. Corregir la referencia a la normativa británica especificada para los tornillos.
 - 2.4. Indicar el grado de acero de todos los elementos especificados según la normativa británica e indicar el tipo de tratamiento térmico que reciben los bulones.
 - 2.5. Eliminar, de la especificación del cartel, la referencia a un esfuerzo de fluencia mínimo ya que esta información ya está definida en la norma británica para el grado de acero correspondiente. En caso que se quiera especificar el esfuerzo de fluencia mínimo, éste debe coincidir con el esfuerzo mínimo especificado en la norma británica.
3. De los resultados experimentales obtenidos de los ensayos de tensión axial de probetas de acero extraídas del refuerzo de la cuerda de superior, se concluye lo siguiente:
 - 3.1. Los esfuerzos de fluencia obtenidos experimentalmente conforme a lo indicado en la norma ISO 6892-1:2009 igualan al esfuerzo de fluencia mínimo especificado en la norma BS 4360:1986 para el grado de acero 55C.
 - 3.2. El esfuerzo último alcanzado por los especímenes 0744-13 (1) y 0744-13 (2) fue, respectivamente, un 0,18% y un 1,64 % menor al especificado en la norma. Por lo

tanto, los esfuerzos obtenidos con estos especímenes no cumplen con la norma BS 4360:1986 para grado de acero 55C.

- 3.3. El porcentaje de elongación obtenido experimentalmente excedió la elongación mínima especificada en la norma BS 4360:1986 para grado de acero 55C.
4. De los resultados experimentales obtenidos de los ensayos de tensión axial de tornillos, se concluye lo siguiente:
 - 4.1. El esfuerzo de fluencia obtenido experimentalmente para todos los tornillos excedió el esfuerzo especificado en la norma BS 3692:2001 para el grado de acero 8.8.
 - 4.2. El esfuerzo último obtenido experimentalmente excedió el esfuerzo especificado para todos los tornillos en la norma BS 3692:2001 para el grado de acero 8.8.
5. De los resultados experimentales obtenidos de los ensayos de fatiga de probetas de acero extraídas de la cuerda de inferior, se concluye que ninguno de los especímenes falló para el rango de esfuerzos y el correspondiente número de ciclos que se muestra en la tabla No. 8 de este informe. Además, todos los especímenes superaron la curva S-N (rango de esfuerzos vs. número de ciclos) correspondiente a la categoría de detalle A de AASHTO LRFD 2012.
6. De los resultados del análisis de composición química realizado a una muestra de acero de la cuerda inferior, se concluye que el contenido obtenido por elemento químico, para la muestra de acero examinada, cumple con el contenido máximo y el rango de contenido especificado en la norma BS 4360:1986 para el acero grado 55C.

9. REFERENCIAS

- [1] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Customary U.S. Units 2012. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [2] ASTM A370-12a. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. ASTM International, 2012.
- [3] ASTM E466-07. Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials. ASTM International, 2007.
- [4] ASTM F606-11a. Standard Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, Direct Tension Indicators, and Rivets. ASTM International, 2007.
- [5] BS 4360: 1986. Specification for Weldable structural steels. British Standards Institution, 1986.
- [6] BS 3692: 2001. ISO metric precision hexagon bolts, screws and nuts – Specification. British Standards Institution, 2001.
- [7] BS 970-3: 1991. Wrought steels for mechanical and allied engineering purposes. Part 3: Bright bars for general engineering purposes. British Standards Institution, 1991.
- [8] EN ISO 2566-1: 1999. Steel – Conversion of elongation values – Part 1: Carbon and Low alloy steels (ISO 2566-1: 1984). European Committee of standardization, 1999.
- [9] ISO 6892-1:2009 Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature. First edition 2009-08-15.
- [10] Licitación Pública N° 2010LN-000054-32700: Suministro de puentes modulares lanzables tipo Bailey. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010.
- [11] Mabey Bridge (2010). Compact 200 Panel Bridging Technical and construction manual for an 18 bay DSHR2H++ Extra Wide Bridge. MOPT Costa Rica. Publication reference S02114-500A



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Página intencionalmente dejada en blanco

ANEXO A

Informe de ensayos en tensión de probetas de acero preparado por el Laboratorio de Infraestructura Civil del Lanamme



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

Página intencionalmente dejada en blanco

Página 34 de 69	Fecha del emisión: 22 de mayo de 2013	Informe No. LM-PI-UP-05-2013
-----------------	---------------------------------------	------------------------------

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail: dirección@lanamme.ucr.ac.cr



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-0322-13

Informe de Ensayo

RC-80 v.04 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-0359 -13

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Puentes – LanammeUCR
Proyecto: Puente Bailey General Cañas, Los Arcos
Domicilio: San Pedro de Montes de Oca, San José

2. Método de ensayo:

ASTM A 370 (**) Ensayo de probetas de acero en tensión.

(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
0744-13	2 probetas identificadas por el interesado como: Refuerzo de cuerda superior, puente Bailey, panel bueno, proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2258-12.

Aportadas por: Ing. Ana Monge (LanammeUCR)

Fecha de recepción : 2013/03/18

Fecha de realización del ensayo: 2013/03/18 - 2013/04/05

4. Información del muestreo:

Muestreo realizado por el interesado.

500 metros al norte de Supermercado Muñoz y Nanne, Finca #2, Universidad de Costa Rica
Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Tel (506) 2511-5423, Fax (506) 2511-4440
e-mail: dirección.lanamme@ucr.ac.cr



No. de informe: I-0322-13

5. Resultados:

5.1 Procedimiento de ensayo

La extracción de las probetas se hizo en los puntos señalados por el personal de la Unidad de Puentes del LanammeUCR. La preparación de las probetas se realizó según lo establecido en la figura 3 de la norma ASTM A 370.

El ensayo de tensión de probetas se realiza siguiendo el procedimiento de la norma ASTM A 370 secciones 5, 6, 7 (para las velocidades del ensayo se utilizó la sección 7.4.1), 8, 9, 12, 13 (13.1.2 para la determinación de la fluencia y 13.4.1 para la determinación de la elongación).

Las velocidades reales del ensayo fueron de 0.004 mm/mm/min hasta la fluencia y posteriormente la velocidad fue de 0.22 mm/mm/min hasta la falla.

Los valores de fluencia se determinan según la norma ASTM A 370 sección 13.1.2 y adicionalmente, a solicitud el interesado se está presentando la fluencia determinada en el pico (R_{EH}), según lo establece la norma de especificación BS4360 y en el método de ensayo ISO 6892-1.

5.2 Resultados del ensayo

Tabla 1. Mediciones geométricas de las probetas

ESPÉCIMEN	L (mm)	A (mm)	C (mm)	G (mm)	W (mm)	T (mm)
0744-13 (1)	238	61,1	20,2	50,3	12,7	10,55
0744-13 (2)	238	60,3	20,1	50,2	12,7	10,38

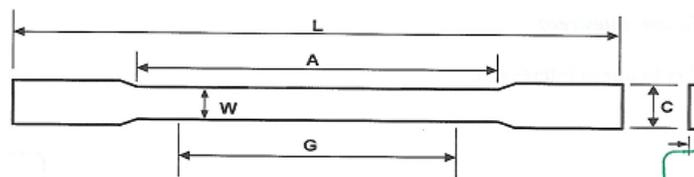


Figura 1. Esquema de mediciones de la probeta



No. de informe: I-0322-13

Tabla 2. Resultado del ensayo de tensión a probetas

ESPÉCIMEN	CARGA	CARGA	CARGA	ESFUERZO		ESFUERZO		ESFUERZO		ELONG. %
	FLUENCIA ⁽¹⁾ (kN)	FLUENCIA ⁽²⁾ (kN)	MÁXIMA (kN)	FLUENCIA ⁽¹⁾ (MPa)	FLUENCIA ⁽²⁾ (kgf/cm ²)	FLUENCIA ⁽²⁾ (MPa)	FLUENCIA ⁽²⁾ (kgf/cm ²)	MÁXIMO (MPa)	MÁXIMO (kgf/cm ²)	
0744-13 (1)	56,3	60,3	73,7	420	4283	450	4589	549	5603	53,1
0744-13 (2)	53,8	59,1	71,1	410	4181	450	4589	541	5522	52,7

(1): Fluencia determinada según ASTM A 370

(2): Fluencia determinada con el pico (R_{EH}) según lo establece la norma de especificación BS4360 y en el método de ensayo ISO 6892-1.

5.3 Gráficos

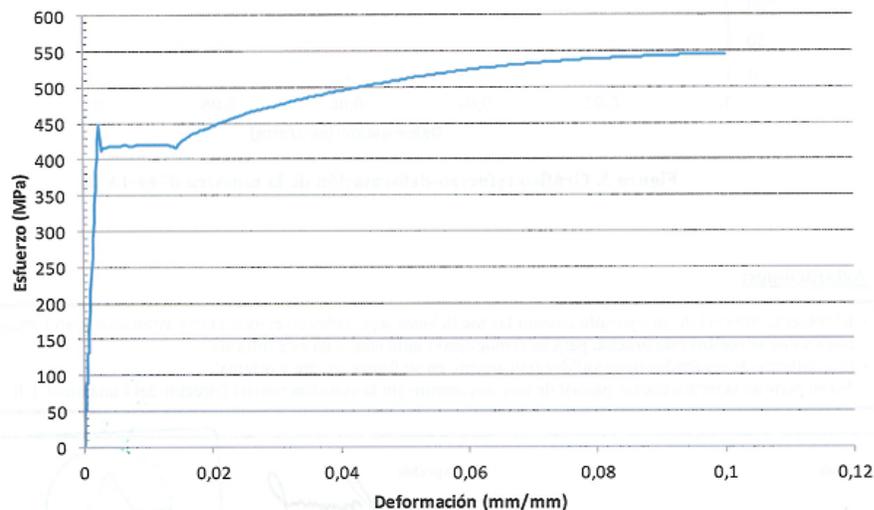


Figura 2. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 0744-13 (1)

No. de informe: I-0322-13

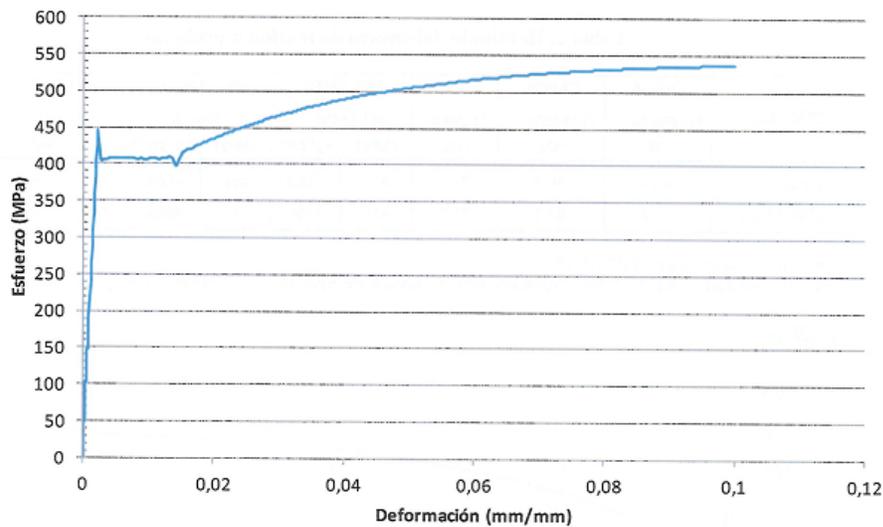
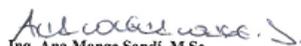


Figura 3. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 0744-13 (2)

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para la(s) muestra(s) indicada(s) en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Revisó:


Ing. Ana Monge Sandí, M.Sc.
Coordinadora de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:


Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR



ANEXO B

Informe de ensayos en tensión de tornillos preparado por el Laboratorio de Infraestructura Civil del Lanamme



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Página intencionalmente dejada en blanco

No. de informe: I-0161-13

Informe de Ensayo

RC-80 v.04 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-0042 -13
ST-0179 -13

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Puentes – LanammeUCR-
Proyecto: Puente Bailey General Cañas, Los Arcos
Domicilio: San Pedro, Montes de Oca.

2. Método de ensayo:

ASTM F 606 (**) Ensayo de pernos en tensión.

(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
0068-13	1 perno de 24 mm de diámetro y 170 mm de largo
0069-13	1 perno de 24 mm de diámetro y 108 mm de largo
0075-13	1 perno de 24 mm de diámetro y 108 mm de largo
0076-13	1 perno de 24 mm de diámetro y 170 mm de largo
0088-13	1 perno de 24 mm de diámetro y 108 mm de largo
0334-13	1 perno de 24 mm de diámetro y 108 mm de largo
0335-13	1 perno de 24 mm de diámetro y 170 mm de largo

Aportadas por: Ing. Ana Lorena Monge (LanammeUCR)

Fecha de recepción : 2013/01/16 – 2013/01/17

Fecha de realización del ensayo: 2013/01/16 – 2013/01/17

4. Información del muestreo:

Muestreo realizado por el interesado. Personal responsable de las muestras: Ing. Luis Guillermo Vargas
– Unidad de Puentes, LanammeUCR-

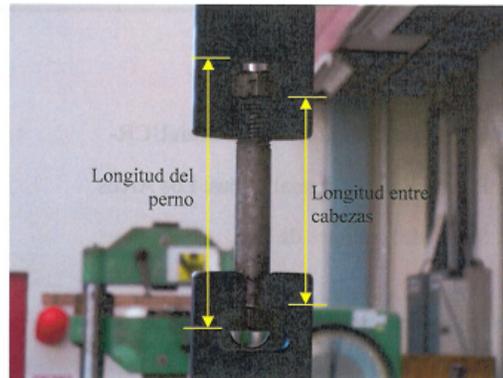
500 metros al norte de Supermercado Muñoz y Nanne, Finca #2, Universidad de Costa Rica
Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Tel (506) 2511-5423, Fax (506) 2511-4440
e-mail: dirección.lanamme@ucr.ac.cr

No. de informe: I-0161-13

5. Resultados:

5.1. Resultados del ensayo

El perno se falla con el montaje establecido en la norma ASTM F 606, según se muestra en la fotografía 1.



Fotografía 1. Montaje del ensayo de tensión de pernos

Los especímenes 68-13, 69-13, 75-13, 76-13 y 88-13 se fallan utilizando la tuerca que se utilizó en el puente Bailey. Los especímenes 334-13 y 335-13 se fallaron con tuercas ajustadas a la rosca, fabricadas en el LanammeUCR.

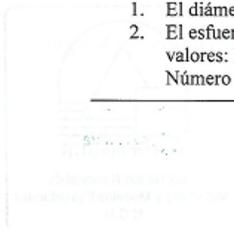
5.2. Resultados del ensayo

Tabla 1. Ensayo de tensión de pernos con tuercas del puente Bailey

Especímen	Diámetro (mm)	Logitud de perno (mm)	Longitud entre cabezas (mm)	Carga máxima		Esfuerzo máximo		Modo de falla
				(kN)	(lbf)	(MPa)	(psi)	
68-13	23,89	175	134	223	50108	639	92674	Barrido de rosca
69-13	23,80	110	74	311	69843	891	129173	Barrido de rosca
75-13	23,70	110	37	334	75150	958	138988	Falla sección rosca
76-13	23,60	175	120	303	68128	869	126001	Barrido de rosca
88-13	24,04	110	69	274	61547	785	113830	Barrido de rosca

NOTA 1:

1. El diámetro medido en la parte lisa del perno.
2. El esfuerzo máximo se determina con el área del perno indicada en la norma ASTM F 606, con los siguientes valores: Diámetro nominal = 24 mm (0.94488 pulg tomando la conversión de 25.4 mm equivalente a 1 pulgada), Número de hilos por pulgada= 8,46.



No. de informe: I-0161-13

Tabla 2. Resultados del esfuerzo de fluencia del ensayo realizado con tuercas del puente Bailey

Espécimen	Longitud entre cabezas (mm)	Esfuerzo fluencia (*)	
		(MPa)	(psi)
68-13	134	639	92679
69-13	74	760	110229
75-13	37	845	122557
76-13	120	800	116030
88-13	69	770	111679
Promedio:		763	110635
Desv. Est:		76,7	11123

NOTA 2:

(*) A solicitud del interesado, el valor del esfuerzo de fluencia se determinó con el método del 0.2% de la deformación, leyendo el valor directamente del gráfico Esfuerzo-Deformación a partir del desplazamiento entre cabezas. Los esfuerzos del eje Y se determinan dividiendo la carga entre el área del perno tal como se indica en la nota 1. Las deformaciones del eje X se determinan por el “desplazamiento entre cabezas” del equipo dividido por la “longitud entre cabezas”.

Tabla 3. Ensayo de tensión de pernos con tuercas fabricadas en el LanammeUCR

Espécimen	Diámetro (mm)	Longitud de perno (mm)	Longitud entre cabezas (mm)	Carga máxima		Esfuerzo máximo		Modo de falla
				(kN)	(lbf)	(MPa)	(psi)	
334-13	23,75	110,8	60,5	317	71363	910	131984	Falla sección rosca
335-13	23,75	174,8	120	309	69431	885	128411	Falla sección rosca

NOTA 3:

1. El diámetro medido en la parte lisa del perno.
2. El esfuerzo máximo se determina con el área del perno indicada en la norma ASTM F 606, con los siguientes valores: Diámetro nominal = 24 mm (0.94488 pulg tomando la conversión de 25.4 mm equivalente a 1 pulgada), Número de hilos por pulgada= 8,46.



No. de informe: I-0161-13

Tabla 4. Resultados del esfuerzo de fluencia del ensayo realizado con tuercas fabricadas en el LanammeUCR

Espécimen	Longitud entre cabezas (mm)	Esfuerzo fluencia (*)	
		(MPa)	(psi)
334-13	60,5	820	118931
335-13	120	710	102977
Promedio:		765	110954
Desv. Est:		77,8	11281

NOTA 4:

(*) A solicitud del interesado, el valor del esfuerzo de fluencia se determinó con el método del 0.2% de la deformación, leyendo el valor directamente del gráfico Esfuerzo-Deformación a partir de desplazamiento entre cabezas. Los esfuerzos del eje Y se determinan dividiendo la carga entre el área del perno tal como se indica en la nota 3. Las deformaciones del eje X se determinan por el “desplazamiento entre cabezas” del equipo dividido por la “longitud entre cabezas”.

5.3. Fotografías



(a) Se barre la rosca



(b) La tuerca se traba

Fotografía 2. Falla del perno 0068-13



No. de informe: I-0161-13



Fotografía 3. Falla del perno 0069-13



Fotografía 5. Falla del perno 0076-13



No. de informe: I-0161-13



(a) Se barre la rosca



(b) La tuerca se trava

Fotografía 6. Falla del perno 0088-13



Fotografía 7. Falla típica de sección de rosca. Muestras 334-13 y 335-13



No. de informe: I-0161-13

5.4. Gráficos

5.4.1. Gráficos carga - desplazamiento entre cabezas

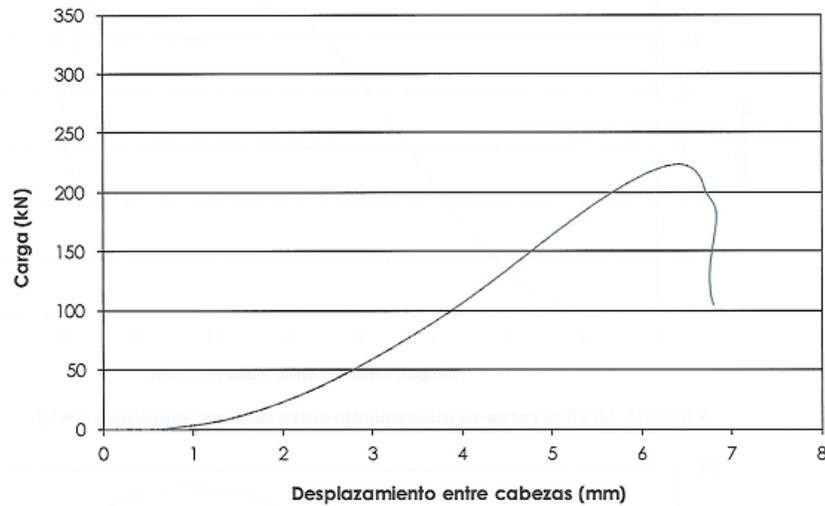


Figura 1. Gráfico carga-desplazamiento entre cabezas: espécimen 68-13



No. de informe: I-0161-13

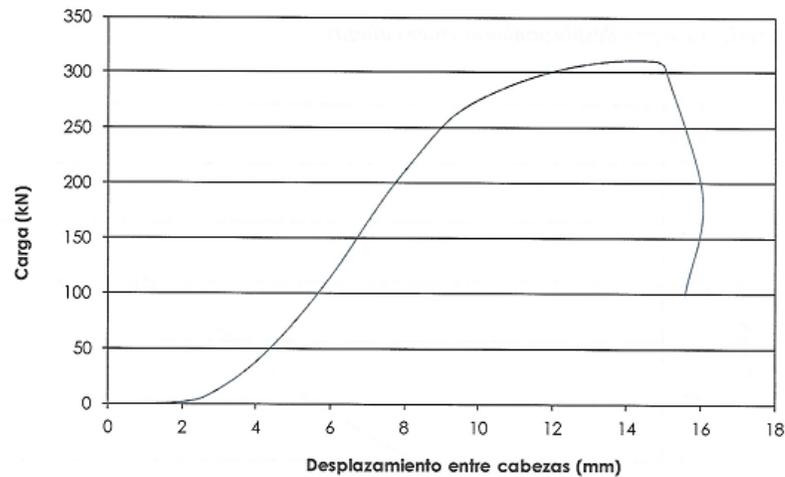


Figura 2. Gráfico carga-desplazamiento entre cabezas: espécimen 69-13

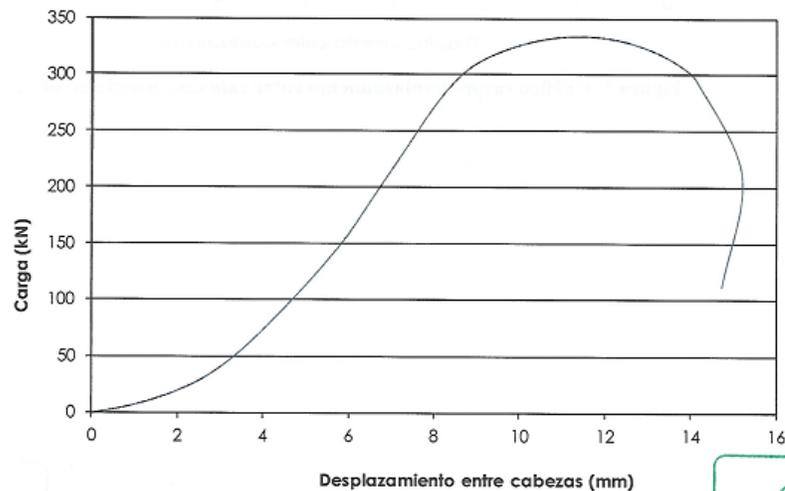


Figura 3. Gráfico carga-desplazamiento entre cabezas: espécimen 75-13



No. de informe: I-0161-13

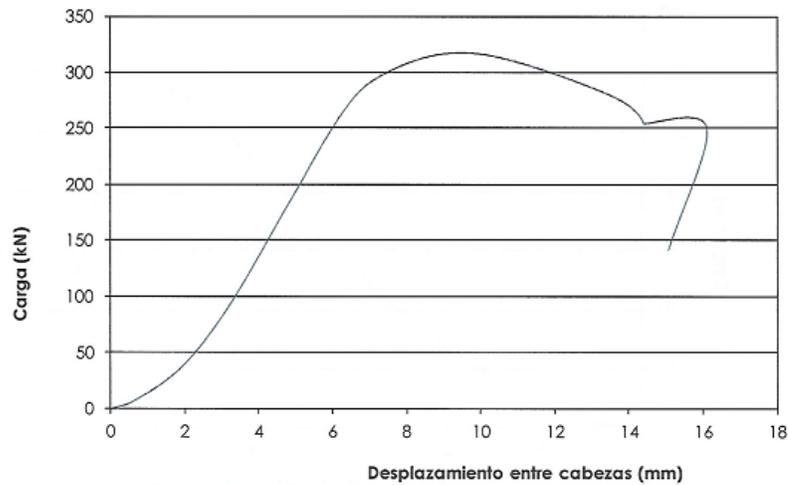


Figura 6. Gráfico carga-desplazamiento entre cabezas: espécimen 334-13

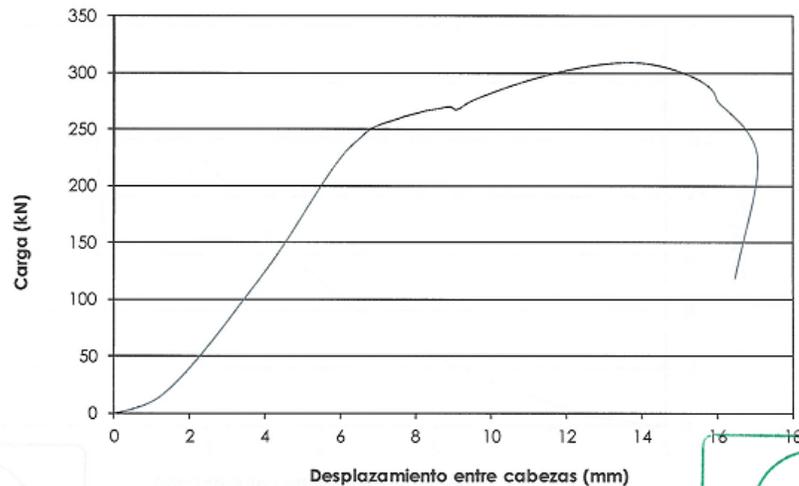


Figura 7. Gráfico carga-desplazamiento entre cabezas: espécimen 335-13



No. de informe: I-0161-13

5.4.2. Gráficos esfuerzo - deformación a partir de entre cabezas

En los gráficos que se presentan a continuación, la línea roja representa la pendiente inicial de la curva Esfuerzo – Deformación (a partir del desplazamiento entre cabezas), la cual interseca el eje horizontal (deformación) en el cero corregido de la curva por el acomodo de los accesorios de carga. La línea verde corresponde al desplazamiento horizontal de la línea roja de 0.002 de deformación. La intersección de la línea verde con la curva equivale al valor del esfuerzo de fluencia determinado.

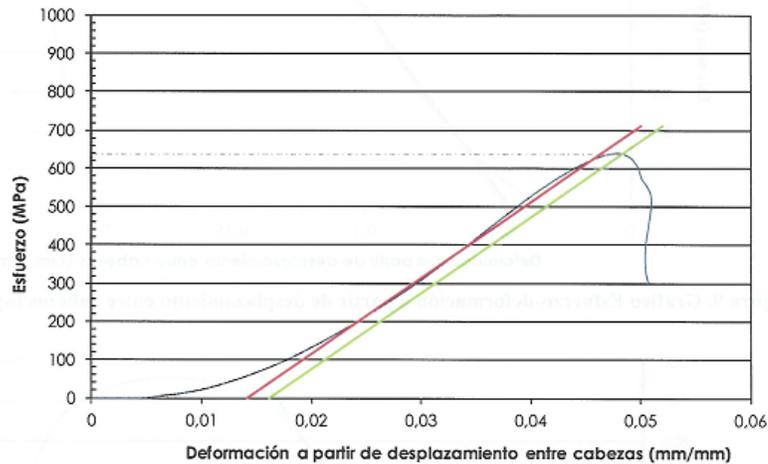


Figura 8. Gráfico Esfuerzo-deformación a partir de desplazamiento entre cabezas espécimen 68-13



No. de informe: I-0161-13

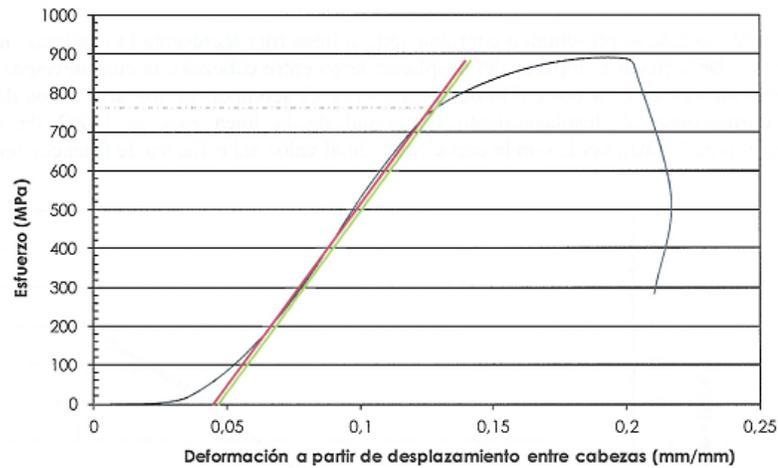


Figura 9. Gráfico Esfuerzo-deformación a partir de desplazamiento entre cabezas espécimen 69-13

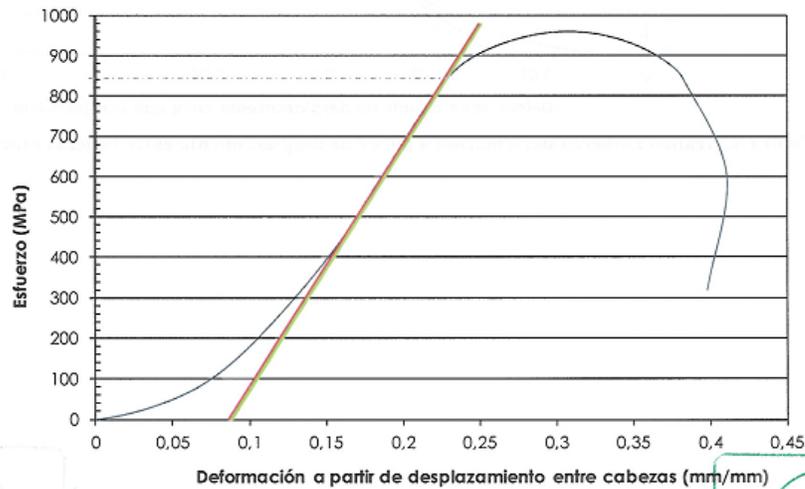
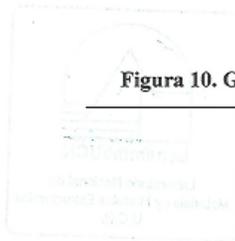


Figura 10. Gráfico Esfuerzo-deformación a partir de desplazamiento entre cabezas espécimen 75-13



No. de informe: I-0161-13

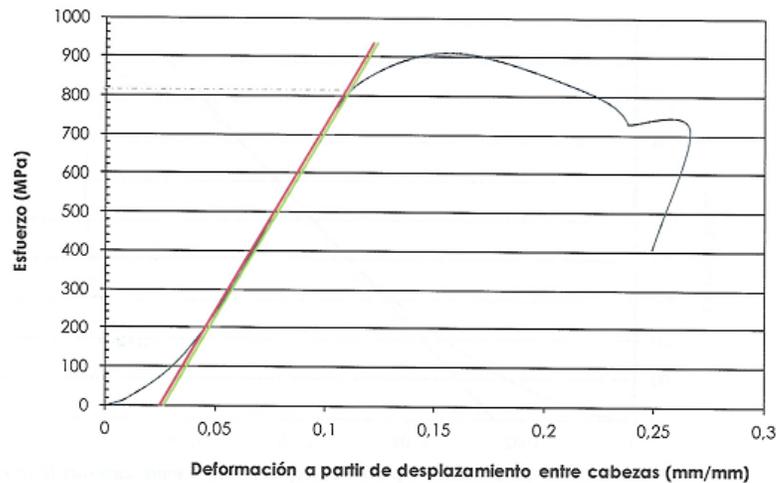


Figura 13. Gráfico Esfuerzo-deformación a partir de desplazamiento entre cabezas espécimen 334-13

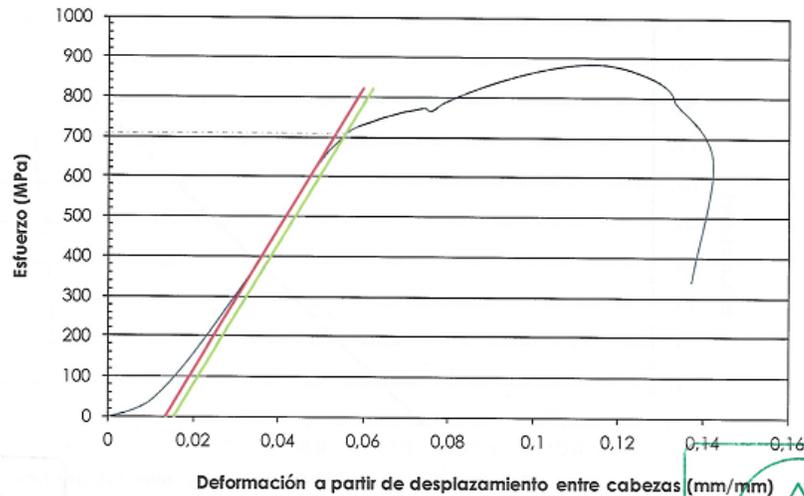
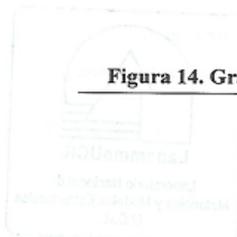


Figura 14. Gráfico Esfuerzo-deformación a partir de desplazamiento entre cabezas espécimen 335-13





Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-0161-13

Aclaraciones:

- El presente informe anula y sustituye el informe I-0041-13.
- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para la(s) muestra(s) indicada(s) en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Revisó:

Ana Monge Sandí
Ing. Ana Monge Sandí, M.Sc.
Coordinadora de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:

Alejandro Navas Carro
Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR





Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Página intencionalmente dejada en blanco

ANEXO C

Informe de ensayos de resistencia a la fatiga de probetas de acero preparado por el Laboratorio de Infraestructura Civil del Lanamme



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

Página intencionalmente dejada en blanco



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



Laboratorio de ensayo
Alcance de Acreditación Nº LE-018
Acreditado a partir de: 11.11.2002
Alcance disponible en www.eca.or.cr

No. de informe: I-0210-13

Informe de Ensayo

RC-80 v.04 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-0222 -13

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Puentes – LanammeUCR-

Proyecto: Puente Bailey General Cañas, Los Arcos

Domicilio: San Pedro, Montes de Oca.

2. Método de ensayo:

ASTM A 370 (**) Ensayo de tensión en probetas de acero.

ASTM E 466 (**) Ensayo de de fatiga en probetas de acero.

(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

No. de identificación:	Descripción:
0187-13	1 probeta de acero de aproximadamente 10.5 mm de espesor. Identificada por el interesado como: tomada de la cuerda inferior del puente Bailey de la Autopista General Cañas.
0188-13	1 probeta de acero de aproximadamente 10.5 mm de espesor. Identificada por el interesado como: tomada de la cuerda inferior del puente Bailey de la Autopista General Cañas.
0189-13	1 probeta de acero de aproximadamente 10.5 mm de espesor. Identificada por el interesado como: tomada de la cuerda inferior del puente Bailey de la Autopista General Cañas.
0190-13	1 probeta de acero de aproximadamente 10.5 mm de espesor. Identificada por el interesado como: tomada de la cuerda inferior del puente Bailey de la Autopista General Cañas.

Aportadas por: Ing. Ana Lorena Monge (LanammeUCR)

Fecha de recepción : 2013/02/18 – 2013/01/17

500 metros al norte de Supermercado Muñoz y Nanne, Finca #2, Universidad de Costa Rica
Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Tel (506) 2511-5423, Fax (506) 2511-4440
e-mail: dirección.lanamme@ucr.ac.cr



Página 4 de 7

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales
U.C.R.

No. de informe: I-0210-13

Fecha de realización del ensayo: 2013/02/18 – 2013/02/27

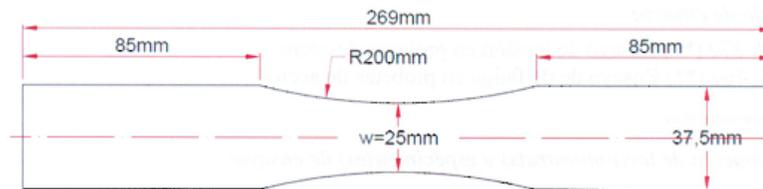
4. Información del muestreo:

Muestreo realizado por el interesado. Personal responsable de las muestras: Ing. Luis Guillermo Vargas – Unidad de Puentes, LanammeUCR-

5. Resultados:

5.1. Resultados del ensayo

Las probetas para el ensayo estático y los ensayos de fatiga, se fabricaron según las dimensiones solicitadas por el interesado y que cumplen con lo establecido en la norma ASTM E 466. (ver figura 1)



Fuente: Unidad de Puentes, PITRA.

Figura 1. Geometría de la probeta utilizada en los ensayos de fatiga y ensayo estático

El ensayo estático se llevó a cabo con el procedimiento de ensayo de la ASTM A370. Con este ensayo se pueden determinar el esfuerzo de fluencia (mínimo y máximo) así como el esfuerzo máximo.

El ensayo de fatiga se realizó según el documento elaborado por la Unidad de Puentes del PITRA y que se envió el 22 de enero de 2013. En él se indica que el ensayo de fatiga se aplique a las 3 probetas restantes, cada una con un rango de esfuerzos distinto acompañado de un número de ciclos definido. Al finalizar este ensayo, se determina si hubo algún tipo de agrietamiento en la sección reducida de la probeta. Adicionalmente, se solicitó que una vez inspeccionada la probeta al finalizar las condiciones del ensayo, se continuara bajo las mismas condiciones hasta que se produjera la falla.

Las cargas fueron aplicadas con una función sinusoidal que es como mejor se comporta la respuesta de la máquina para aplicar los ciclos correspondientes.



No. de informe: I-0210-13

La probeta 0188-13 fue ensayada con un rango de carga (ΔP) de 104 kN, equivalente a un rango de esfuerzos de 406 MPa, con un número de ciclos de $1,23 \times 10^5$ a una frecuencia de 13 Hz. La duración de esta etapa del ensayo fue de 2.6 horas. Al finalizar esta primer etapa se procedió a ensayar la probeta hasta la falla (ver fotografía 2).

La probeta 0189-13 fue ensayada con un ΔP de 80 kN, equivalente a un rango de esfuerzos de 312 MPa, con un número de ciclos de $2,70 \times 10^5$ a una frecuencia de 17,5 Hz. La duración de esta etapa del ensayo fue de 4.3 horas. Al finalizar esta primer etapa se procedió a ensayar la probeta hasta la falla (ver fotografía 3).

Finalmente, la probeta 0190-13 fue ensayada con un ΔP de 72 kN, equivalente a un rango de esfuerzos de 281 MPa, con un número de ciclos de $3,70 \times 10^5$ a una frecuencia de 20 Hz. La duración de esta etapa del ensayo fue de 5.1 horas. Al finalizar esta primer etapa se procedió a ensayar la probeta hasta la falla, sin embargo al llegar a más de un millón de ciclos, la probeta no falló.

5.2. Resultados del ensayo

Tabla 1. Dimensiones de las probetas de acero

ESPÉCIMEN	L (mm)	A (mm)	C (mm)	W (mm)	T (mm)
0187-13	268	98,2	37,9	25,3	10,37
0188-13	269	99,7	37,3	25,2	10,43
0189-13	270	99,7	37,7	25,0	10,27
0190-13	269	100,4	37,3	24,8	10,30

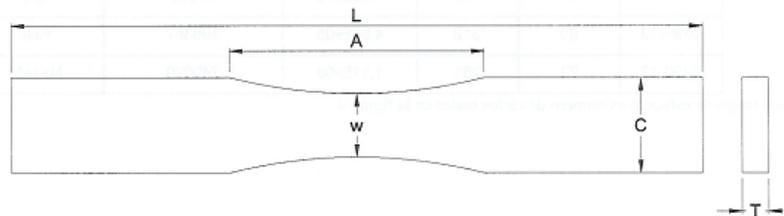
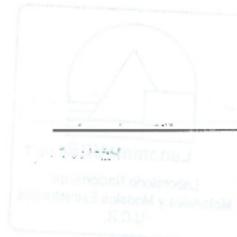


Figura 2. Esquema de medición de probetas de acero



No. de informe: I-0210-13

Tabla 2. Resistencia a la tensión de la probeta de acero

ESPECÍMEN	CARGA FLUENCIA ⁽¹⁾ (kN)	CARGA FLUENCIA ⁽²⁾ (kN)	CARGA ÚLTIMA (kN)	ESFUERZO FLUENCIA ⁽¹⁾ (MPa) (kgf/cm ²)	ESFUERZO FLUENCIA ⁽²⁾ (MPa) (kgf/cm ²)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa) (kgf/cm ²)
0187-13	129	140	166	492 5018	534 5446	632 6441

Ver gráfico esfuerzo – desplazamiento en la figura 3.

(1): Fluencia determinada en el punto mínimo de la curva esfuerzo-desplazamiento entre cabezas en la zona de la primer caída de carga
(2): Fluencia determinada en el punto máximo de la curva esfuerzo-desplazamiento entre cabezas en la zona de la primer caída de carga.
Nota: No se presenta la elongación del elemento pues no existe longitud de control en probetas de esta configuración.

Tabla 3. Ensayo de fatiga a los ciclos solicitados

Especímen	Rango de Carga (kN)	Rango de Esfuerzo (MPa)	Número de ciclos	Observaciones
0188-13	104	406	1,23E+05	No presenta grietas
0189-13	80	312	2,70E+05	No presenta grietas
0190-13	72	281	3,70E+05	No presenta grietas

Tabla 4. Ensayo de fatiga hasta la falla

Especímen	Rango de Carga (kN)	Rango de Esfuerzo (MPa)	Número de ciclos totales	Número de ciclos adicionales a los solicitados	Observaciones
0188-13	104	406	1,75E+05	51580	Falla
0189-13	80	312	4,66E+05	196367	Falla
0190-13	72	281	1,11E+06	740000	No falla

Ver gráfico rango de esfuerzo vs número de ciclos reales en la figura 4.



No. de informe: I-0210-13

5.3. Gráficos

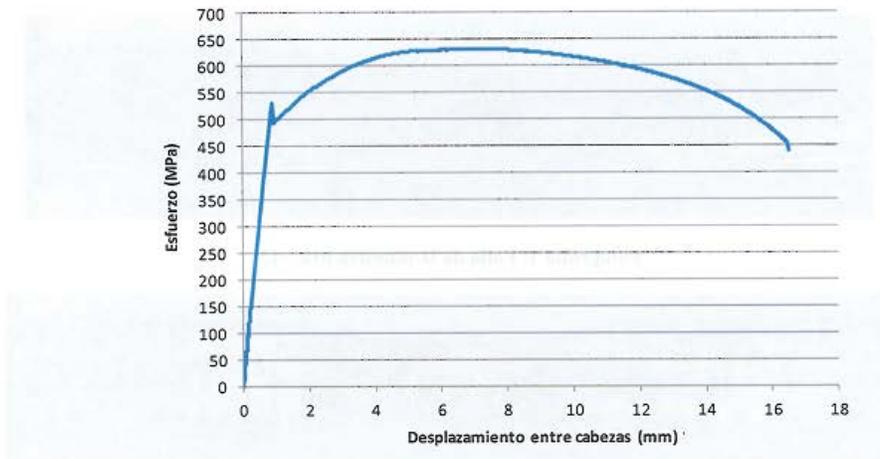


Figura 3. Gráfico esfuerzo- desplazamiento entre cabezas: espécimen 0187-13

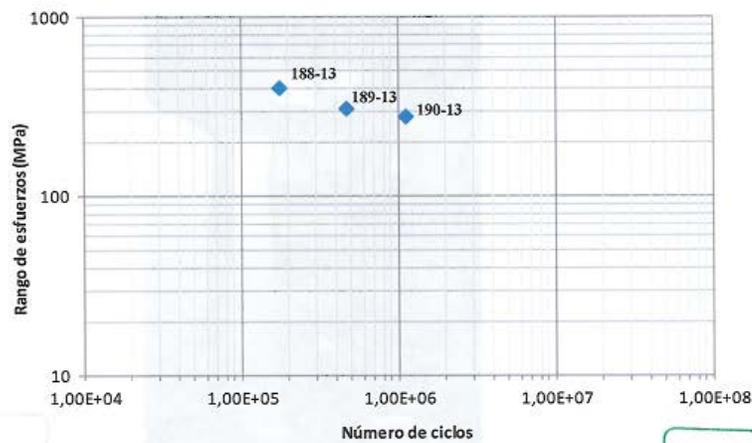
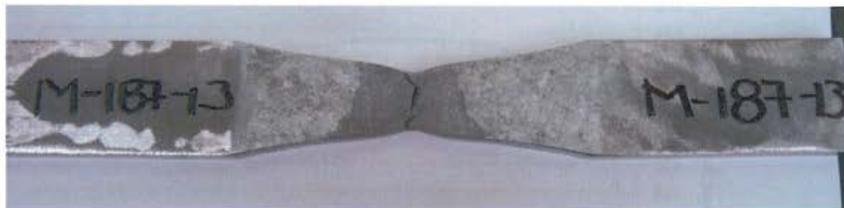


Figura 4. Rango de esfuerzos vrs número de ciclos reales



No. de informe: I-0210-13

5.4. Fotografías



Fotografía 1. Falla de la muestra 0187-13



Fotografía 2. Falla de la muestra 0188-13



Fotografía 3: Probeta 0189-13 fallada en la máquina MTS

No. de informe: I-0210-13

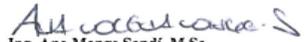


Fotografía 4. Falla de la muestra 0189-13

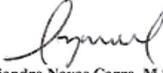
Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para la(s) muestra(s) indicada(s) en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Revisó:


Ing. Ana Monge Sandí, M.Sc.
Coordinadora de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:


Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR





Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LanammeUCR



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

Página intencionalmente dejada en blanco



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

ANEXO D

Informe de Análisis Químico del acero preparado por el Laboratorio LABOMET Metalurgia Aplicada S.R.L

Informe No. LM-PI-UP-05-2013	Fecha del emisión: 22 de mayo de 2013	Página 65 de 69
------------------------------	---------------------------------------	-----------------

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail: dirección@lanamme.ucr.ac.cr



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Página intencionalmente dejada en blanco



INFORME DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN

PARA	REFERENCIA LAB
Ing. Luis Guillermo Vargas Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Costa Rica	LABOMET-0504-A-CR
Fecha Ingreso: 09/abr/2013	REFERENCIA CLIENTE
Fecha Salida 10/abr/2013	Acero Estructural
	STATUS
	INFORME CONFIDENCIAL

SECCION 1 – MOTIVO DE LA CONSULTA

Determinar la composición de la muestra suministrada por el solicitante.

SECCION 2 – IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA



SECCION 3 – PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras son preparadas puliéndolas en una lijadora **LECO® SS1000BD**, utilizando disco abrasivo de carburo de silicio (SiC) grano 60 y 120.

SECCION 4 – MÉTODO DE ANÁLISIS

La técnica analítica utilizada para el ensayo es la Espectrometría de Emisión Óptica con Lámpara de Descarga Luminiscente (Glow Discharge Source- GDS). El instrumento utilizado es un espectrómetro marca **LECO®** modelo **GDS500A**. En la práctica una corriente de gas Argón en estado de plasma es acelerado hacia la muestra a través de un campo eléctrico provocado entre un ánodo y la muestra (cátodo). El Argón ataca la muestra arrancando los átomos de cada elemento que la componen. Esos átomos son arrastrados por la corriente de plasma hacia el interior del instrumento donde colisionan con átomos meta-estables de gas Argón, lo que causa que sean eléctricamente excitados. Los átomos excitados rápidamente regresan a su estado de estabilidad emitiendo fotones. La longitud de onda de cada fotón emitido es única y característica de cada elemento estudiado y está asociada a su exclusiva configuración atómica. Los fotones de todos los elementos excitados ingresan a una cámara espectrométrica donde son separados por una red de difracción. Identificado cada elemento y dado que la cantidad de fotones emitidos es directamente proporcional a la concentración de ese elemento en la muestra, el instrumento puede determinar luego, a través de una curva de calibración, el porcentaje (g/100g) de cada elemento presente en la muestra.

www.labometcr.com

Tel/Fax (506) 2291-8574

labomet@labometcr.com



SECCION 5 – RESULTADOS (Expresados en g/100g - %)

Muestra 1

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Nb	V	Al	CEq
\bar{x}	0.138	1.44	0.215	0.0114	0.0107	0.019	0.092	0.048	0.404
S	0.001	0.005	0.002	0.0004	0.0005	0.004	0.001	0.000	0.001
sd %	0.45	0.38	0.79	3.88	5.08	21.51	1.02	0.55	0.22
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Definiciones y Fórmulas de Cálculos

C – Carbono, Mn – Manganeso, Si – Silicio, P – Fosforo, S – Azufre, Nb – Niobio, V – Vanadio, Al – Aluminio, CEq – Carbono equivalente.

$$\bar{x} = \text{Promedio} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

$$s = \text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\text{sd\%} = \text{Desviación estándar relativa} = \frac{s \cdot 100}{\bar{x}}$$

n = Cantidad de análisis realizados

$$\text{CEq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10}$$

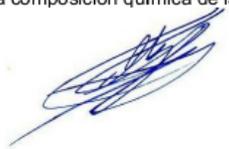
SECCION 6 – TRAZABILIDAD DEL ENSAYO

Estándar/s utilizado/s para verificación de la exactitud: ASTM1141, IARM 166A, ASTM3101, ASTM 1112, ASTM1Q12L2, ASTM 1111, ASTM 1102, ASTM 1101

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Nb	V	Al
\bar{x}	0.125	1.28	0.202	0.0121	0.0152	0.018	0.125	0.042
V.Certificado	0.136	1.29	0.212	0.0127	0.0137	0.019	0.124	0.043
Incert (+/-)	0.012	0.02	0.018	0.0024	0.0040	0.003	0.010	0.009

SECCION 7 – EVALUACIÓN DEL RESULTADO

La evaluación de la composición química de la muestra será realizada por el solicitante del servicio.



ALFREDO SALAZAR CASTRO
Gerente Técnico
alfredo.salazar@labometcr.com

SELLO BLANCO CIQPA N.A.1586
en el documento original

EL DOCUMENTO ORIGINAL ESTÁ FIRMADO Y SELLADO POR EL PROFESIONAL Y REPRESENTADO POR EL CIQPA SEGÚN LEY 8412

www.labometcr.com

Tel/Fax (506) 2291-8574

labomet@labometcr.com

